

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

ХАРЬКОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ПРИБОРЫ АВТОМАТИКИ

**Всеукраинский межведомственный
научно-технический сборник**

Основан в 1965 г.

Выпуск 139

Харьков
2007

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 № 4619 от 18.10.2000г.

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

© Харківський національний університет
радіоелектроніки, 2007

СОДЕРЖАНИЕ

ХАХАНОВА И.В., ПОБЕЖЕНКО И.А., ХАХАНОВ В.И. МОДЕЛИ И АРХИТЕКТУРА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ СТАНДАРТА JPEG 2000.....	4
СТАРОСТЕНКО В.В., ТАРАН Е.П., ГРИБСКИЙ М.П., ЧУРЮМОВ Г.И., ТРИБРАТ М.И. ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУРАХ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ.....	13
BORIS SHEHOVTSOV, ANTON BESPALOV, DMITRY GALIN DIGITAL SYSTEM FOR STUDYING MICROCONTROLLERS VIA INTERNET.....	19
ФАСТОВА Д.В. ПОДСИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СХОДА ЛАВИНЫ.....	27
КУЗЬМИН А.Я., ЛЕВЫКИН В.М. РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	31
ДЯЧЕНКО О.Н. МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ КАСКАДОВ ЛАВИН.....	38
СЛИПЧЕНКО Н.И., БЫКОВ М.А., ЗУЕВ С.А., МАЗИНОВ А.С. ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ a-Si:H - c-Si.....	43
ОЛИШЕВСКАЯ О.Н. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.....	48
ДАВИДОВ М.В., НИКОЛЬСКИЙ Ю.В., ПАСІЧНИК В.В. ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЕТАЛОНА ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЖЕСТОВОЇ МОВИ.....	59
ЯСЕНОВА І.С. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ ВІДПОВІДНО ДО КРЕДИТНО-МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ.....	68
КОСТИКОВА М.В., ПЬЯНИДА В.А. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕОРИИ РАСПИСАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА. ЧАСТЬ 1.....	74
ГОЛОВИЙ (ГУСАРЬ) Н.В. ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ БАНКОМАТОВ.....	79
ТЕВЯШЕВ А.Д., ГУСАРОВА И.Г., БУДАНЦЕВА Ю.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД РАСЧЕТА НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ОДНОНИТОЧНОМУ МАГИСТРАЛЬНОМУ ГАЗОПРОВОДУ.....	84
ПАВЛОВ А.А., ЛИЦУК Е.И. ОПЕРАТИВНОЕ КОРРЕКТИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА.....	92
ДРОЗД А.В., КОЛАХИ РЕЗА ОСОБЕННОСТИ ПОСЕГМЕНТНОГО КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИБЛИЖЕННЫХ ДАННЫХ.....	98
СЛИПЧЕНКО Е.В. АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	103
РЕФЕРАТЫ.....	109

МОДЕЛИ И АРХИТЕКТУРА ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЙ ДЛЯ СТАНДАРТА JPEG 2000

Предлагается технология создания архитектуры и моделей конвейерного вычислительного устройства системного уровня описания лифтинговой схемы 9/7, которая существенно уменьшает цикл проектирования изделий цифровой обработки сигналов. Приводится практическая реализация фильтра, подтверждающая эффективность разработанного маршрута проектирования системного уровня на основе использования программы Simulink среды Matlab.

1. Введение

До настоящего времени работы, посвященные DWT-преобразованию, представляли собой теоретические разработки по алгоритмам кодирования, сжатия, преобразования информации, оценки потери качества изображения. При этом не учитывались особенности аппаратной реализации этих алгоритмов. В лучшем случае рассматривалась только программная реализация преобразователей. Исследовалось использование операции свертки или лифтинговой архитектуры для реализации DWT. Работы Добеши и Свелденса (Daubechies and W. Sweldens) [1,2] по применению факторизации в целях выполнения вейвлет-преобразований и предложенные в ней лифтинговые схемы интересны тем, что они позволяют значительно упростить аппаратную реализацию DWT.

В исследованиях, посвященных аппаратной реализации DWT-преобразований, различают архитектуры, базирующиеся на операции свертки или лифтинговых схемах. Модели, использующие свертку для выполнения DWT-преобразования, разделяются на последовательные и параллельные архитектуры. В других работах выполнена классификация устройств по способу использования внешней и внутренней памяти для хранения исходных данных, промежуточных и окончательных результатов. По способу взаимодействия с внешней памятью архитектуры, реализующие вейвлет-преобразования, делятся на три группы [3] level-by-level, block-based, line-based. Имеются предложения по модификации архитектур для упрощения вычислений за счет уменьшения количества иррациональных коэффициентов (flipping-архитектуры) [4]. При этом чаще всего используется десятичная арифметика. Некоторые из предлагаемых моделей архитектур ориентированы на реализацию только одного вида лифтинг-структуры, а другие позволяют выполнять DWT-преобразования с двухступенчатыми и четырехступенчатыми схемами лифтинга [5, 6-9].

Однако в существующих источниках не представлены: 1) Анализ архитектур с точки зрения возможности реализации на программируемой логике (FPGA). 2) Анализ реализации памяти на программируемой логике. 3) Выполнимость системных моделей архитектур в Simulink, в других подобных редакторах системного уровня.

Цель исследования состоит в разработке системной архитектуры реализации фильтра 9/7 на программируемой логике.

Для достижения поставленной цели решаются **задачи**: 1) Разработка архитектурной модели вейвлет-преобразования системного уровня. 2) Реализация и верификация системной модели с помощью пакета Simulink вычислительной среды Matlab.

2. Модель блока DWT-преобразования 9/7

Предложенная архитектура (рис. 1) относится к классу line-based. Она спроектирована для использования ее в качестве подкомпонента в устройстве JPEG2000 [9]. Предполагается, что данные в устройство подаются последовательно, по одному m -разрядному слову. Для реализации нескольких уровней преобразований используется внутренняя буферная память, хранящая LL-поддиапазон предыдущего уровня преобразования. Входные и выходные порты блока, реализующего DWT-преобразование, представлены в табл. 1, где m – разрядность входных данных, а n – разрядность полученных результатов. Оба параметра (m и n) определяют точность вычисления результатов DWT-преобразования.

Таблица 1. Порты блока одноуровневого преобразования

Имя	Описание	Размер
Порты входа		
Data	Вход данных из входного буфера	m
LL-in	LL-коэффициенты предыдущего уровня преобразования	n
Enable	Блокирует и разблокирует работу устройства	1
Rst	Сброс	1
Clk	Синхронизация	1
Порты выхода		
LL	Кoeffициенты LL-поддиапазона	n
LH	Кoeffициенты LH-поддиапазона	n
HL	Кoeffициенты HL-поддиапазона	n
HH	Кoeffициенты HH-поддиапазона	n
Done	Сигнализирует о готовности данных на выходах поддиапазонов	4
Read_data	Готовность устройства к приему входных данных	1
Read_LL	Готовность устройства к приему данных из LL поддиапазона	1
Size_tile	Размер tile (64, 128, 256, 512, 1024)	3
Level	Текущий уровень преобразования	3

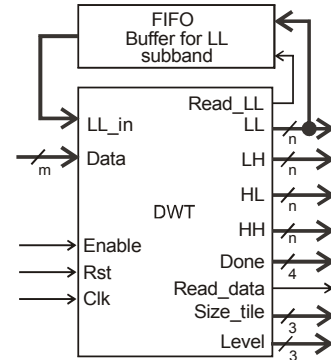


Рис. 1. Интерфейс блока одноуровневого преобразования DWT с буфером памяти LL поддиапазона

Длина буфера памяти для LL поддиапазона определяется выражением $Q_{LL} = S_{mem_FIFO} \times n$, где n – размер коэффициентов поддиапазонов, а S_{mem_FIFO} – вычисляется по формуле:

$$S_{mem_FIFO} = \frac{Tile^2}{4} - Lenght_{DWTpipeline},$$

где $Tile$ – размерность обрабатываемого блока, а параметр $Lenght_{DWTpipeline}$ – представляет собой длину конвейера DTW-преобразования.

В микросхемах программируемой логики буфер поддиапазона LL может быть реализован на выделенных блоках памяти силиконового кристалла.

На рис. 2 представлена структурная модель конвейерной схемы двумерного DWT-преобразования для банка фильтров 9/7 с четырехступенчатой лифтинговой схемой. Она позволяет оценить длину конвейера для каждого поддиапазона частот:

$$\begin{aligned} HH: & 2 + 8 + 4*Tile + 8 + 1 = 4*Tile + 19; \\ HL, LH: & 2 + 8 + 4*Tile + 11 + 1 = 4*Tile + 22; \\ LL: & 2 + 11 + 2*Tile + 11 + 1 = 4*Tile + 25. \end{aligned}$$

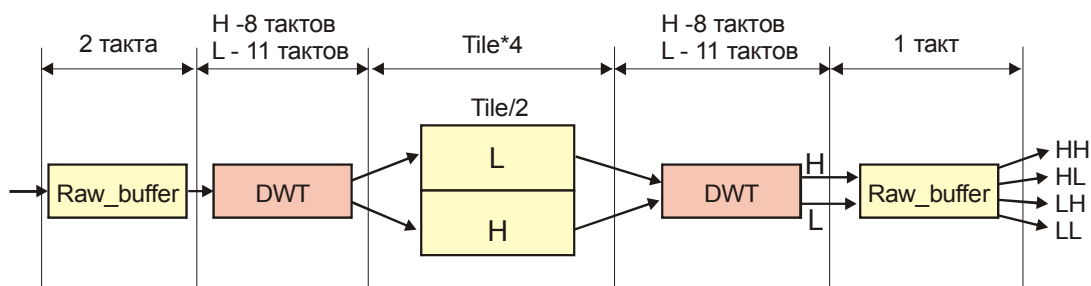


Рис. 2. Конвейерная схема обработки данных для DWT

Зависимость длины конвейера LL- поддиапазона DWT-преобразования для банка фильтров 9/7 представлена в табл. 2. Размерность буфера памяти определяется параметром $Tile$ и может быть уменьшена на длину конвейера DWT-преобразования (табл. 3).

Таблица 2. Зависимость длины конвейера DWT-преобразования для банка фильтров 9/7 от размера Tile

Tile	Length _{DWT pipeline}
64	281
128	537
256	1049
512	2073
1024	4121

Таблица 3. Зависимость размера буфера памяти от Tile

Tile	Tile ² /4, слова	Size_LL_FIFO, слова
64	1024	743
128	4096	3559
256	16384	15335
512	65536	63463
1024	262144	258023

3. Simulink модель DWT блока

В результате выполненных исследований была создана системная модель вычислительного устройства, ориентированного на вейвлет-преобразование с помощью Simulink-редактора среды Matlab. Simulink предоставляет пользователю графические средства для создания динамически функционирующих моделей, что позволяет проверить не только функцию, но и взаимодействие отдельных блоков устройства во времени. Общий вид модели представлен на рис. 3. Блок DWT реализует DWT-преобразования, FIFO memory for LL, идентифицирует блок памяти для хранения LL-поддиапазона.

Архитектура модуля преобразователя DWT блока представлена на рис. 4. Здесь блок Mux2 обозначает мультиплексор, который выбирает входные данные для последующей обработки. На первом уровне DWT-преобразования используется информация со входа data, на всех последующих уровнях – из LL_in.

Входной буфер Raw_biffer представляет собой последовательно-параллельный преобразователь, который формирует входные данные для арифметического блока Arithmetic Block for Raw. Вычислительное устройство принимает данные последовательно, с одновременной выдачей трех значений сигналов [7].

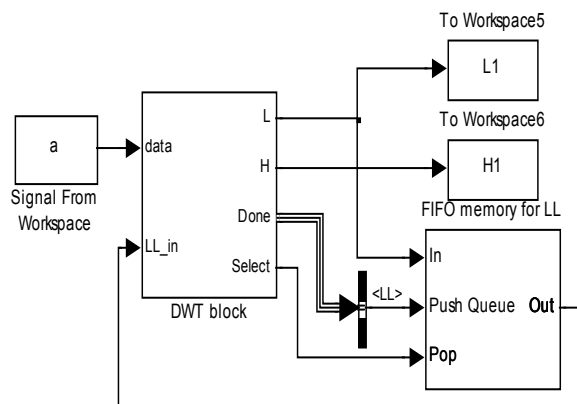


Рис. 3. Схема 2D-DWT-блока с FIFO памятью для коэффициентов LL-поддиапазона

4. Управляющий блок преобразователя

Схема управляющего блока (Subsystem, рис. 4) для 2D-DWT-преобразования представлена на рис. 5. Поскольку для реализации преобразования использовалась конвейерная архитектура, то для управления работой устройства целесообразно использовать классический автомат Мили или Мура. Управляющий блок построен на двух счетчиках, хранящих горизонтальную и вертикальную координаты обрабатываемого элемента изображения. На основе значений этих счетчиков формируются все управляющие сигналы устройства, которые разбиты на группы: C_ALU_raw и C_ALU_column – для арифметических блоков, выполняющих одномерное преобразование по строкам и по столбцам соответственно; Enable_L и Enable_H – разрешение записи информации во временный буфер памяти между обработкой сигналов по строкам и столбцам; pop_L и pop_H – чтение информации из временного буфера памяти; data_select – выбор входных данных для обработки; done – сигнал готовности данных в каждом поддиапазоне. Для такого типа управляющего блока уже технологично и просто может быть построен генератор HDL-кода [8] для последующей реализации в аппаратуру на кристалле.

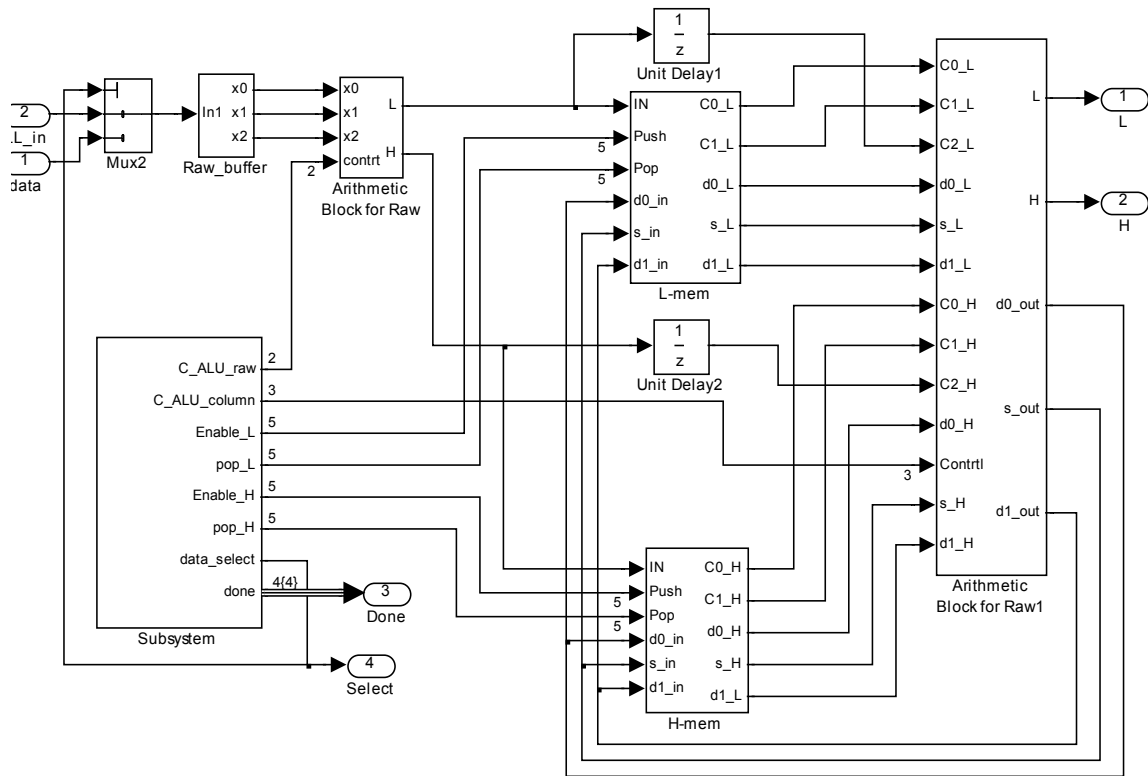


Рис. 4. Схема одноуровневого 2D-DWT 9/7 устройства

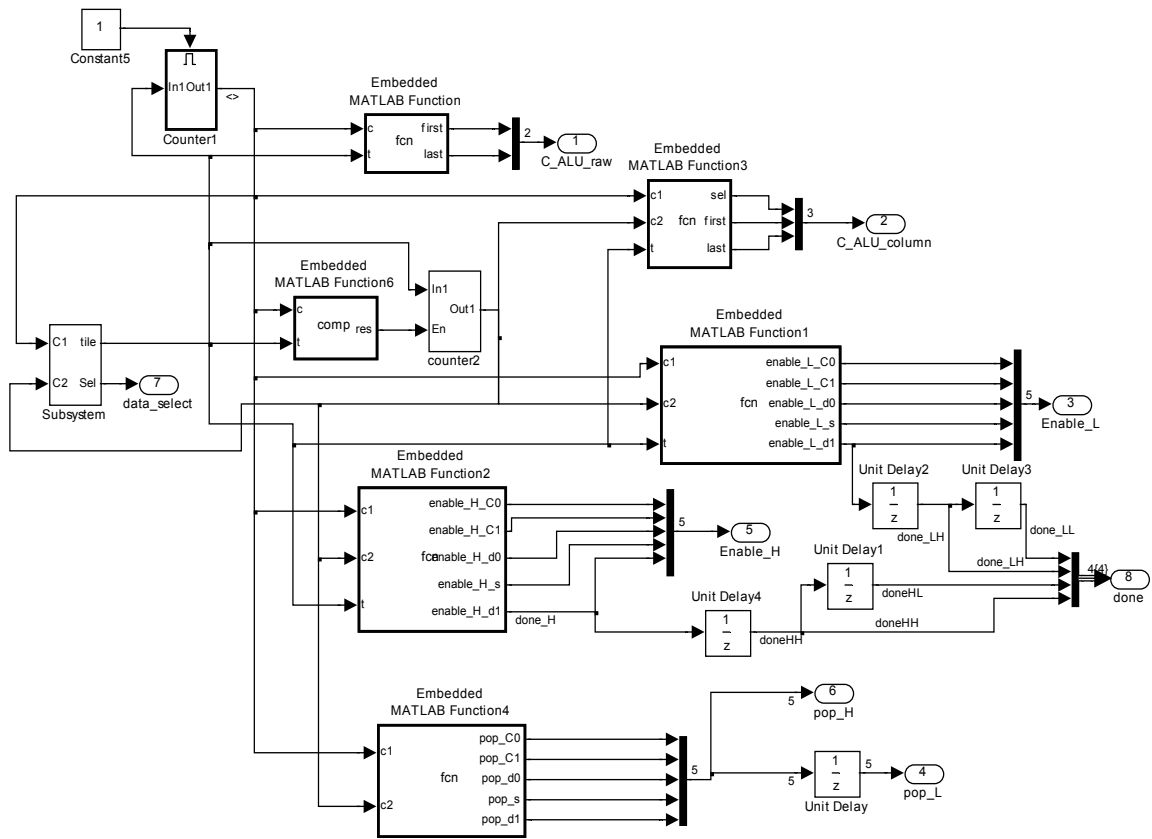


Рис. 5. Управляющий блок для 2D-DWT-преобразования

5. Арифметические блоки обработки строк и столбцов

Рис. 6 представляет собой модель арифметического блока для выполнения DWT Добеши преобразования по строкам, которая содержит управляющие сигналы для вычисления коэффициентов крайних элементов. Сигнал *first* используется в начале вычисления последовательности, а *last* – при завершении.

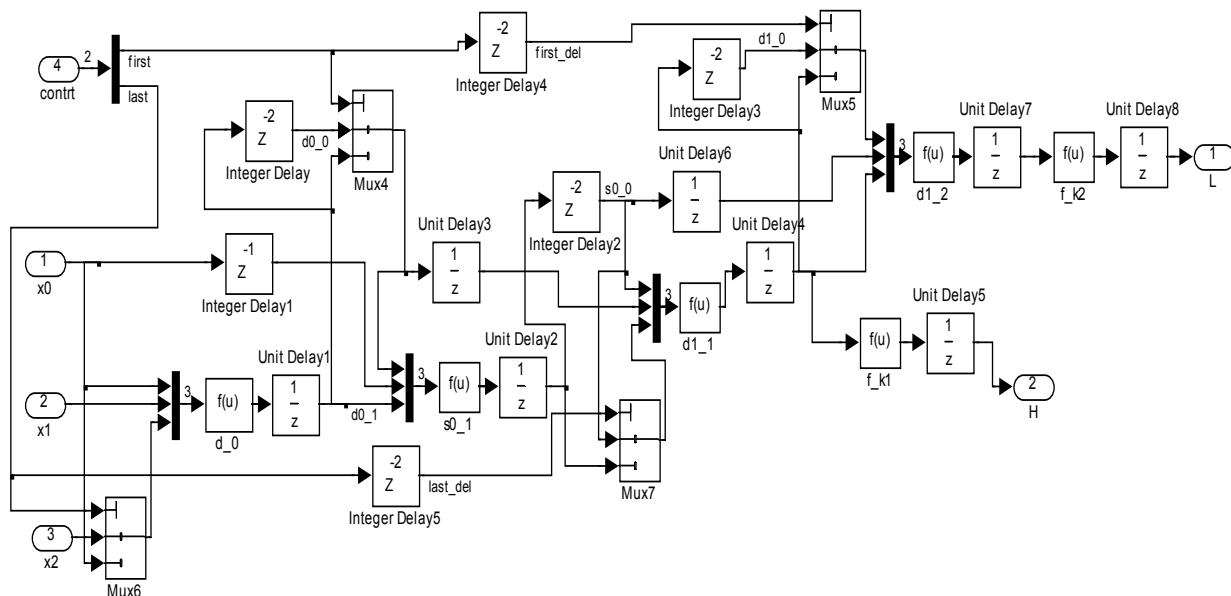


Рис. 6. Блок обработки данных по строкам для 4-ступенчатой лифтинговой схемы

Реализация математического дискретного вейвлет-преобразования DWT основывается на лифтинговой схеме (рис. 7), которая базируется на четырех основных операциях: разбиение (S), предсказание (P), обновление (U) и масштабирование (K).

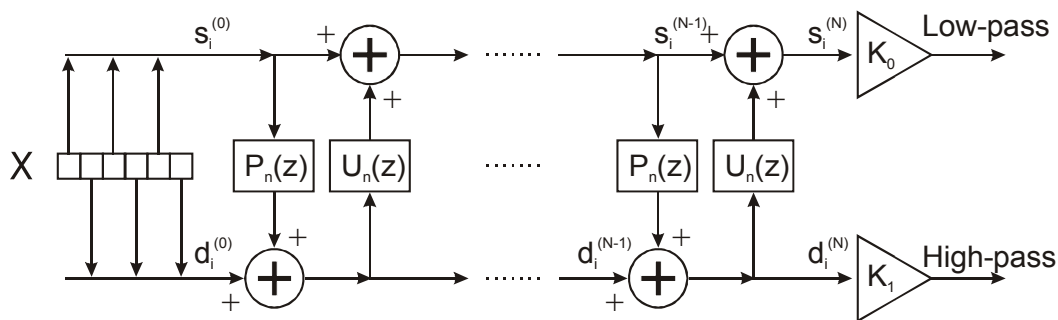


Рис. 7. Лифтинговая схема вейвлет-анализа: разбиение, предсказание и обновление

Значения элементов на каждом этапе преобразования вычисляется по формулам:

$$d_i^{(n)} = d_i^{(n-1)} + \sum_j P_n(j) s_j^{(n-1)}, n \in [1, 2, \dots, N],$$

$$s_i^{(n)} = s_i^{(n-1)} + \sum_j U_n(j) d_j^{(n)}, n \in [1, 2, \dots, N].$$

Для банка фильтров Добеши 9/7 $N=2$ используется четыре этапа построения вейвлет-преобразования. Выход последнего этапа предсказания умножается на масштабирующий коэффициент K_1 , а последнего этапа обновления – на величину K_0 .

Значения коэффициентов для преобразования Добеши имеют следующий вид:

$$P_1 = -1.586134342_059924(1+z);$$

$$U_1 = -0.052980118572961(1+z^{-1});$$

$$P_2 = 0.882911075530934(1+z);$$

$$U_2 = 0.443506852043971(1+z^{-1}).$$

При этом масштабирующие коэффициенты определяются в следующем виде:

$$K_0 = \frac{1}{K}, \quad K_1 = \frac{K}{2}, \quad \text{где } K = 1,230174104914001.$$

Для вычисления коэффициентов граничных элементов, при условии четного числа входных элементов, используется зеркальное отображение входных значений данных, как это изображено на рис. 8, где представлено формирование результатов DWT-преобразования для первых элементов входной последовательности, и на рис. 9, где проиллюстрировано формирование результатов DWT-преобразования последних элементов входной последовательности данных.

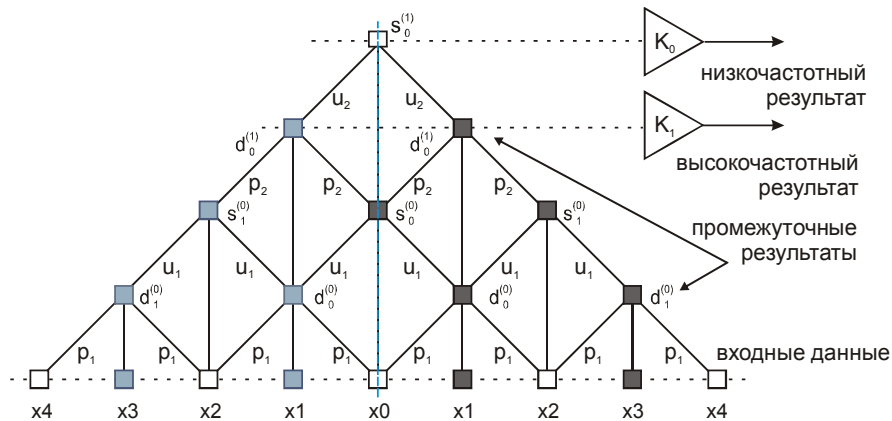


Рис. 8. Формирование результатов DWT-преобразования для первых элементов входной последовательности

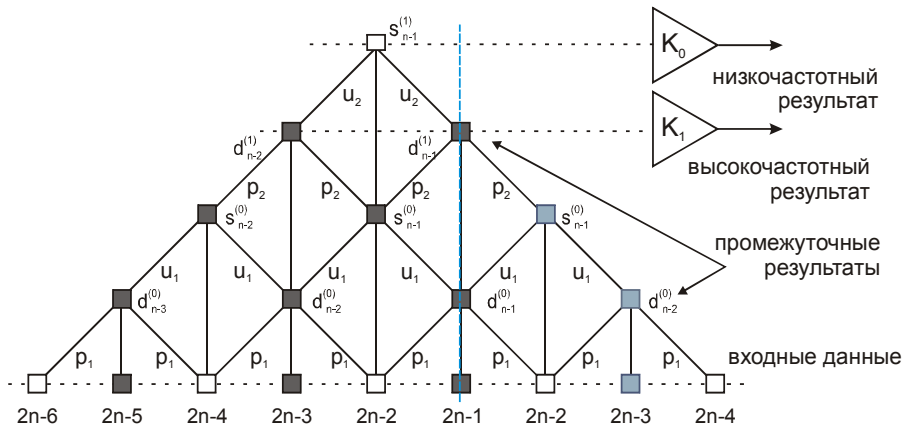


Рис. 9. Формирование результатов DWT-преобразования последних элементов входной последовательности

В табл. 4 и 5 представлены примеры для иллюстрации вычисления коэффициентов DWT-преобразования для граничных элементов.

Для хранения результатов одномерного DWT-преобразования изображения по строкам перед выполнением преобразования по столбцам используется специальная буферная память, построенная на пяти блоках памяти FIFO (рис. 10). Два блока памяти (C0 и C1) предназначены для хранения результатов DWT-преобразования двух строк, два других (d0 и s) – для хранения коэффициентов предсказания и обновления нулевого уровня, пятый (d1) – для хранения коэффициентов предсказания первого уровня.

Таблица 4. Порядок обработки данных низкочастотных коэффициентов для первых элементов входной последовательности в Excel

										L= 31,66835	
										$s^{(1)}_0$	
										38,9575	
H= 0,62507		$d^{(1)}_0$				$d^{(1)}_0$		H= 0,62507			
		1,01623				1,01623					
			$s^{(0)}_0$					$s^{(0)}_1$			
			49,2069					38,0560			
				$d^{(0)}_0$						$d^{(0)}_1$	
				-97,7517						-76,0291	
x4		x3		x2		x1		x0		x1	
50		45		40		35		30		35	
50		45		40		35		30		35	

Таблица 5. Порядок обработки данных низкочастотных коэффициентов для последних элементов входной последовательности в Excel

										L= 32,35174	
										$s^{(1)}_3$	
										39,7981	
H= 0,16871		$d^{(1)}_2$				$d^{(1)}_3$		H= 3,41277			
		0,27429				5,54845					
			$s^{(0)}_2$					$s^{(0)}_3$			
			49,2069					37,2157			
				$d^{(0)}_1$						$d^{(0)}_2$	
				-97,7517						-76,0291	
x2		x3		x4		x5		x6		x7	
50		45		40		35		30		35	
50		45		40		35		30		35	

Выполнение DWT-преобразования по столбцам начинается после завершения DWT-преобразования первых двух строк. Результаты преобразования этих двух строк заносятся в банки памяти (C0 и C1). В момент DWT-преобразования третьей строки параллельно считывается информация из блоков C0 и C1 и поступает на арифметический блок DWT-преобразования по столбцам. Результат преобразования третьей строки сохраняется в банке C0, а вычисленные коэффициенты предсказания и обновления нулевого уровня – в банках памяти d и s, далее они будут участвовать в вычислении коэффициентов предсказания и обновления первого уровня. При выполнении преобразования четвертой строки, информация сохраняется в банке C1. На этом этапе преобразования по столбцам не происходит. Табл. 6 представляет порядок формирования данных в памяти.

Таблица 6. Порядок обработки данных по столбцам для N=16 (N/2=8)

Строка	Память				Этапы лифтинга				
	C0	C1	d0	s	d1	$d^{(0)}$	$s^{(0)}$	$d^{(1)}$	$s^{(1)}$
0	C0								
1		C1							
2	C3		$d^{(0)}_0$	$s^{(0)}_0$		$d^{(0)}_0=C1-P_1(C0+C2)$	$s^{(0)}_0=C0-U_1(d^{(0)}_0+d^{(0)}_0)$		
3		C4							
4	C5		$d^{(0)}_1$	$s^{(0)}_1$	$d^{(1)}_0$	$d^{(0)}_1=C3-P_1(C2+C4)$	$s^{(0)}_1=C2-U_1(d^{(0)}_0+d^{(0)}_1)$	$d^{(1)}_0=d^{(0)}_0-P_2(s^{(0)}_0+s^{(0)}_1)$	$s^{(1)}_0=s^{(0)}_0-U_2(d^{(1)}_0+d^{(1)}_0)$
5		C6							
6	C7		$d^{(0)}_2$	$s^{(0)}_2$	$d^{(1)}_1$	$d^{(0)}_2=C5-P_1(C4+C6)$	$s^{(0)}_2=C4-U_1(d^{(0)}_1+d^{(0)}_2)$	$d^{(1)}_1=d^{(0)}_1-P_2(s^{(0)}_1+s^{(0)}_2)$	$s^{(1)}_1=s^{(0)}_1-U_2(d^{(1)}_0+d^{(1)}_1)$
7		C8							
8	C9		$d^{(0)}_3$	$s^{(0)}_3$	$d^{(1)}_2$	$d^{(0)}_3=C7-P_1(C6+C8)$	$s^{(0)}_3=C6-U_1(d^{(0)}_2+d^{(0)}_3)$	$d^{(1)}_2=d^{(0)}_2-P_2(s^{(0)}_2+s^{(0)}_3)$	$s^{(1)}_2=s^{(0)}_2-U_2(d^{(1)}_1+d^{(1)}_2)$
9		C10							
10
	Запись								
	Чтение и запись								

Поскольку вычисление результатов происходит через строку, то один и тот же арифметический блок может быть задействован поочередно для обработки низкочастотных и высокочастотных результатов одномерного DWT-преобразования. Архитектура обработки данных по столбцам представлена на рис. 11. Блок Input_Select используется для переключения режимов вычислительных процессов в целях получения низкочастотных и высокочастотных результатов одномерного DWT-преобразования, которые являются в данном блоке входными значениями.

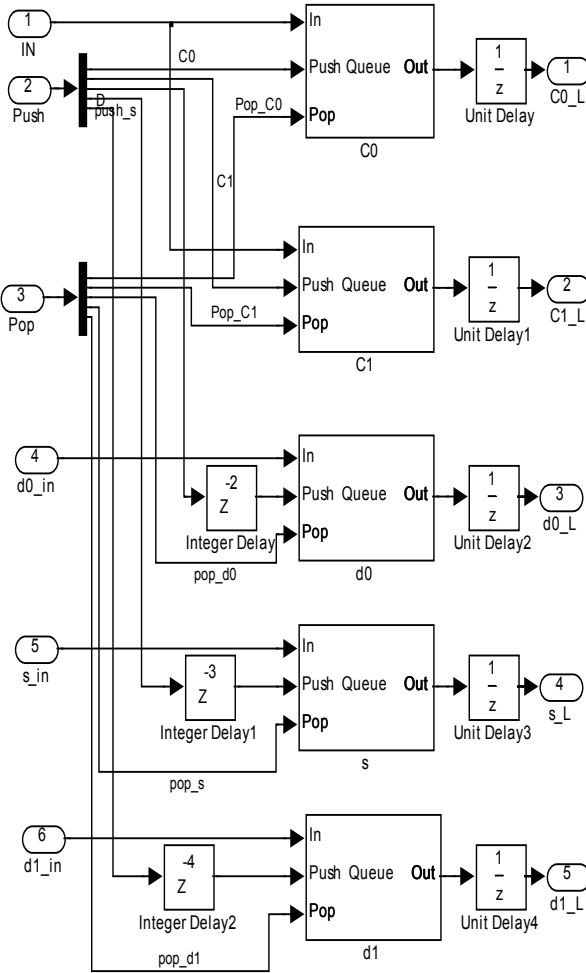


Рис. 10. Схема буфера памяти строк (L-mem)

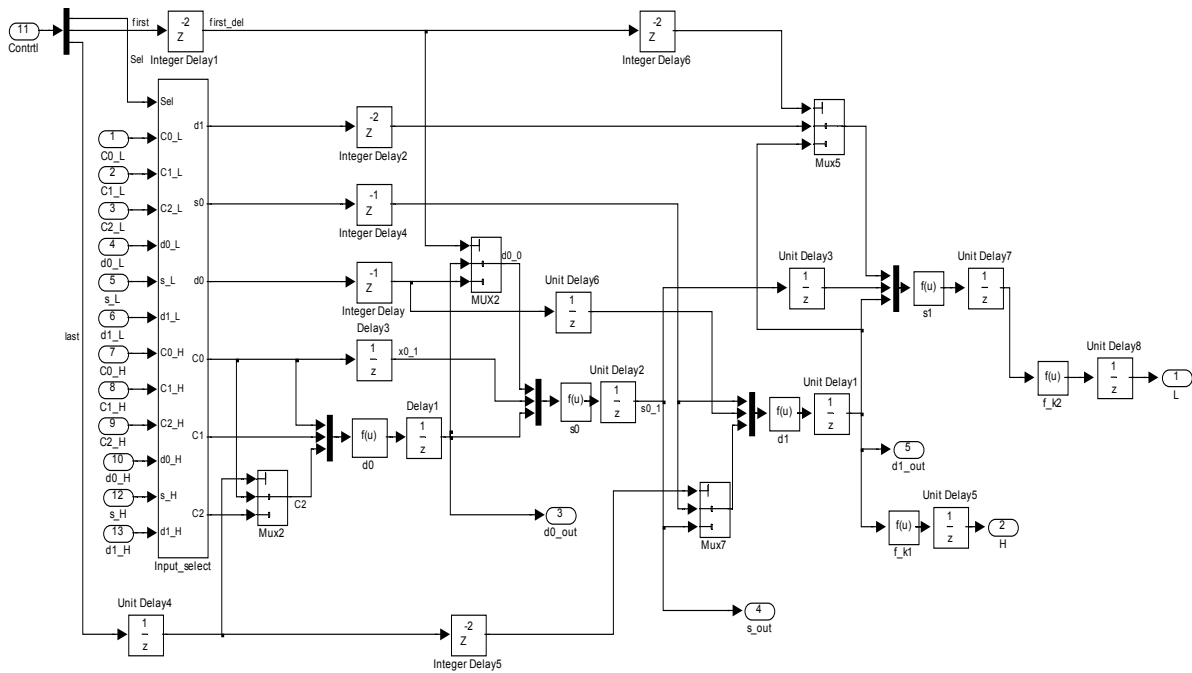


Рис. 11. Арифметический блок для обработки данных по столбцам (Arithmetic Block)

6. Заключение

Научная новизна – предложена системная модель вейвлет-преобразования 9/7 цифровой обработки данных, реализованная в Simulink. Модель позволяет однозначно трактовать работу устройства. Спроектирован специализированный вычислитель, работающий по принципу конвейера, и управляющий блок устройства. Выполнено моделирование и верификация режимов работы памяти.

Технология, заключающаяся в предварительной системной разработке структуры DWT-вычислителя, существенно упрощает последующий процесс проектирования RTL-модели устройства на VHDL и Verilog.

Практическая значимость – существенное уменьшение (на 30-50%) цикла проектирования конвейерного устройства цифровой обработки сигналов за счет предварительной разработки и верификации архитектурной модели системного уровня по заданной спецификации.

Преимущества предложенной технологии создания иерархических системных моделей проектирования:

1) Наглядность описания модели устройства в виде системной архитектуры, возможность моделирования и верификации функциональности изделия до создания RTL-модели на языках HDL.

2) Технологичность и инвариантность предложенных системных архитектурных моделей относительно написания VHDL -кода, наглядность процедур тестирования, диагностирования и коррекции ошибок передачи данных или формирования управляющих сигналов, что значительно упрощает весь процесс проектирования и на 30% сокращает время разработки конвейерных вычислительных устройств.

3) Дальнейшие исследования связаны с анализом и определением зависимости качества изображения от разрядности коэффициентов лифтинга, аппаратурной сложности, промежуточных и конечных результатов. Интересным является направление, связанное с получением оптимального решения в отношениях «качество изображения – размер аппаратуры» для реализации устройства. Также актуальными на сегодня следует считать аппаратную реализацию в кристалле программируемой логики, полную верификацию HDL-модели, автоматическое генерирование управляющего блока конвейерных архитектур.

Список литературы: 1. *Daubechies I. and Sweldens W.* Factoring wavelet transforms into lifting steps. Bell Laboratories, Lucent Technologies. 1996. 368p. 2. *Daubechies I. and Sweldens W.* Factoring wavelet transforms into lifting schemes. J. Fourier Anal. Appl. Vol. 4. 1998. P. 247-269. 3. *Kotteri K.A., Barua S., Bell A.E., and Carletta J.E.* A comparison of hardware Implementations of the biorthogonal 9/7 DWT: Convolution Versus Lifting – IEEE Transactions on circuits and systems. II: Express Briefs, Vol. 52, No. 5, May 2005. P. 256-260. 4. *Liao H., Mandal M.K., and Cockburn B.F.* Novel Architectures for Lifting-based Discrete Wavelet Transform. *Electronics Letters*. Vol. 38. 2002. Issue 18. P. 1010-1012. 5. *Dimitroulakos G., Zervas N.D., Sklavos N., Goutis C.E.* An efficient VLSI implementation for forward and inverse wavelet transform for JPEG2000. Proc. of 14th IEEE International Conference on Digital Signal Processing (DSP'02). Greece. 2002. P. 233-236. 6. *Abdullah Al Muhit, Md. Shabiul Islam, Masuri Othman.* VLSI Implementation of Discrete Wavelet Transform (DWT) for Image Compression. 2nd International Conference on Autonomous Robots and Agents. 2004. New Zealand. P. 391-395. 7. *Irina Hahanova, Irina Pobegenko, Wade Ghribi, Hassan Kteiman.* Lifting structure implementation of discrete wavelet transform for filter bank 5/3. TCSET'06. 2006. P. 293 -296. 8. *Hahanova I., Miroshnychenko Y., Pobegenko I., Savvutin O.* Design Models of Pipelined Units for Digital Signal Progressing. Proceedings of the IX International Conference The Experience of Designing and CAD Systems in Microelectronics CADSM'07. Ukraine. 2007. P. 87-91. 9. *Tinku Acharya, Ping-Sing Tsai* JPEG2000 Standard for Image Compression. Concepts, Algorithms and VLSI Architectures. J.Wiley & Sons. New Jersey. 2005. 292 p.

Поступила в редколлегию 19.06.2007

Хаханова Ирина Витальевна, докторантка кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование цифровых систем на кристаллах. Увлечения: английский язык, музыка. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanova@mail.ru

Побеженко Ирина Александровна, аспирантка кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование цифровых систем на кристаллах. Увлечения: английский язык, музыка. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: irina_pob@ukr.net

Хаханов Владимир Иванович, декан факультета КИУ, д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ ХНУРЭ. Научные интересы: проектирование и тестирование цифровых систем. Увлечения: футбол, горные лыжи, путешествия. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-326. E-mail: hahanov@kture.kharkov.ua

ЧИСЛЕННЫЙ РАСЧЕТ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОВОДЯЩИХ СТРУКТУРАХ СОВРЕМЕННЫХ МИКРОСХЕМ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Численно-аналитическим методом решается задача динамики развития электротепловых процессов в неоднородных медных микроструктурных элементах интегральных микросхем при воздействии мощных электромагнитных полей. Приводятся пороговые значения напряженности электромагнитного поля, характеризующие процессы «локальной деградации» в неоднородных проводящих структурах современных микросхем.

1. Введение

Развитие технологии производства современных интегральных микросхем (ИМС), микропроцессоров и микросборок позволяет значительно увеличить степень интеграции этих устройств. Это приводит к уменьшению геометрических размеров пленочных полупроводниковых и проводящих структур, размеров диэлектрических элементов, взаимных расстояний между базовыми элементами кристаллов микросхем. Уменьшение геометрии элементов и взаимных расстояний между ними может вызывать повышенные напряженности полей в микроструктурных элементах (МСЭ) микросхем при воздействии на них мощных электромагнитных полей.

Начиная с 1997 г., в микроэлектронной промышленности в качестве пленочных проводников начали применять медные микроструктурные элементы, у которых, в отличие от алюминиевых МСЭ, практически отсутствует зернистость [1, 2]. Кроме того, проводимость и тепловая стойкость меди намного превосходят подобные величины у алюминия. Развитие технологии создания активных, диэлектрических и проводящих МСЭ позволило значительно повысить степень интеграции элементов в микросхемах, увеличить их функциональные возможности, уменьшить размеры кристаллов и микросхем.

При воздействии импульсных электромагнитных полей (ИЭМП) или статического электричества на микросхемы основной причиной их выхода из строя является тепловой пробой проводящих микроструктурных элементов (контактных площадок и дорожек). В работах [3, 4] приводятся результаты исследований развития электротепловых процессов в микросхемах с алюминиевыми микроструктурными элементами. В настоящее время отсутствуют результаты исследований, связанные с особенностями развития электротепловых процессов в кристаллах микросхем с использованием медных проводящих пленок при воздействии мощных импульсных электромагнитных полей. Кроме того, отсутствуют данные для порогов стойкости современных микросхем, микропроцессоров и микроконтроллеров к воздействию электромагнитных полей, обусловленных прожогом проводящих микроструктурных элементов.

Целью работы является численно-аналитический расчет динамики развития электротепловых и деградационных процессов в проводящих структурах современных микросхем при воздействии мощных импульсных электромагнитных полей и определение пороговых значений стойкости микросхем на основе тепловой стойкости медных микроструктурных элементов.

2. Модель воздействия электромагнитных полей на современные микросхемы

При радиационном воздействии на радиоэлектронную аппаратуру непосредственно изменяются характеристики и свойства полупроводниковых и диэлектрических МСЭ микросхем. При воздействии импульсных электромагнитных полей на радиоэлектронную аппаратуру процессы в МСЭ микросхем определяются наведенными токами и приложенными

напряжениями, значения которых зависят от геометрических размеров и ориентации микросхемы относительно поля (поляризационный фактор, «антенный механизм» [5]). Существенное влияние на наведенные токи и приложенные напряжения оказывает также «обвязка» (внешние элементы) микросхем, обеспечивающая их работоспособность.

Ввиду большого многообразия радиоэлектронных устройств целесообразно рассмотреть процессы только в элементной базе, а именно в микросхемах при воздействии ИЭМП. При этом пороговые значения стойкости радиоэлектронной аппаратуры, определяемые стойкостью микросхем, будут предельно минимальными при условии отсутствия защитных корпусов у радиоаппаратуры. При таком подходе модель взаимодействия полей с микроструктурными элементами микросхем сводится к решению дифракционной задачи для определения полей вблизи кристалла микросхем, определения наведенных токов и приложенных напряжений к контактным площадкам или выводам микросхем и решения электротепловой задачи для модели кристалла микросхемы.

Современные микросхемы являются достаточно сложными структурами, как правило, с большой степенью интеграции элементов на кристалле [6]. Описать и полностью промоделировать процессы в кристаллах микросхем при воздействии на них электромагнитных полей не представляется возможным. В работе [7] предложена методика численно-аналитического исследования процессов, происходящих в проводящих микроструктурах интегральных микросхемах при воздействии мощных электромагнитных полей. Она была апробирована на цифровых и аналоговых микросхемах средней степени интеграции. Полученные согласно этой методике результаты достаточно хорошо коррелируют с экспериментальными данными [8]. Разработанную численно-аналитическую модель [7] можно использовать и для исследования динамических процессов в проводящих микроструктурных элементах современных микросхем.

Для построения адекватной модели воздействия электромагнитных полей на современные микросхемы необходимо учесть геометрические и электрофизические особенности модели микросхемы, включающей корпус, кристалл и вывод [9]. В качестве импульсных электромагнитных полей, воздействующих на микросхемы, предполагается использование радиотехнических импульсов прямоугольной формы с СВЧ заполнением, с соблюдением условия длинноволнового приближения для кристалла микросхемы. В этом случае при решении дифракционной задачи существенным будут геометрические особенности корпуса и выводов, так как кристалл не влияет на распределение полей вблизи микросхемы и на структурных элементах [9]. В то же время, размеры и геометрия пленочных проводящих элементов на кристалле, их взаимное расположение существенно влияют на величину токов, которые проходят через МСЭ.

При воздействии электромагнитных полей на микросхемы возникают разрядные цепи (токовые каналы), электрические параметры которых определяются как топологическими особенностями микросхем, так и ориентацией микросхем относительно падающей волны. Для иллюстрации этого на рис. 1 приведена топология кристалла типовой микросхемы и возможные разрядные цепи.

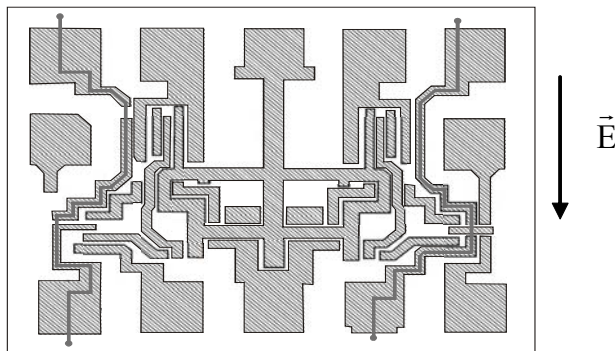


Рис. 1. Топология кристалла ИМС и образование разрядных цепей при воздействии электромагнитных полей

Кристалл микросхемы представляет собой сложную неоднородную структуру с большим количеством различных МСЭ: активных полупроводниковых приборов, диэлектрических и проводящих включений. При построении модели кристалла учитываются основные микроструктурные элементы (рис.2): кремниевая подложка (Si), диэлектрический слой оксида кремния (SiO_2), медные проводящие пленочные элементы (Cu), защитный слой - слой оксида кремния (SiO_2). В модели кристалла тонкая металлическая пленка разделена диэлектрическими включениями (см. рис.1), количество и геометрические параметры которых определяются токовыми каналами.

Особенностью структуры проводящей пленки является ее неоднородность, которая моделируется путем соответствующего распределения электропроводности вдоль пути прохождения тока. В отличие от алюминиевой металлизации, где явно выражена неоднородность проводящей пленки по толщине, при использовании медной проводящей пленки ее неоднородность задавалась по ширине (рис.3).

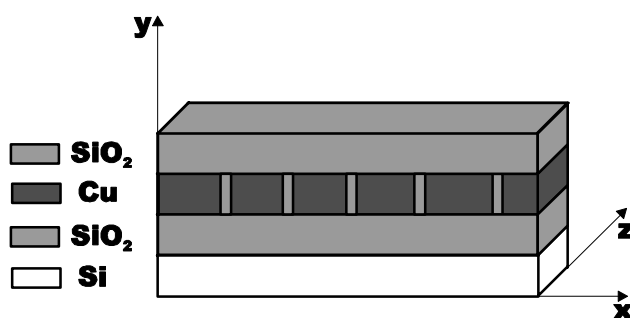


Рис. 2. Модель кристалла с медными пленочными проводящими элементами

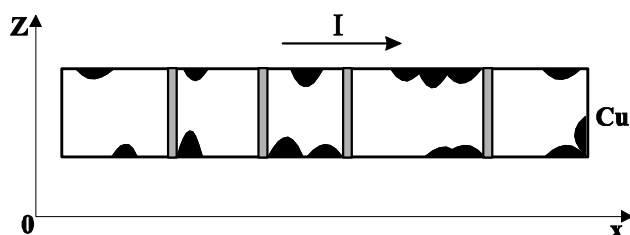


Рис. 3. Модель неоднородного проводящего пленочного элемента вдоль разрядной цепи (горизонтальное сечение)

Методика численно-аналитического моделирования воздействия электромагнитных волн на современные микросхемы включает в себя следующие этапы:

- 1) Построение модели микросхемы (геометрия корпуса, кристалла, выводов).
- 2) Задание ориентации модели микросхемы относительно электрической компоненты напряженности поля электромагнитной волны.
- 3) Численное решение дифракционной задачи и определение полей вблизи микросхемы;
- 4) Выявление разрядных цепей и расчет токов и напряжений на МСЭ.
- 5) Численно-аналитический расчет распределения удельной мощности тепловых источников вдоль пути прохождения тока с учетом электрофизических свойств медных проводящих пленок в данный момент времени.
- 6) Расчет температурного поля слоистой структуры кристалла на данном временном шаге путем численного решения нестационарного уравнения теплопроводности [8] с учетом распределения удельной мощности тепловых источников в тонких металлических пленках.
- 7) Графическая обработка параметров электротепловой модели для анализа характера развития электротепловых процессов в слоистой структуре кристалла.
- 8) Расчет электрофизических параметров слоистой структуры кристалла на данном временном шаге.

9) Обработка результатов расчета и определение временных и пространственных характеристик деградационных процессов в тонких металлических пленках при воздействии электромагнитных полей.

Расчет динамики деградационных процессов в тонких металлических пленках осуществляется на каждом временном шаге (t) до тех пор, пока не произойдет выгорание тонкой металлической пленки или не установится стационарный температурный режим в слоистой микроструктуре при воздействии электромагнитных полей.

3. Динамика электротепловых и деградационных процессов в медных проводящих структурах

Проводящая медная пленка представляет собой пространственно-неоднородную структуру, значения электропроводности неоднородных участков которой (участки 1-15, рис.4) составляют 10% от значений электропроводности однородных участков. Неоднородные участки металлической дорожки распределены, в общем случае, случайным образом, однако они обязательно присутствуют в местах контакта с диэлектрическим участком (участки 7-10, рис.4) и на краях металлизации (участки 1, 2, 14, 15).

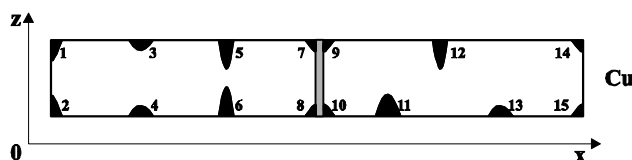


Рис.4. Неоднородная структура медной проводящей дорожки по ширине металлизации

Неоднородность металлизации приводит к тому, что наблюдается неравномерный разогрев проводящей пленки вдоль пути прохождения тока (рис.5). В местах сужения токового канала увеличивается выделяемая мощность, что приводит к повышению температуры и формированию неоднородного температурного поля.

На начальной стадии наблюдается локальное повышение температуры на неоднородных участках, на которое не влияет пространственное температурное поле. Неоднородность структуры металлической пленки и учет влияния температуры на электрофизические параметры пленки приводит к перераспределению тока и мощности по всей структуре медной проводящей пленки. Этот процесс вызывает интенсивное повышение температуры в местах большой неоднородности (участки 5,6, рис.5), что особенно ярко начинает проявляться с момента времени $t=10^{-8}$ с. При этом наблюдается «растекание теплоты» по толщине дорожки (вдоль оси y), что связано с размерами поперечного сечения металлизации.

Надо отметить, что в данных временных рамках (до момента времени $t=10^{-8}$ с) практически на повышение температуры не влияют граничные условия. При этом до момента локального выгорания неоднородного участка ($t=1,257 \cdot 10^{-8}$ с) температура для одинаковых размеров неоднородных участков как внутри дорожки (участки 3,4), так и на ее краях (участки 14,15) практически одинакова. Это связано с тем, что тепловой процесс носит в основном адиабатический и квазиадиабатический характер – отсутствует влияние граничных условий на торцах модели кристалла микросхемы на температурное поле.

Численные эксперименты, проведенные при меньших значениях напряженности внешнего электромагнитного поля, показали, что граничные условия на торцах начинают влиять на температурное поле с момента времени $t=0,5-0,8$ мкс. При этих значениях времени тепловой процесс перестает быть квазиадиабатическим и характер тепловых потоков определяется, в основном, граничными условиями на всей модели кристалла.

Полученные количественные значения как времени локальной деградации металлизации, так и динамики развития деградационных процессов зависят не только от параметров внешнего воздействия, но и от параметров разрядной цепи.

В работе были определены пороговые значения по напряженности поля в медных неоднородных проводящих дорожках и проведен сравнительный анализ с алюминиевыми дорожками. Модель с медными проводящими пленками представлена в двух вариантах –

дорожка из чистой меди и медная дорожка, расположенная в танталовой канавке. При этом надо отметить, что при расчете пороговых значений использовалось понятие «локальная деградация» - считалось, что наступил порог деградации, когда на локальном участке была достигнута температура плавления данного участка.

На рис.6 приведены графики стойкости проводящих микроструктурных элементов микросхем - зависимости пороговых значений напряженности электромагнитного поля от длительности воздействующего СВЧ-импульса.

Полученные зависимости показывают, что локальная стойкость медной металлизации по напряженности электрической компоненты падающей электромагнитной волны в 3-5 раз больше аналогичной величины для алюминиевой металлизации при одинаковых поперечных сечениях проводников. Это связано как с разными значениями электрофизических параметров данных материалов, так и с температурными характеристиками. В частности, температура плавления меди более чем на 400°C превышает температуру плавления алюминия. В то же время, особенно в области коротких длительностей импульса, нет качественных отличий между двумя зависимостями.

Использование танталовой канавки повышает стойкость металлизации к воздействию полю. Это связано, прежде всего с тем, что температура плавления тантала 2996°C , что на 1900°C больше, чем у меди. Поэтому танталовая канавка как бы «удерживает» расплавленную медь, пока сама не расплавится.

4. Заключение

Численно-аналитическая модель воздействия мощных электромагнитных полей на современные микросхемы позволила исследовать динамику развития электротепловых процессов в неоднородных медных проводящих микроструктурных элементах. Получены временные и пространственные характеристики деградационных процессов в МСЭ. Сравнительный анализ пороговых значений напряженности электромагнитного поля позволил определить процентное увеличение стойкости неоднородных проводящих МСЭ при использовании медных пленочных элементов по сравнению с алюминиевыми при одинаковых поперечных сечениях проводников.

Список литературы: 1. *Ning T.H.* CMOS in the New Millennium. Semiconductor Fabtech. -13th Edition, ICG Publishing Ltd., London, UK, 2001. P. 287-295. 2. *Wolf S.* Silicon Processing for the VLSI Era. Vol. 2. Process Integration. Lattice Press: Sunset Beach, CA, USA, 1990. 752 p. 3. *Старостенко В.В., Таран Е.И., Глумова*

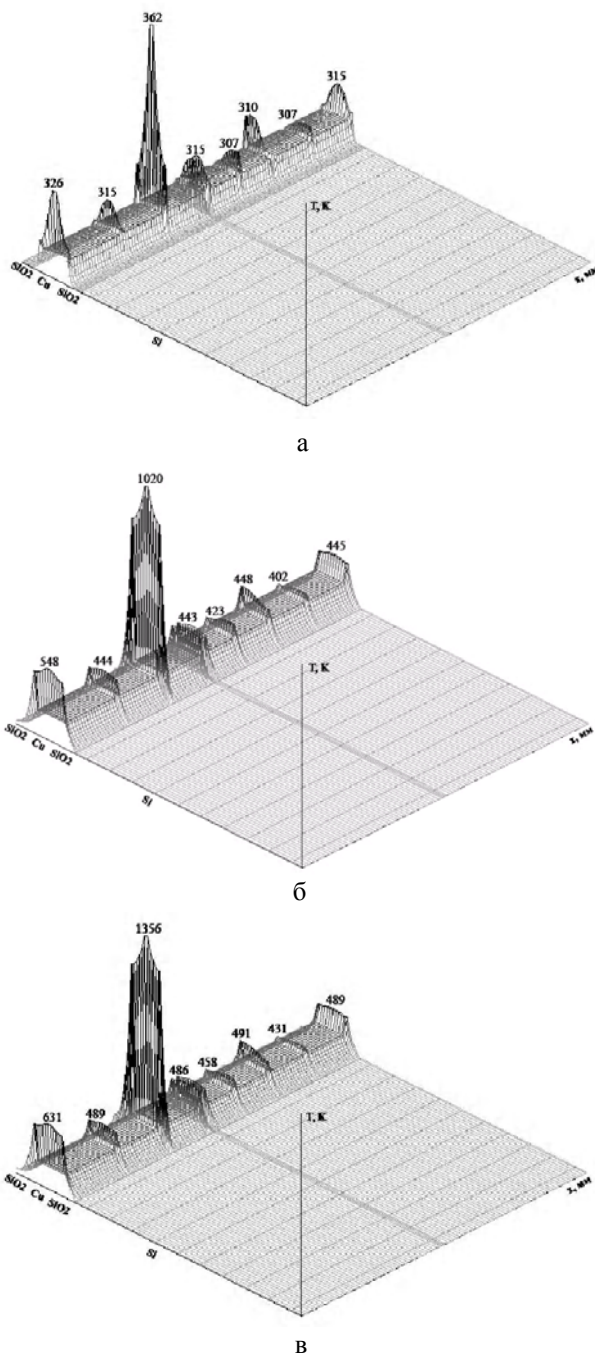


Рис. 5. Распределение температуры в модели кристалла микросхемы в динамике: а – $t=10^{-9}$ с; б – $t=10^{-8}$ с; в – локальное выгорание ($t=1,257 \cdot 10^{-8}$ с)

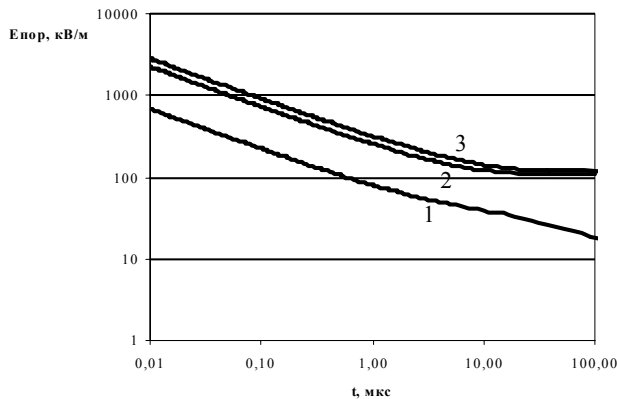


Рис. 6. Зависимость пороговых значений напряженности электромагнитного поля от длительности импульса: 1 – алюминиевая дорожка; 2 – медная дорожка; 3 – медная дорожка в танталовой канавке

Старостенко В.В., Таран Е.П., Григорьев Е.В. Локальная деградация металлизации в интегральных микросхемах при воздействии электромагнитных полей // Радиофизика и электроника. 1998. Т. 3, №1. С.123-126. **8.** *Старостенко В.В., Таран Е.П., Григорьев Е.В., Борисов А.А.* Воздействие электромагнитных полей на интегральные микросхемы // Измерительная техника. Москва, 1998. № 4. С.65-67. **9.** *Starostenko V.V., Taran E.P., Malishevski S.V., Churyumov G.I.* Near Field Zone of an Integrate Circuit Exposed to an Electromagnetic Wave in a Waveguide// Technical Physics Letters. V.29, №1. P.29-31.

М.В., Рукавишников А.В. Динамика развития необратимых деградационных процессов в проводящих микроструктурах интегральных микросхем при воздействии импульсных электромагнитных полей // Вестник ХНУ. Радиофизика и электроника. 2002. Вып.1, № 544. С.167-172. **4.** *Starostenko V.V.* Current Characteristics of Heterogeneous Conducting Microstructures of Integrated Circuits on Exposure to Electromagnetic Fields// Telecommunications and Radio Engineering. 2002. V.57(8-9). P. 93-98. **5.** *Гадецкий Н.П., Кравцов К.А., Магда И.И.* Взаимодействие мощного СВЧ излучения УКДИ с приемно-усилительным трактом СВЧ диапазона // Материалы IV Междунар. конф. «СВЧ-техника и спутниковый прием». Том 2. Севастополь: «Вебер». 1994. С. 536-538. **6.** Евстифеев А. Микроконтроллеры AVR семейства Mega. М: Издательство: Додэка, 2007. 592 с. **7.** *Старостенко В.В., Таран Е.П., Григорьев Е.В.* Локальная деградация металлизации в интегральных микросхемах при воздействии электромагнитных полей // Радиофизика и электроника. 1998. Т. 3, №1. С.123-126. **8.** *Старостенко В.В., Таран Е.П., Григорьев Е.В., Борисов А.А.* Воздействие электромагнитных полей на интегральные микросхемы // Измерительная техника. Москва, 1998. № 4. С.65-67. **9.** *Starostenko V.V., Taran E.P., Malishevski S.V., Churyumov G.I.* Near Field Zone of an Integrate Circuit Exposed to an Electromagnetic Wave in a Waveguide// Technical Physics Letters. V.29, №1. P.29-31.

Поступила в редколлегию 17.06.2007

Старостенко Владимир Викторович, д-р физ.-мат. наук, зав. кафедрой радиофизики Таврического национального университета (ТНУ). Научные интересы: моделирование вакуумных и твердотельных устройств СВЧ, исследование деградационных процессов в различных объектах и средах при воздействии электромагнитных полей. Адрес: Украина, 95022, Симферополь, ул. Б.Куна, 31, кв.13, тел.: раб. (0652)230360, дом. (0652)575401.

Таран Евгений Павлович, канд. физ.-мат. наук, доцент радиофизики ТНУ. Научные интересы: численное моделирование процессов взаимодействия электромагнитных волн с пленочными микроструктурными элементами. Адрес: Украина, 95004, г.Симферополь, ул. Лермонтова, 11, кв.79, тел.: раб. (0652)230360, дом. (0652)601017. E-mail: taran@tnu.crimea.ua

Грибский Максим Петрович, аспирант кафедры радиофизики ТНУ. Научные интересы: экспериментальные исследования деградационных процессов в микро-структурных элементах интегральных микросхем при воздействии электромагнитных полей. Адрес: Украина, 95053, Симферополь, ул. Бетховена, 113, кв.88.

Чурюмов Геннадий Иванович, д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры физических основ электронной техники ХНУРЭ. Научные интересы: методы математического моделирования нелинейных процессов, СВЧ-электроника и электродинамика, электронные и оптоэлектронные приборы. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр.Ленина, 14, тел. 702-10-57

Трибрат Михаил Игоревич, студент 6-го курса радиофизического факультета Киевского национального университета имени Тараса Шевченко. Научные интересы: численное моделирование процессов распространения электромагнитных волн в слоистых неоднородных структурах.

DIGITAL SYSTEM FOR STUDYING MICROCONTROLLERS VIA INTERNET

The architecture of the proposed system is built on the base of two-processor scheme which allows designing programs for adjustment of a microcontroller without using a special programmer device. In case of failure the master microcontroller easily puts it in a normal operation mode. Built-in hardware provides access via Internet which allows applying the client-server architecture for performing the practice and laboratory lessons with distant users.

1. Introduction

At present time, one of the main problems of the scholastic process is a discrepancy between possibility of the traditional methods of education and coverage of the actual knowledge, which modern society requires from the university graduates.

With the modern level of development of telecommunication facilities, the possibility of granting access of students to educational resource appeared from education institution bounds.

Leading companies of the world already created and currently are creating the means of development hardware and software for different devices with microcontrollers using. Some of companies have even released the special versions, targeting higher education institutions, for training aims.

These packages allow developing, debugging and simulating hardware and software on personal computer and, as a result, get fully viable designs.

In spite of all advantages this approaches provide, a student has no possibility to implement the real device and gain experience enabled by computer modeling. Additionally, modeling does not allow to simulate functioning of some peripherals, requiring feeding physical signal for its functioning, for instance, ADC, comparer etc.

In this paper the attempt has been made to create the digital system, using advantages of different training facilities, with the goal to implement different devices and get the practical skills upon their development and debugging.

System architecture based on client-server methodology in carrying out practical and laboratory works allows, on the one hand, get essential savings of facilities at organizations with full-time forms of training. On the other hand, it allows distant training closer to hardware via virtual space.

2. Selection of ways for task completion

For provision of flexibility in work with digital systems, and its consequent modernization in structure of laid module principle, which allows to give the comfort for functioning, both in laboratory, and via local-area network with minimum interference from service personnel.

Such approach would easily allow configuration to solve different problems and to use it for full-time and distant form of education both.

For ensuring reliability of digital system and simplification of management its components, system is built on two-processor scheme.

One microcontroller executes control functions and provides loading of user software and shaping controlling signal required for work of some units, as well as issue result on personal computer, with which work is executed.

The Debugging microcontroller is connected to peripheral modules (ADC, DAC, PWM, LCD, meters of frequency, real-time clock, and others) and executes user software.

Such principle allows software developing for debugging microcontroller; not taking care of some failure or incorrect written program system can be suspended and it will be impossible to bring it back into normal working state without intervention of specialist. Any time master controller can generate the reset signal for debugging controller and it brings back into normal working state. For instance, this possibility is especially important for remote access to the system via local-area network.

Among enormous amount of existing microcontrollers for creating the digital systems, 8-bits microcontrollers of PIC18 family of Microchip Technology Inc. (www.microchip.com) were chosen having the best performance on correlation price/capacity/consumed power now.

These microcontrollers have a command system, optimized for high level languages such as C and C++, a compact performance and very small power consumption.

There are more technical descriptions on microcontrollers PIC18 in Russian language. This fact, certainly, simplifies their study and usage. The knowledge base of Russian - language documentation is constantly renewed.

Besides, Microchip Technology Inc. gives MPLAB, the environment of the software development. It can be free loaded from site of the manufacturer. This development environment supports more than 30 different types of microcontrollers and allows software developing and debugging on Assembler language.

Additionally, for more serious projects, there is C-compiler, optimized for PIC18 family, which can be integrated in MPLAB environment.

Common type of digital system is given on Figure 1.

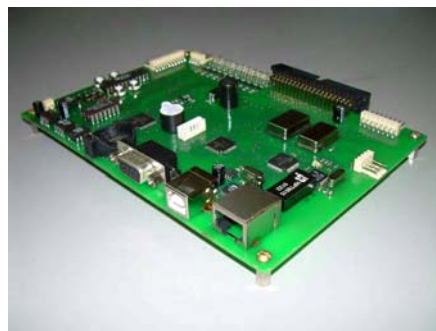


Fig. 1. View of the Digital system

It is not difficult to understand the purpose of modules used in Digital System by analyzing a structured scheme.

Majority of them is assigned for traditional problems solving, appeared in the most various microcontroller systems designing. In our opinion, the most interesting are presented below modules. They allow considerably enlarge possibilities of the digital system.

Structured scheme of digital system is shown on Figure 2.

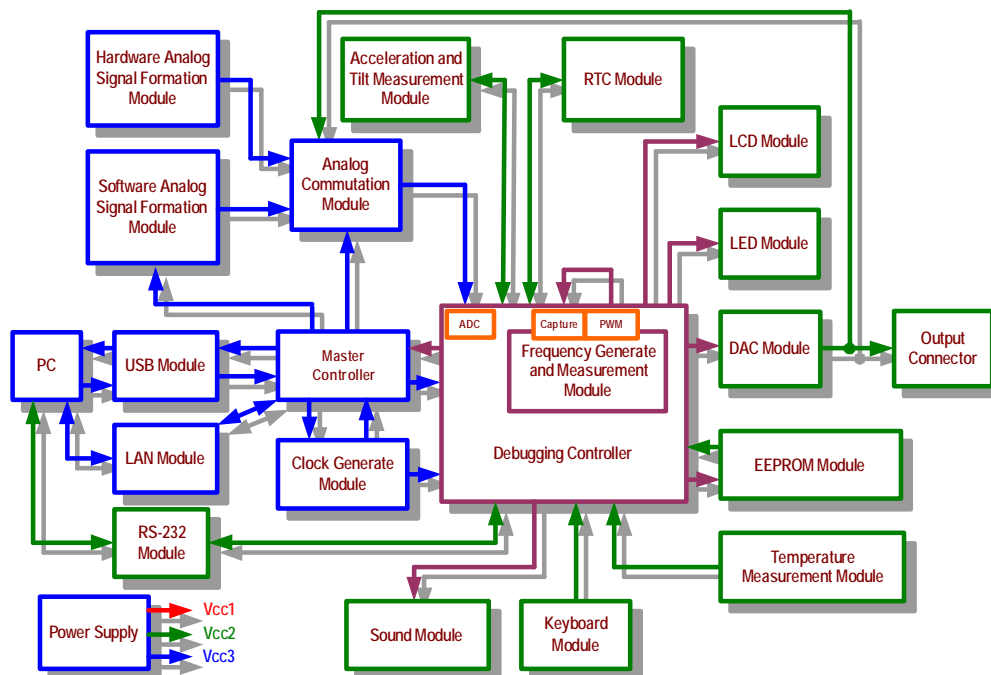


Fig. 2. Structured Scheme of Digital system

USB Module. This module is based on a microcircuit FT232BM of FTDI Technologies company (<http://www.ftdichip.com>). It presents USB bus signals converter to RS-232 protocol signals and it allows achieving the best data transfer compare to traditional RS-232 (Fig.3).

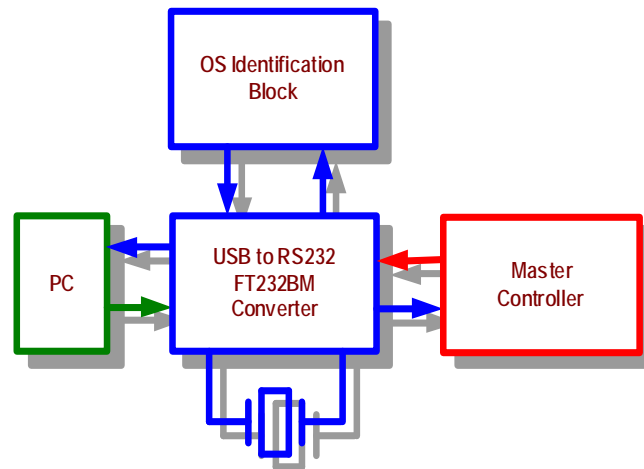


Fig .3. USB to RS-232 Converter

The FTDI Ltd provides a free driver for Windows and Linux operating systems and special free software for their own microcircuits configuration and usage. FTDI Ltd provides also examples which usage significantly simplifies and accelerates the development.

The microcircuit FT232BM requires external quartz generator, operating system identification scheme, small bus filters, and scheme of baud rate choice on USB bus.

The identification scheme is based on microcircuit AT93C46 of Atmel Corp (<http://www.atmel.com>). This scheme represents non-volatile memory EEPROM with the organization 128x8 or 64x16, accessible on interface SPI.

Using special FTDI utility MProg user can write Vendor ID and Product ID of device, small text identifier and some settings. Vendor ID, Product ID, and text identifier are used for driver installation and device registration in system.

Information accepted on USB interface and transformed by microcircuit, is output as RS-232 protocol packages.

ADC and DAC Modules are presented on Figure 4.

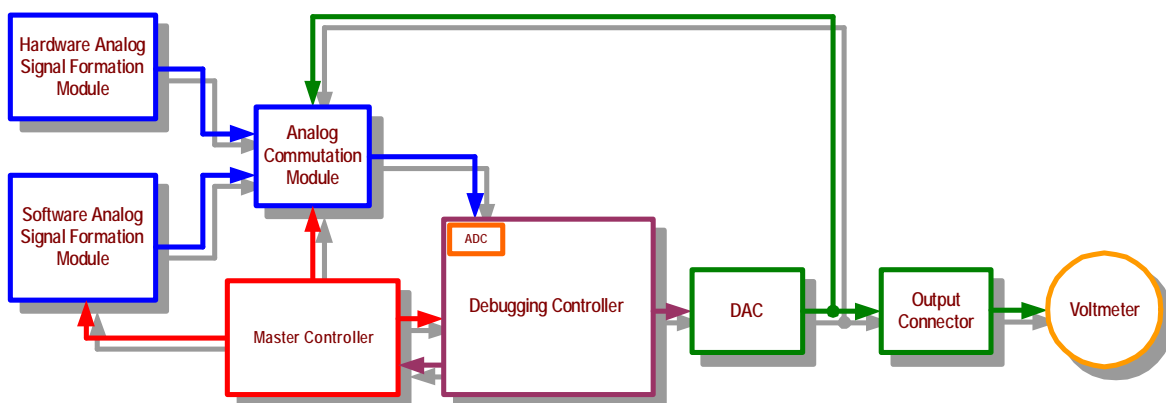


Fig .4. ADC and DAC Modules

The DAC Module is represented a DAC7611 of Burr-Brown Corp (<http://www.burr-brown.com>).The DAC7611 is a 12-bit digital-to-analog converter (DAC) with guaranteed 12-bit monotonic performance over the industrial temperature range. It requires a single +5V supply and contains an input shift register, latch, 2.435V reference, DAC, and high speed rail-to-rail output amplifier. For a full-scale step, the output will settle to 1 LSB within 7ms. The device consumes

2.5mW (0.5mA at 5V). A precision, low-power amplifier buffers the output of the DAC section and provides additional gain to achieve from 0 to 4.095V range.

The synchronous serial interface is compatible with a wide variety of DSPs and microcontrollers. Clock (CLK), serial data in (SDI), and load strobe (LD) comprise the serial interface. In addition, two control pins provide a chip select (CS) function and an asynchronous clear (CLR) input. The CLR input can be used to ensure that the DAC7611 output is 0V on power-up or as required by the application.

DAC controlled by SPI serial protocol. Debugging Controller consists of SPI serial protocol hardware realization; however it has been multiplied with I²C protocol with many devices are connected. DAC is connected to general purpose outputs. It requires software solution of SPI exchange protocol but taking into consideration its uncomplicated structure, it could be made easily.

Hardware and Software analog signal formation modules are connected to ADC via analog commutation module. This analog commutation module is represented 4-channels synchronous analog multiplexer ADG774.

Hardware analog signal formation module consists of three direct current and three variable resistors which form three independent supply voltage divisors. Direct current resistors are in way selected to limit highest analog signal at rate of 4V. Voltage measurement is executed by variable resistors in range from 0 to 4V. Such input signals values are allowable for normal functioning of built-in ADC input cascades.

Software analog signal formation module is necessary for input signals which are sent thereof in distant laboratory works carrying out with built-in ADC of Debugging Controller.

It is built on the base of 4-channels digital potentiometer AD8403, Analog Devices Inc. It presents semiconductor equivalent of the variable resistor with the difference, that resistance changing is implemented by means of digital code, not slider.

AD8403 has 256 gradations of changing the resistance. There are potentiometers with nominal resistance 1, 10, 50 and 100KOhm. In our work we used potentiometer 100KOhm for reducing power consumption.

Master Controller controls digital potentiometer by SPI serial protocol.

The physical quantities measurement is provided by temperature measuring module and by accelerometer (Fig. 5).

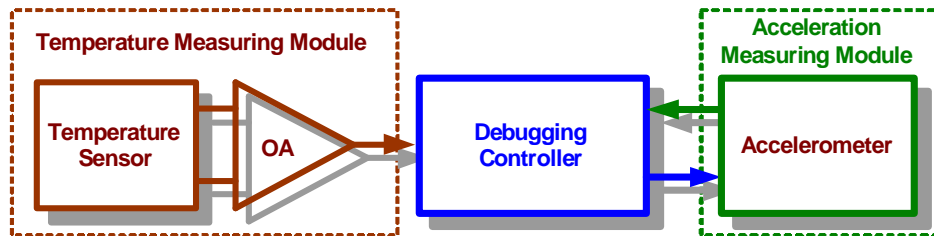


Fig. 5. Temperature Measuring Module and Accelerometer

The temperature measuring module is implemented on integrated sensor TMP36 and operational amplifier OP295 of Analog Devices Inc. Ambient temperature transforms in range from -40°C to +125°C with precision 2°C in output voltage signal with dependency 10mV/°C and linearity in 0.5°C. In spite of quite big output signal, its value is not enough for qualitative digitization by integrated ADC.

The voltage amplifier has been provided for enlarging output signal amplitude to digitize value on operational amplifier OP295, as was required. Hence, with maximum measured temperature output signal is drawn near to maximum voltage of the digitization built-in ADC debugging microcontroller.

Acceleration measuring module. Measurement of acceleration is one of the most relevant and often measured in industry physical quantities. Therefore there is a great demand for inexpensive, compact and reliable systems for its measurement.

Module is built on the base of 2-Axis Acceleration Sensor ADXL202E of Analog Devices Inc. The block diagram is shown in Figure 6.

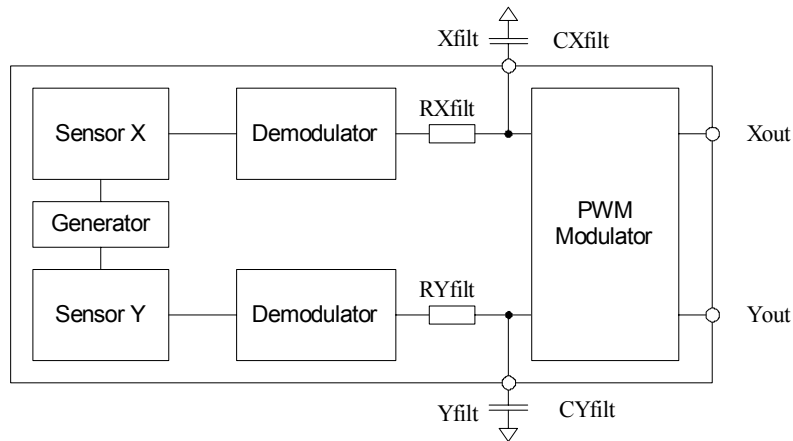


Fig . 6. ADXL202E Accelerometer

After being low-pass filtered, the analog signal is converted to a duty cycle modulated signal in the DCM stage. A single resistor sets the period for a complete cycle (T_2) with range of values between 0.5 ms and 10 ms. A 0g acceleration produces a nominally 50% duty cycle. The acceleration signal can be determined by measuring the length of the T_1 and T_2 pulses with a timer or polling loop using a low cost microcontroller.

On the Figure 7, T_1 is length of the plus phase of the impulse, and T_2 is total length of the impulse.

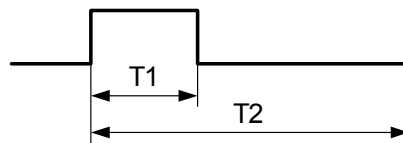


Fig . 7. Phases of the accelerometer impulse $A(g) = 8 \times \left(\frac{T_1}{T_2} - 0.5 \right)$

An analog output voltage can be obtained either by buffering the signal from the X_{FILT} and Y_{FILT} pin, or by passing the duty cycle signal through a RC filter to restore the constant value.

I²C Digital System Devices are given on the figure 8, and provide:

- Real time clock with independent generator and power supply;
- Non-volatile memory with size of 256KBit (32Kb) providing information storage without voltage more than 200 years.

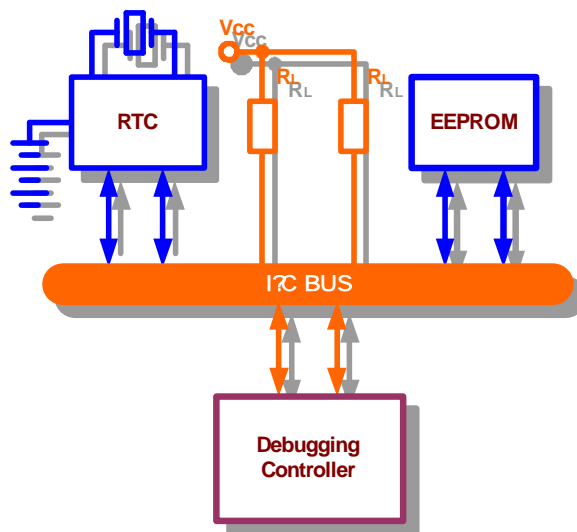


Fig . 8. I²C Devices

Real time clocks module. The module is based on DS1307 of Dallas Semiconductor Corp (<http://www.dalsemi.com>). The chip represents an independent system of time counting, and includes separate timers for counting seconds, minutes, days, weeks, and years. Information about current time does not require any additional transformations and is stored as binary-coded decimals on the eight fast addresses. Moreover, the user can load and read own data in 56 bytes of the built-in nonvolatile memory.

Reading and recording of information using a chip is carried out with the help of I²C protocol.

For normal and uninterrupted operation, real-time clocks requires the crystal resonator designed for frequency of 32768 Hz, and an additional power supply which is usually the lithium-ionic battery, necessary for operation in an absence of the main power supply.

In addition, chip has an out on which impulses of certain frequency can be generated and used for time synchronization in an application.

Nonvolatile memory module is applied to store any data with absence of a voltage supply. Actually, it is a ROM chip which can be erased for writing new information, as needed.

The module is implemented on a 24LC256 chip of Microchip Technology Inc which has architecture 32768 x 8 and serial access on I²C protocol. I²C Bus allows to transmit data with a velocity 100KBit/sec and 400KBit/sec and allows connecting several devices on scheme «wired AND». For this purpose SDA and SCL outputs should have the scheme «an open collector». The amount of the devices which have been connected to a bus is restricted only to its maximum capacity 400pF and possibilities of addressing of online units.

The chip can store information without a voltage supply more than 200 years and has 100000 erase and recording cycles. It has paging (64 bytes) and fast time of programming (less than 5 ms).

A possibility of hardware write and erasing protect by the adjustment of logical signals on WP output, and a possibility of cascade memory capacity jointing, using hardware addressing outputs A2-A0, relates to additional features.

LAN interface Module is based on W3100A microcircuit of Korean company WIZ net (<http://www.wiznet.co.kr>). It is designed for connecting the laboratory bench to local-area network.

This microcircuit represents hardware implementation of TCP/IP stack and supports such data transfer protocols as TCP/IP ver.4, TCP/IP ver.6, UDP, ICMP, and ARP.

The Microcircuit has special registers for keeping main local-area network setup parameters (IP address, subnet mask, host address, ports addresses, etc.), which can be easily programmed and changed depending on specific local-area network segment configuration.

W3100A makes information exchange with personal computer via ports (sockets), which are beforehand defined by system administrator and programmed in the bench. W3100A supports the simultaneous work with four sockets.

In respect to the microcontroller, W3100A could be considered as external ROM with some specific functions. It has 15-bits address bus, 8-bits data bus and WR, RD, CS controlling signals, required for reading and writing information.

Several types of addressing to internal memory W3100A are possible:

- direct - such type of addressing use all address buses of W3100A. This type of connection provides the fastest information exchange, however it requires the large number of microcontroller outputs;

- indirect - such type of addressing are using only two address bus outputs. Writing and reading information is executed via special indirect access registers. Additional possibility consists in indirect address register internal increment avoiding modifying the memory cell address under blocks writing or reading information. Such addressing type provides the data transfer rate less, than direct addressing;

- I²C - this type of addressing is used in case when high data transfer rate is not needed. Writing and reading information is implemented in compliance with specification of the I²C bus.

However, for connection to the local-area network, one of W3100A is not enough, since it provides only logical protocol implementation. For data transfer it is necessary also to provide the physical level.

In the laboratory bench physical level is built in RTL8201BL microcircuit and 16PT8515 matching transformer. The structure scheme is shown on figure 9.

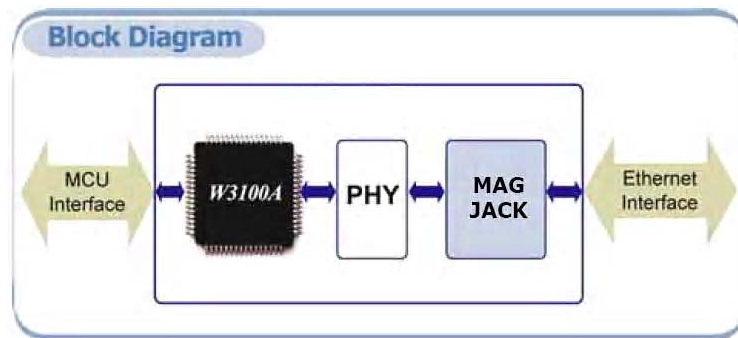


Fig . 9. LAN Module block diagram

The LAN-interface Module executes transfer of data and command functions from personal computer to master microcontroller and back in laboratory bench. In addition, it informs about lost or incorrectly received packages.

The LAN-interface Module is built on scheme with direct addressing, since work with laboratory bench in programming and debugging modes requires quite big level of transmitted data.

Local-area network parameters configuration is executed by USB interface means of laboratory bench.

Master microcontroller. It is PIC18F6720 Microchip Technology Inc with the functions of:

- Interaction with server software via LAN interface;
- Programming, launching and restarting debugging microcontroller;
- Reading results from debugging microcontroller and its output to server program;
- Controlling the clock for selection one of the accessible clock rates;
- Shaping a clock rate for debugging microcontroller at step by step remote execution of the program;
- Controlling an analog commutator purposed for selection of analog signals generator on a built-in ADC;
- Controlling a digital potentiometer for analog signals software forming on a built-in ADC.

For providing these functions, the specialized software has been developed. It must be loaded into a master microcontroller via special XP2 connector at a production phase.

The debugging microcontroller is chosen as PIC18F8720 of Microchip Technology Inc. This chip is the most full-function one of all PIC18 series and its using allows to solve a huge amount of various problems.

It has 128Kb built-in FLASH-memory for programs, RAM with 3840 bytes, 1Kb of the nonvolatile data memory and many built-in timers, peripheral modules and different hardware interfaces which simplifies considerably organization of interaction with externals peripheral units.

It operates with internal, external programs memory, and with their combination. In our case the switching with an internal programs memory is used.

PIC18F8720 command system is well optimized for creating software in low-level programming languages, such as Assembler, and high-level programming languages, such as C and C++.

The second serial port (for connection with the second personal computer, for example) and the interrupts external connector are additional features of Digital System.

This hardware can be applied for connecting many devices for considerably enlarging possibilities of Digital System.

3. Remote Access to Digital System Architecture

Despite of all advantages of applying Digital System in learning process its costs remains quite high, and acquisition of sufficient number of copies for high-quality educational process is quite problematic.

For solving this problem the remote access to Digital System via local area network or Internet was proposed.

Since the Digital System is a functionally determined device it is expedient to assign the organization of a remote access to the software controlled by the operating system.

The software designed for working with the Digital System is divided into server and client parts. The server part of software is allocated on a computer with the Digital System installed and the client applications are located on computers of students. The scheme of such architecture is shown on figure 10.

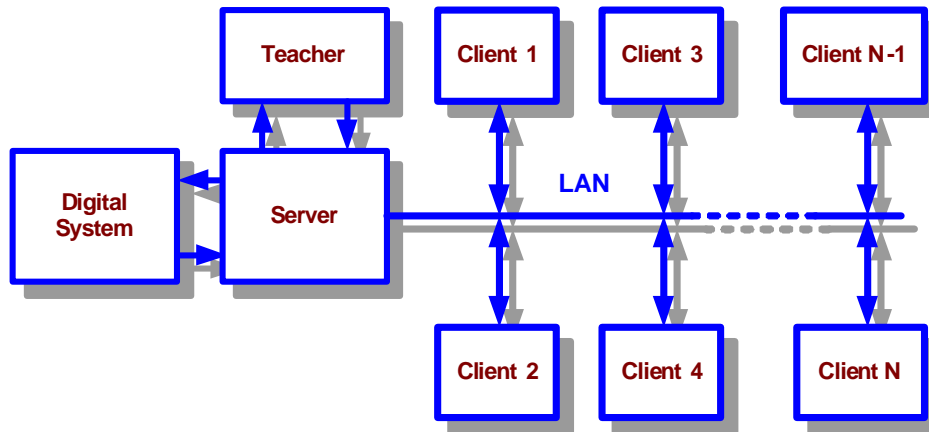


Fig .10. Usage of Digital system via Local Area Network

The purposes of the Server software part are: user authentication, processing of client applications requests, feeding of Digital System with control commands.

Client software part purposes are: creation of requests to server, sending software to server for loading into the Digital System, receiving and displaying the results from server.

During the development of hardware and software parts of the System the 30-day evaluation versions of the following software were used: P-CAD 2004, Multisim 2001, Borland Delphi 2005, and IAR Embedded Workbench for PIC18.

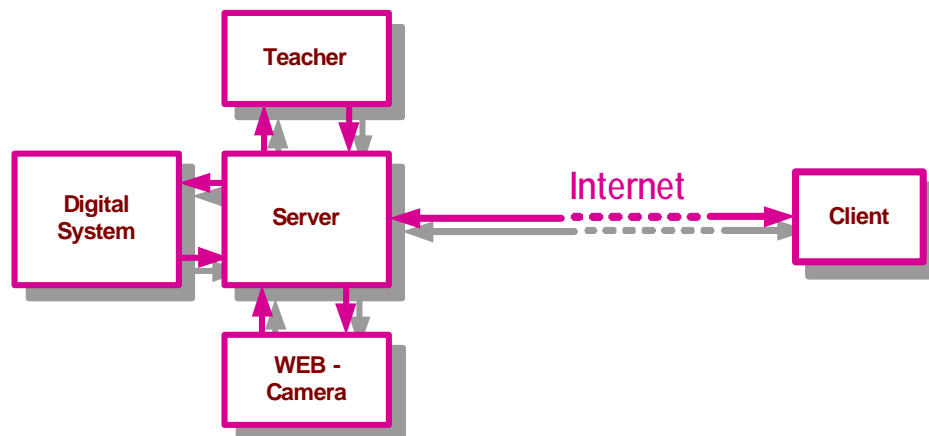


Fig .11. Usage of Digital system via Internet

4. Conclusion

The Digital System built on the basis of modern microcontrollers and having wide variety of peripheral modules by the technical characteristics is not worse and in some positions even outperforms the analogous characteristics of other devices.

Using of the two processor architecture allowed to increase the reliability and the robustness of the system significantly. Using of the remote access considerably simplifies the organization of laboratory works at full-time and remote forms of training.

The designed system corresponds to the modern requirements and is a novelty.

The system is architecturally designed, developed, manufactured and debugged in the framework of student's scientific and technical creativity of the Computers department of Kharkiv national university of radioelectronics.

References: 1. Горшков Б.Л. Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков. Москва: ЗАО АВТЭКС, 2003. 2. Пейтон А. Дж., Воли В. Аналоговая электроника на операционных усилителях. Москва: БИНОМ, 1994. 352 с. 3. PIC18FXX2 Однокристалльные 8-разрядные FLASH CMOS с 10-разрядным АЦП компании Microchip Technology Incorporated. Москва: ООО «Микро-Чип». 2003. 4. Walt Kester. Analog-Digital Conversion, Analog Devices Inc. ADI Central Application Department. 2004. 5. AD7714 3V/5V. CMOS. 500µA Signal Conditioning ADC. Datasheet Rev. C. Analog Devices Inc. One Technology Way. 1998. 6. AD780 2.5V/3.0V High Precision Reference. Datasheet Rev. A. Analog Devices Inc. One Technology Way. 1998. 7. OP295/OP495 Dual/Quad Rail-to-Rail Operational Amplifiers. Datasheet Rev. B. Analog Devices Inc. One Technology Way. 1995. 8. PIC18FXX20 64/80-Pin High Performance. 1Mbit Enhanced FLASH Microcontrollers with A/D. Microchip Technology Inc. 2003.

Поступила в редколлегию 23.04.2007

Шеховцов Борис Григорьевич, канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: микропроцессорная и микрокомпьютерная техника. Увлечения: горные лыжи, классическая музыка, хорошие песни. Адрес: Украина, 61166, Харьков, ул. 23 Августа, 81, кв. 54, тел. 3437616.

Беспалов Антон Сергеевич, инженер кафедры ЭВМ ХНУРЭ. Научные интересы: микропроцессорная техника. Увлечения: бильярд, мотоспорт, музыка, русская литература. Адрес: Украина, 61145, Харьков, ул. Новгородская, 4, кв. 87, тел. 7014011.

Галин Дмитрий Георгиевич, инженер ADB Polska Sp. z o.o. Научные интересы: микропроцессорная техника. Увлечения: программирование, литература, кинематограф. Адрес: Украина, 62472, Харьковская обл., Харьковский район, г.Мерефа, пер.Горького, 12.

УДК 004.7

Д.В. ФАСТОВА

ПОДСИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ СХОДА ЛАВИНЫ

Определяется структура информационного обеспечения геоинформационной системы, показываются связи между элементами информационного обеспечения, ее функциями и задачами. Выделяются основные задачи подсистемы прогнозирования, среди которых главной является проблема прогнозирования времени схода лавины. Приводятся этапы функционирования подсистемы прогнозирования. Предлагается метод прогнозирования временной характеристики схода лавины, который базируется на построении двух видов моделей: интерпретационной модели лавинного климата и нечеткой модели интерпретации временной характеристики лавинного схода.

Введение

Согласно технологии системного моделирования, информационное обеспечение имитационной модели для прогнозирования временной характеристики схода лавин должно включать множество математических моделей, а также разнородные данные соответствующей проблемной ориентации [1, 2]. Результаты прогнозирования должны быть обработаны и представлены с требуемым уровнем информативности для отражения различных аспектов развития лавинной ситуации.

Задача прогнозирования лавинной опасности в геоинформационных системах разбивается на два типа – прогнозирование степени лавинной опасности и прогнозирование времени схода лавины. Результаты прогнозирования используются в системе поддержки принятия решений, в которой с участием экспертов производится корректировка и вырабатываются рекомендации по проведению противолавинных мероприятий. Оправдываемость прогнозов зависит от математического обеспечения геоинформационной системы. Среди известных методов прогнозирования степени лавинной опасности можно выделить метод ближайшего соседа [3] и множественный регрессионный анализ [4]. Описанные методы требуют значительных вычислительных ресурсов и поэтому не получили массового применения, но широко используется для прогноза лавинной опасности в Швейцарии и Франции [4, 5]. Эффективность прогнозов, полученных с использованием данных методов, составляет приблизительно 65-70%.

Задача прогнозирования времени схода лавины располагает небольшим арсеналом локальных методов, разработанных, как правило, снеголавинными службами для конкретных лавинных очагов, и не может претендовать на универсальность и математическое обоснование.

Таким образом, для качественной работы геоинформационной системы необходимо включение в подсистему прогнозирования новых эффективных математических методов, направленных на получение временного аспекта лавинной опасности.

Цель работы заключается в повышении качества прогноза лавинной опасности путем построения и реализации метода определения временной характеристики схода лавины в геоинформационной системе.

1. Информационное обеспечение геоинформационной системы

Согласно [6], функции геоинформационных систем по лавинной тематике представляют собой следующие задачи:

- выявление зон зарождения лавин;
- моделирование процессов и явлений, определяющих условия схода снежных лавин;
- определение зон поражения;
- создание кадастров лавинных очагов, баз данных о лавинах;
- прогноз лавинной опасности.

Информационное обеспечение геоинформационных систем представляет собой совокупность следующих элементов (рис. 1) [7]:

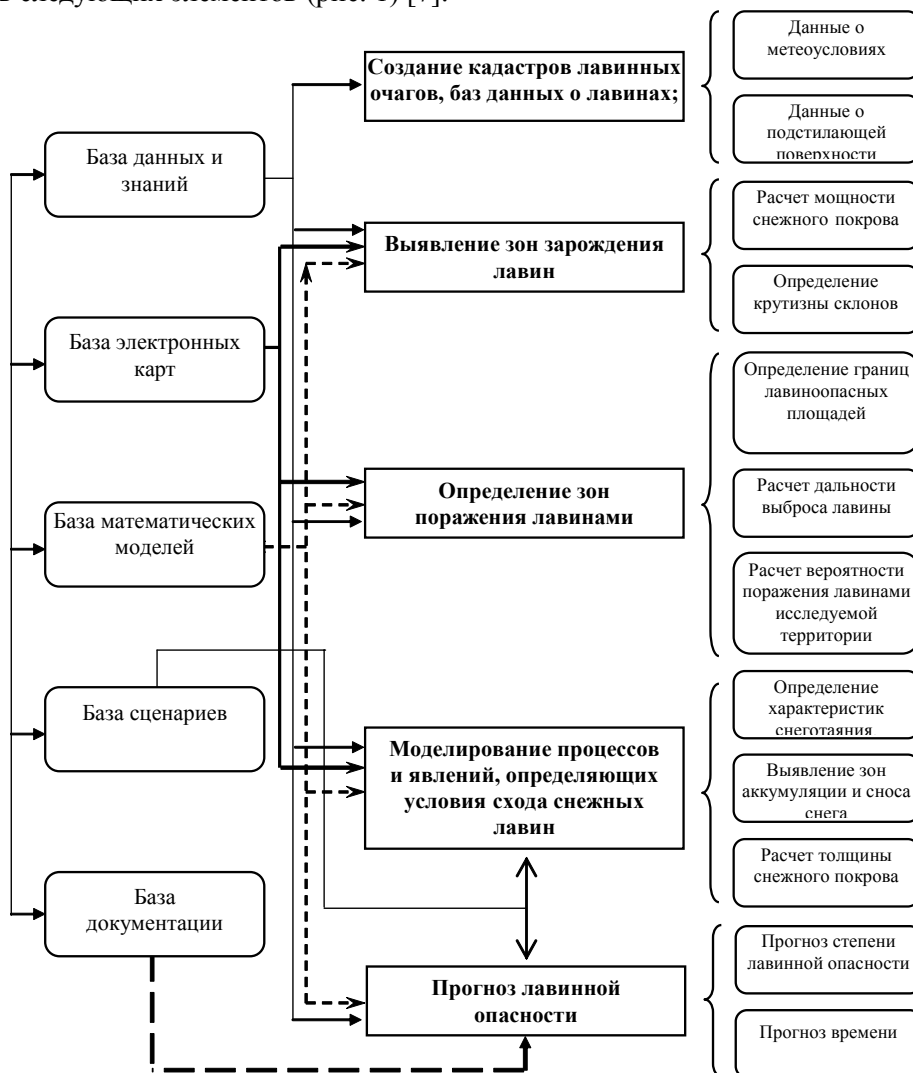


Рис. 1. Структура информационного обеспечения основных задач ГИС-систем

- база данных и знаний для сбора, хранения и первоначальной обработки снеголавинных данных;
- база электронных карт, с помощью которых производится расчет многих характеристик лавинной активности, таких как крутизна склонов, границы лавиноопасных площадей и т.д.;
- база математических моделей для задач прогнозирования лавинной опасности, моделирования развития лавиноопасных ситуаций;
- база сценариев (стереотипных ситуаций) исследований;
- база документации (база форм предоставления выходной информации) включает в себя множество форм лингвистического, графического и числового представления основных результирующих характеристик. Выбор форм представления информации в геоинформационной системе определяется их информативностью и возможностью использования для содержательного и сравнительного анализа при организации исследований. Вывод может осуществляться в статическом или динамическом режиме.

Эффективность информационного обеспечения определяется, прежде всего, его полнотой и достоверностью.

2. Этапы функционирования подсистемы прогнозирования

Подсистема прогнозирования в работе геоинформационной системы имеет ключевое значение. Создание математических моделей для прогнозирования различных лавинных характеристик, их проверка и использование в подсистеме поддержки и принятия решений во многом обуславливают эффективность проведения противолавинных мероприятий. Функционирование подсистемы прогнозирования представляет собой многошаговый процесс, состоящий из нескольких этапов (рис.2):



Рис. 2. Этапы функционирования подсистемы прогнозирования

1. Создание прогнозного фона. На этом этапе происходит сбор и уточнение входных данных, необходимых для построения прогнозных моделей.

2. Построение моделей прогнозирования лавинной опасности. Данный этап включает в себя создание системы показателей, параметров, отображающих структуру объекта (время схода лавины и степень лавинной опасности).

3. Проведение прогноза. Выбор типа прогноза в соответствии с заданными целями и нормами по заданным критериям.

4. Оценивание и уточнение модели. На данном этапе проводится оценка степени достоверности и уточнение полученных прогностических моделей.

3. Алгоритм метода прогнозирования временной характеристики схода лавины. Класс задач, решаемых подсистемой прогнозирования времени, связан с получением временной оценки реакции управляющей системы и последующей интерпретацией полученной оценки с возможным временем схода лавины.



Рис. 3. Многоуровневое построение метода прогнозирования временной характеристики схода лавины

Метод прогнозирования времени схода лавин основывается на построении двух типов моделей. Иерархия построения метода прогнозирования, соответствующая решаемым задачам, приведена на рис. 3. Выходная информация метода формируется на базе всех ее элементов. Перечисленные модели включены в общую базу математических моделей системы.

Выводы

Разработана структура информационного обеспечения геоинформационной системы, охватывающая все задачи, связанные с моделированием лавинной опасности. При решении задач выявления и предупреждения лавинной опасности большое значение имеет эффективная работа подсистемы прогнозирования. Схема функционирования подсистемы прогнозирования представляет собой многошаговый процесс, включающий в себя построение прогнозного фона, создание моделей прогнозов, осуществление прогноза, оценивание и уточнение моделей. Для решения задачи прогнозирования временной характеристики ла-

винного схода предложен метод, основанный на построении двух видов моделей: интерпретационной модели лавинного климата и нечеткой модели интерпретации временной характеристики лавинного схода. Представлен алгоритм построения метода прогнозирования временной характеристики лавинного схода.

Список литературы: 1. *Технология системного моделирования* / Е.Ф. Аврамчук, А.А. Вавилов, С.В. Емельянов и др. М.: Машиностроение, 1988. 289 с. 2. *Костина С.С.* Математическое моделирование при создании информационных интеллектуальных систем в задачах автоматизации научных исследований // Труды МНТК «Современная радиолокация» К., 1994. С. 140-154. 3. *Buser, O., Butler, M. and Good, W.* Avalanche forecast by the nearest neighbors method. IAHS Publ. 162. 1987. P. 557-569. 4. *Fuhrn P.* An overview of avalanche forecasting models and methods. Oslo, NGI, Pub.N 203. 1998. P. 19-27. 5. *Ижболдина В.А.* Аэросинооптические условия образования и схода метелевых лавин на Кольском полуострове // Исследования снега и лавин в Хибиных. Л.: Гидрометеоздат, 1975. С.51-63. 6. *Дяченко О.Н., Фастова Д.В., Куземин Ю.А.* Прогнозирование лавинной опасности и принятие решений // Материалы 1-й Междунар. конференции «Глобальные информационные системы. Проблемы и тенденции их развития». Харьков, ХНУРЭ, 2006. С.290-291. 7. *Kuzemin A., Dyachenko O., Fastova D.* Information supply of geo-information systems for the forecasting problem of the avalanche danger // Proc. of the Fifth International Conference i. TECH. Sofia, Bulgaria: ITNEA, 2007. V.2. P. 289-293.

Поступила в редколлегию 02.06.2007

Фастова Дарья Владимировна, аспирантка кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8(057) 702-15-15, e-mail: dawa_fastova@mail.ru, kuzy@kture.kharkov.ua.

УДК 004.5; 004.7; 004.8

А.Я. КУЗЁМИН, В.М. ЛЕВЫКИН

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ В ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ ПРИРОДНЫХ СИТУАЦИЯХ

Предлагается комплексная объектно-ориентированная методика системного анализа чрезвычайных природных ситуаций для ситуационного моделирования предметной области, которая отличается от существующих высокой адаптивностью к сложным быстротекущим процессам. Используется связь количественных баз данных, имеющих постоянные и переменные параметры среды, и качественных показателей (на основе логических баз знаний) для создания информационного пространства объекта управления, что дает возможность повысить надежность и скорость обработки априорных и контролируемых данных, а также эффективность принятия решений.

Актуальность. Геодинамические процессы в середине земного шара, на его поверхности и в атмосфере приводят к чрезвычайным природным ситуациям (ЧПС), которые вызывают землетрясения, цунами, циклоны, сходы лавин, оползни, сели, подтопления строений и т.п. Эти процессы определяются процессами эволюции Земли и деятельностью человека. Глобальное распространение различных катаклизмов по земному шару вызывает необходимость активизации усилий на проведение исследований и разработку средств контроля, предупреждения, прогнозирования и принятия решений в ЧПС.

Критический анализ современных инструментальных средств обеспечения и принятия решений для предупреждения и управления в ЧПС вызывает острую необходимость новых исследований в этой области. ЧПС относятся к классу задач, которые можно характеризовать как наиболее трудоемкие для анализа, формализации и принятия решений.

Актуальным и значимым является разработка новых средств моделирования с использованием нетрадиционных методик ситуационного анализа и моделирования ситуаций, которые возникают в различных районах Земли из-за природных явлений и деятельности человека.

Постановка задачи. Необходимо разработать новые инструментальные средства обеспечения и принятия решений для предупреждения и управления в чрезвычайных природных ситуациях.

Новизна. Предложены инструментальные средства обеспечения принятия решений для управления в чрезвычайных природных ситуациях, которые, в отличие от существующих технологий моделирования, используют связь количественных баз данных, имеющих постоянные и переменные параметры, и качественные показатели (на основе логических баз знаний) для создания информационного пространства объекта управления, что дает возможность повысить надежность и скорость обработки данных и обеспечить своевременность прогноза и принятия решений для чрезвычайных природных ситуаций.

Усовершенствована ситуационная модель ЧПС, которая, в отличие от существующих технологий моделирования, использует комплексное знаниеориентированное ситуационное представление ситуации на основе статистической обработки данных и тройки *“субъект - управляющее действие или алгоритмические и аппаратные решения для повторного использования в разработке ИУС - объект”*, что позволяет быстрее прогнозировать чрезвычайные ситуации и принимать более точное решение, чем при использовании существующих моделей.

Решение. Инструментальные средства обеспечения и принятия решений для предупреждения и управления в ЧПС разрабатываются на базе накопленного опыта и текущих данных о процессе. Для решения сформулированной выше проблемы в настоящее время получило развитие исследование инструментальных средств, которое использует так называемый логический вывод, основанный на прецедентах. Это метод принятия решений, в котором повторно используются знания о предыдущих ситуациях [1,2].

Этап 1. Начальный этап разработки инструментальных средств обеспечения и принятия решений для предупреждения и управления в чрезвычайных природных ситуациях начинается с постановки задачи и составления технического задания. Здесь нужно уметь поставить вопросы специалистам или экспертам, чтобы определить главную цель и локальные цели.

В постановке задачи необходимо задать параметры среды (предметной области), которые используются при формулировании задач функционального комплекса информационно-управляющей системы (ИУС).

Новые знания о ЧПС, качество разработки ИУС и эффективность предлагаемых принятых решений оцениваются по критериям риска и необходимым ресурсам Σ – объемам и средствам для предупреждения или ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Риск от ЧПС для контролируемого района, для параметров климата $X = \{x_j, j = \overline{1, m}\}$, а также математическое ожидание потерь среди населения можно оценить по формуле:

$$M(N) = \iint_{St} P(x_j) \psi(x, y) dx dy,$$

где $P(x_j)$ – параметрический закон поражения для (незащищенного) населения от действия природного явления x_j , например, ветра; St – область интегрирования; $\psi(x, y)$ – плотность размещения незащищенного населения в пределах элементарной площадки; N – численность населения.

Этап 2. Выполнение эскизного проекта или технического предложения. Разработку инструментальных средств обеспечивающего комплекса информационно-управляющей системы начнем с создания контекстно-зависимого языка моделирования. Прежде всего, для создания такого языка рассмотрим основные понятия.

Природная среда, для которой разрабатывается ИУС и система автоматизации ее разработки, с помощью которой выполняется проектирование ИУС как совокупность θ , может быть представлена кортежем:

$$\theta = \langle A_p, A, K_p, K, Z_p, Z, P, G, X \rangle$$

где A_p – элементы (компоненты комплексов) ИУС θ ; A – элементы среды, для которой разрабатывается ИУС; K_p – отношения (связи) элементов ИУС; K – отношения (связи) элементов среды, для которой разрабатывается ИУС; Z_p – цели системы разработки ИУС; Z – цели функционирования ИУС; P – проектировщик; G – язык проектировщика (инструментальные средства).

Множества A_p и K_p отражают различные инструменты и средства, которыми пользуется разработчик p в своей работе. При рассмотрении системы разработки ИУС имеем множество целей $Z_p = \{z_{p_i}\}$. При анализе функционирования обеспечивающего комплекса ИУС имеем множество целей $Z = \{z_j\}$. Главная цель θ – это создание обеспечивающего комплекса для эффективного и своевременного решения проблем ЧПС с оптимальными временными и стоимостными затратами на разработку ИУС, и самое главное – снижение рисков относительно ЧПС. В общем виде целенаправленное функционирование ИУС и использование эффективных инструментальных средств ее разработки и моделирования природной среды характеризуется текущей *ситуацией* и *целью* [3], которые решают задачу управления в ЧПС как при создании ИУС, так и при ее функционировании. Таким образом, представляя оба множества Z и Z_p в виде иерархий целей, можно говорить, что каждой цели z_{p_i} соответствует одна или несколько целей z_j . Каждая из целей z_j определяется для некоторой ситуации S , образованной из элементов A . Из сказанного выше следует, что цель разработчика p обеспечивается z_{p_i} – разработкой проектных решений, которые решают задачу по удовлетворению целей z_j в ситуации S , т.е. можно говорить, что проектировщик в процессе работы ищет проектные решения для различных ситуаций.

Интеграция в одну модель указанных для θ элементов модели природной среды и обеспечивающего комплекса ИУС свидетельствуют о тесной связи целей разработки, целей принимаемых решений в предметной области.

Совокупность локальных целей z_j обеспечивает выполнение глобальной цели \mathfrak{R}_J для действий ЛПР – J .

В принципе обеспечить выполнение глобальной цели \mathfrak{R}_J может несколько совокупностей локальных целей. Для поэтапной разработки ИУС на промежуточном этапе можно “забыть” об общей цели \mathfrak{R}_J и обеспечить более простые локальные цели. В общем случае структура связей между локальными целями z_j имеет произвольный характер. В качестве крайних ситуаций можно считать следующие случаи:

- случай, когда выполнение любой цели связано с выполнением каждой из остальных, при том, что все цели принадлежат одному условию (отсутствие иерархии);
- случай полной независимости целей, т.е. каждая из них достигается самостоятельно.

Кроме того, простейших и одновременно *основных типов связей* между целями всего три [3]: **последовательные, параллельные и циклические.**

Для дерева локальных целей связь между ними будет комбинацией элементарных типов связей. Часто выполнение одной локальной цели может затруднить и даже исключить выполнение другой. Такие цели (две и более) называют антагонистическими. В нашей разработке не удастся избавиться от той или иной степени антагонистичности локальных целей. Проблема является **многокритериальной** и наиболее острой для целей одного и того же иерархического уровня.

Разработанная модель θ отображает связь ситуации природной среды и ИУС на фиксированный момент или интервал времени, которое оказывает существенное влияние на выполнение ИУС своих функций по достижению намеченных целей.

Кроме природной среды, ИУС окружает среда технических и организационных средств, ресурсом которых управляет ЛПР для предупреждения или ликвидации последствий ЧПС. В этом случае модель θ кроме природной среды, средств разработки ИУС должна быть расширена и учитывать наличие в среде окружения организационно-технические средств и *обобщенные ситуации*, которые отображают количественные и качественные параметры S . Качественные параметры представляют любое решение или действие, которое предлагается ЛПР; имеют три основные характеристики: *цель* действия; *описание* действия; *средство* его выполнения. Все эти характеристики можно получить из ответов специалистов и экспертов, которые могут квалифицированно ответить на следующие три вопроса: “Зачем?” или “Какой должен быть результат?” – ответ будет характери-

зовать цель (назначение действия); “Что делать?” - ответ будет давать описание действия; “Как делать?” - ответ будет характеризовать средство выполнения (умение и возможность).

Основой построения «дерева» или системы вопросов для выявления знаний относительно ЧПС и действий, направленных на ликвидацию или предупреждение чрезвычайной ситуации, есть следующие элементарные, короткие вопросы: “Что?”, “Зачем?”, “Как?”. Ответы на эти вопросы позволяют создать базу знаний, которая отобразит цель разработки функционального комплекса ИУС и требования к принятию решения, которые ИУС предлагает ЛПР.

Структура обобщенной ситуации $S = \{s_i\}$, $i = \overline{1, n}$ состоит из множества *микроситуаций* – s_i , которые образованы понятиями – элементами среды:

$$s_i = \langle e_i, K_e, X, \mathfrak{Z}, \Sigma \rangle,$$

где Σ – необходимые ресурсы (объемы и средства для предупреждения или ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций); \mathfrak{Z} – множество управляющих действий; часть ситуации, определяемая парой $\langle e_i, K_e \rangle$, называется лингвистической (качественной, смысловой единицей) микроситуацией центрального понятия – e , вокруг которой базируется микроситуация; $X = \{x_j, j = \overline{1, m}\}$ – количественные показатели о природных явлениях (например, атмосферное давление, температура воздуха и т.п.), постоянные параметры среды (например, наклон горы, покрытие склона и т.п.) в контролируемом районе и ресурсах, которыми располагает ЛПР (например, число исправных подвижных средств для эвакуации людей, мобильные средства для проведения воздушной разведки и т.п.). Множество K_e является *контекстом* лингвистического, центрального понятия e . Множество $K_e = \{k_{e_i}\}$, $i = \overline{1, m}$ состоит из понятий, которые выражают отношение центрального понятия e к остальным *второстепенным* понятиям, участвующим в данной микроситуации. *Отношение* – это некоторая зависимость центрального понятия от второстепенных понятий. Для данной микроситуации в качестве второстепенного может выступать понятие, которое является центральным в другой микроситуации.

Целесообразно использовать связь количественных и качественных параметров среды, представленную в обобщенной базе данных и знаний для создания информационного пространства объекта управления, которое дает возможность повысить надежность, скорость обработки данных, обеспечить своевременность прогноза и принятие решений относительно управления в ЧПС.

Состояние проектного решения ИУС $Pr = \langle A_p, K_p, Z_p, P, G \rangle$ также характеризуется с помощью ситуаций и входящих в них понятий. При проектировании разработчик оказывается в определенной ситуации, которая характеризуется группой взаимосвязанных понятий, описывающих данную ситуацию. Попадая каждый раз в природную ситуацию, которая уже известна и для которой есть группа проектных решений, можно воспользоваться решениями, ассоциированными с данной ситуацией.

Микроситуация соответствует тройке «*субъект* (ЛПР) – *управляющее действие* – *объект* (ресурс для предупреждения и устранения последствий ЧПС), с которым оперирует интеллект человека» [3]. Субъектом – ЛПР является центральное понятие, управляющим воздействием – контекст, а объектом – второстепенное понятие. В общем случае можно представить последовательности «*субъект* – *управляющее действие* – *субъект* – *управляющее действие* ... – *объект*» [3], которым соответствует случай, когда второстепенным является центральное понятие другой микроситуации.

Обобщенная ситуация включает множество понятий, каждое из которых отражает ее свойства в какой-либо из характеристических категорий. Понятия группируются в категории по характеристикам признаков [2,3].

В инструментальных средствах для построения базы знаний обеспечивающего комплекса ИУС используется контекстно-зависимый язык. В частности, был избран язык нечеткой логики. Такой подход имеет три основные отличительные особенности:

1. Вместо или дополнительно к числовым количественным переменным употребляются нечеткие величины и так называемые “лингвистические” переменные, которые связывают ситуацию $S = \{s_i\}$, $i = \overline{1, n}$, цель Z и тройку «*субъект (ЛПП) – управляющее действие – объект* (Σ)». Микроситуации, которые определяются на множестве количественных параметров $\{X\}$ [3] (после использования Data Mining), «связываются» с качественными или лингвистическими данными.

2. Простые отношения между переменными описываются с помощью нечетких высказываний – предикатов.

3. Сложные отношения описываются нечеткими алгоритмами с использованием функций принадлежности $\{\mu_i\}$, $i = \overline{1, k}$, так как классификация ситуаций имеет неоднозначное значение и может принимать промежуточные значения между крайними значениями [3].

Основная трудоемкость процесса извлечения знаний аналитиками у экспертов предметной области связана с тем, что участники процесса оперируют разными понятиями и им необходим общий язык общения [3].

Интеллектуально-вербальная коммуникация между людьми основана на связывании представлений *объекта, понятия и слова*. Проблемы в интеллектуально-вербальной коммуникации возникают при использовании неверных слов. Это происходит в случае наличия разных ассоциаций между *понятием и словом*.

Интеллектуально-вербальное представление ситуации состоит из множества понятий. Кроме того, ситуация может быть разрешена с учетом риска. Элементы обеспечивающего комплекса ИУС выбираются по результатам анализа ситуаций из множеств вариантов управленческих решений, предлагаемых в алгоритмическом комплексе с использованием наилучшего, оптимального в смысле затрат времени на реализацию управленческих решений подходящих элементов технического комплекса (рисунок).

Такой выбор или «отбор» прецедентов обеспечивается за счет сравнения текущей, проблемной микроситуации с множеством эталонных микроситуаций. В метрическом пространстве схожесть прецедента и проблемной ситуации можно оценить в такой последовательности:

1. Вводится метрика в пространстве всех значимых параметров.

2. В этом пространстве можно определить точку, которая соответствует проблемной микроситуации.

3. На основании этой метрики находится ближайшая к ней точка, подставляющая для повторного использования проверенного, наилучшим образом подходящего в анализируемой ситуации управляющего действия.

В соответствии с этим методика отбора имеет такую последовательность:

1. Множество ситуаций $s_i = \langle e_i, K_e, X, \mathfrak{Z}, \Sigma \rangle$ разбивается на конечное число классов Ω_v , $v = \overline{1, m}$, в пределах класса Ω_v находится конечное число ситуаций φ_v . Определяются ситуации на множестве параметров $x_{v_1}, x_{v_2}, \dots, x_{v_{1n}}$, где $v_1, v_2, \dots, v_n \in \overline{1, n}$. Наборы $x_{v_1}, x_{v_2}, \dots, x_{v_{1n}}$ для разных классов могут не совпадать.

2. Определяются границы класса, для этого обозначим через $\chi_{v\varphi}^j$ ($j \in \overline{1, n}$, $\varphi \in \overline{1, \varphi_v}$, $v \in \overline{1, m}$) – значение j -го параметра, φ -й ситуации класса v , тогда границы класса v по параметру j можно составить из пар $\{\min_k [\chi_{v\varphi}^j], \max_k [\chi_{v\varphi}^j]\}$. Геометрически класс можно представить как многомерный параллелепипед.

3. Для оценки проблемной микроситуации (см. рисунок), которая была выявлена на этапе предварительного регрессионного анализа, классификации и прогнозирования (отношения к классу чрезвычайных ситуаций [2,3]), необходимо исследовать эту проблемную микроситуацию в целях выявления близких микроситуаций (прецедентов) и соответствующих решений для \mathfrak{Z} и Σ (см. рисунок).

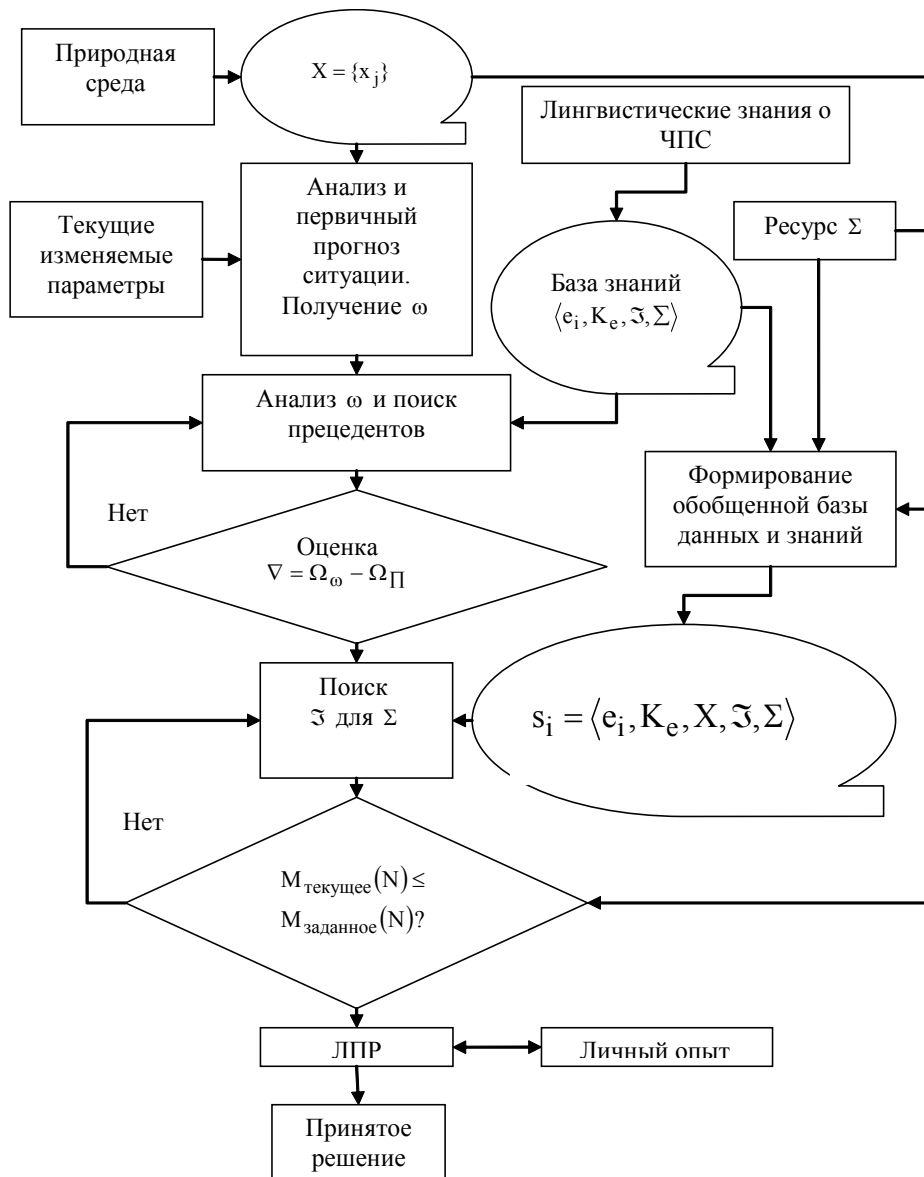


Схема алгоритма принятия решений

Необходимо найти отношение к классу Ω_v проблемной микроситуации ω , которая определена значениями параметров $x_{\omega_1}, x_{\omega_2}, \dots, x_{\omega_n}$, где $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n \in \overline{1, n}$. На пространстве параметров сравниваем проекции классов с проблемной микроситуацией несопадающих параметров $\{x_i, i = \overline{1, n}\}$. Будем считать, что проблемная микроситуация ω может быть отнесена к классу $\Omega_v, v = \overline{1, m}$, если для любого параметра x_{ω_i} имеем

$$\min_k [\chi_{v\varphi}^j] \leq x_{\omega_i} \leq \max_k [\chi_{v\varphi}^j].$$

1. Строим дифференциальный ряд ситуаций и область в подпространстве параметров ситуаций, для которой проекции классов пересекаются. Их можно представить на совокупности пар $\max_{v_\omega} \min_k [\chi_{v\varphi}^j], \min_{v_\omega} \max_k [\chi_{v\varphi}^j]$ по всем параметрам $\{x_i, i = \overline{1, n}\}$.

2. Прецедент Π (представленный значениями параметров $x_{\Pi_1}, \dots, x_{\Pi_n}$ ($\Pi_1, \dots, \Pi_n \in \overline{1, n}$)) можно считать аналогом ситуации ω на классах v_ω , если для каждого параметра x_{Π_i} имеется x_{ω_i} и выполняется условие

$$\max_{v_\omega} \min_k [\chi_{v\varphi}^j] \leq x_{\Pi_i} \leq \min_{v_\omega} \max_k [\chi_{v\varphi}^j].$$

Проблемная микроситуация ω может быть отнесена к нескольким классам. Если выбирается только один класс, то аналогом ω будут все микроситуации класса v_ω .

Предлагается вместо метрики использовать так называемую «меру близости», указав правило отбора по какой-либо форме. При этом вместо метрического пространства используется топологическое. В соответствии с рекомендациями Дюка В.А. [5] предлагается использовать так называемые «локальные контекстно-зависимые метрики». Расстояние между проблемной микроситуацией ω и прецедентом Π равно разности количества классов Ω_ω , куда «попала» проблемная микроситуация, и количество классов из этого числа Ω_Π , в котором находится прецедент $\nabla = \Omega_\omega - \Omega_\Pi$.

Этап 3. Техническое проектирование обеспечивающего комплекса ИУС (здесь рассматриваются задачи использования инструментальных средств проектирования) [4]. В решаемой проблеме технические средства, которые применяются для предупреждения и ликвидации ЧПС могут рассматриваться как объект управления. Принятие решений для такого объекта управления должно быть обеспечено алгоритмическим и программным комплексами ИУС или информационным пространством.

Выводы. В проводимом исследовании особое внимание было уделено разработке адаптивного принципа информационной технологии, который может обеспечить принятие решений в НПС с минимальным риском $M(N)$. Такой подход базируется на использовании структурообразующего понятия, которое определяет описание объекта исследования, его окружения, природных явлений и фактов. Это понятие представлено не конечным множеством записей на любых языках, доступных для нашего восприятия, и интерпретируется как целостное образование. Кроме того, надо учитывать, что знание, в общем случае, изменяется во времени и контексте. При этом существует тесная связь между количественными данными и качественными параметрами изучаемого процесса.

Предложен адаптивный принцип обеспечения принятия решений в ЧПС, который использует обобщенную, порождающую новые знания базу данных и знаний. Такая база является основой обеспечивающего комплекса ИУС. После анализа ЧПС с использованием обобщенной базы данных и знаний в обеспечивающем комплексе ИУС дается прогноз и предлагаются варианты решений на основе новых знаний для ЛПП. Качество прогноза и варианты решений зависят от риска принять неправильное решение и времени, которое ЛПП имеет для принятия соответствующих решений по предупреждению ЧПС.

В общем виде использование разрабатываемых методов представляется как описание текущей проблемной ситуации и поиск наиболее подходящего проектного решения в базе знаний решений. При проведении поиска происходит сравнение текущей ситуации с уже имеющимися в базе знаний прецедентами, после чего производится выбор наиболее подходящего решения.

Каждой ситуации ставится в соответствие одно или несколько проектных решений. С точки зрения результата накапливается положительный опыт, который может привести к получению базы знаний эталонных ситуаций. Проведя поиск среди имеющихся в базе знаний эталонных ситуаций, разработчик получает доступ к проектным решениям, на основании которых производится их синтез.

Список литературы: 1. *Kuzemin A.* Situation centres in modern sate// International Journal on Information Theories&Applicatios. Bulgaria, 2004. Vol. 11, №1. P. 79-82. 2. *Куземин А.Я., Сорочан М.В., Тороев А.А.* Использование языковых средств на ранних стадиях проектирования программного обеспечения // Искусственный интеллект. Донецк : ИИИ. 2004. №3. С. 328-336. 3. *Куземин А.Я., Сорочан М.В.* Понятийное представление ситуации при поиске и классификации проектных решений // Прикладная радио-электроника. Харьков: ХНУРЭ. 2004. Том 3, №3. С. 60-67. 4. *Kuzomin A., Torojev A.* Mobile means of control and prediction of avalanche climate using information conversion in acoustic. RANGE 291 // IDRC. Davos. 2006. Vol. 2. P. 291-294. 5. *Дюк В.А.* Обработка данных на ПК в примерах. СПб: «Питер», 1997.

Поступила в редколлегию 12.06.2007

Куземин Александр Яковлевич, канд. 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: kuzu@kture.kharkov.ua.

Левыкин Виктор Макарович, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой ИУС ХНУРЭ. Научные интересы: разработка информационно-управляющих систем. Адрес: Украина, 61166 Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057) 702-15-15, e-mail: ius@kture.kharkov.ua.

МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ И ИНТЕНСИВНОСТИ КАСКАДОВ ЛАВИН

Описывается лавинный каскад, предлагаются модели для определения характеризующих его величин. Такими величинами являются интенсивность и мощность. Разрабатывается их классификация и строится математическое обоснование их расчета.

Введение

Снежные лавины – неотъемлемый элемент горного ландшафта. Они являются продуктом комплекса физико-географических условий горной местности. Лавина представляет собой быстрое стремящееся вниз смещение объемов снега на наклонной плоскости. Они трудно предсказуемы и достаточно часто влекут разрушительные последствия.

Лавину можно изучать относительно трех взаимозависимых понятий [1]:

- как ситуация: характеризуется датой (временем схода) и главными потерями (человеческие жертвы и материальные убытки),
- как физическое явление: изучение значения характеристик (скорость, плотность, мощность и интенсивность) в соответствии с типом лавины,
- как риск: определение места и частоты схода лавин.

В тематике изучения лавинной опасности особое место занимает понятие каскада лавин. Сложность изучения данного явления связана с малопрогнозируемыми многократными сходами лавин в определенном лавинном очаге. Поскольку лавинные каскады являются скоротечными событиями, их последствия намного опаснее единоразового лавинного схода и носят катастрофический характер.

1. Определение лавинного каскада

Исследования статистики, полученной из отчетов снеголавинной станции ИТАГАР республики Кыргызстан, которые содержат данные за 2001-2005 годы, позволяют сделать вывод о том, что функция распределения схода лавин в течение года имеет экспоненциальный характер. Функция распределения количества сошедших лавин представлена на рис. 1.

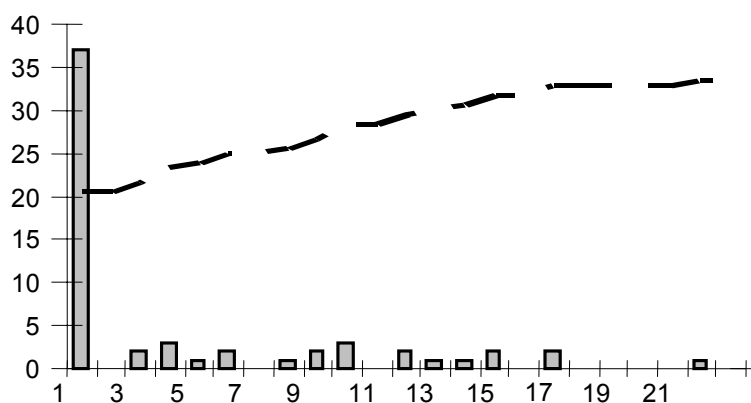


Рис. 1. Функция распределения схода лавин

Лавиноопасная ситуация представляет собой совокупность лавинообразующих факторов [2, 3] X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 , где X_1 – температура воздуха, X_2 – влажность воздуха, X_3 – скорость ветра, X_4 – количество выпавших осадков, X_5 – угол склона горы, плотности распределения которых относятся к семейству нормальных распределений [4].

Таким образом, наличие каскадов связано с совокупностью значимых лавинообразующих факторов, вероятность появления которых превышает заданный порог за исследуемый период времени.

Каскадом лавин будем называть последовательный сход лавин на протяжении определенного периода времени (неделя, декада, месяц). Каскад имеет следующие качественные характеристики: интенсивность и мощность схода.

Под интенсивностью каскада будем понимать частоту схода лавин за определенный промежуток времени. А мощностью каскада назовем количество сошедшего снега во время лавины.

2. Интенсивность каскада лавин

При исследовании интенсивности каскадов важной характеристикой является временной период, который показывает разницу последовательного схода двух лавин. Чем больше этот временной период, тем менее интенсивным является каскад. Согласно [5] в табл. 1 представлены градации лавинной интенсивности.

Таблица 1
Градации лавинной активности

Повторяемость лавин	Число очагов на 1 км дна долины		
В среднем в очаге, шт./год	Более 5	5-1	Менее 1
Более 1	Высокая		
1 – 0,1		Средняя	
Менее 0,1			Низкая

Согласно анализу данных табл. 1 была разработана следующая классификация интенсивности каскадов лавин:

- не интенсивный;
- малоинтенсивный;
- среднеинтенсивный;
- интенсивный;
- очень интенсивный.

Таким образом, критерием определения интенсивности может служить площадь пересечения двух плотностей распределений, характерных для двух последовательно идущих лавин. Для практической реализации результатов исследования по интенсивности каскадов лавин в задаче прогнозирования лавинной опасности необходимо ввести классификацию интенсивности лавинных каскадов.

Каскад лавин представляет собой условную вероятность $P(A|B) = \frac{P(A \cap B)}{P(B)}$ появления

двух и более лавиноопасных событий в заданный интервал времени. Лавиноопасное событие наступает тогда, когда хотя бы один из лавинообразующих факторов (количество выпавших осадков, мощность снежных горизонтов или скорость ветра) достигает своих критических значений. Поэтому степень интенсивности лавины будем определять как размер площади пересечения двух условно вероятностных событий. На рис. 2 графически представлена классификация степени каскадов. Если площадь пересечения двух событий стремится к нулю $P_1(x) \cap P_2(x) \rightarrow 0$, то каскад является неинтенсивным. Если площадь пересечения намного меньше симметрической разности событий

$$P_1(x) \cap P_2(x) \ll P_1(x) \Delta P_2(x),$$

то каскад малоинтенсивный, при $P_1(x) \cap P_2(x) < \frac{1}{2} P_1(x) \Delta P_2(x)$ будем считать, что каскад среднеинтенсивный. Когда площадь пересечения двух условно вероятностных событий будет колебаться в интервале от половины до полной площади симметрической разности

$$\frac{1}{2} P_1(x) \Delta P_2(x) < P_1(x) \cap P_2(x) < P_1(x) \Delta P_2(x),$$

то каскад интенсивный, и, наконец, если площадь пересечения будет намного больше площади симметрической разности этих событий $P_1(x) \cap P_2(x) \gg P_1(x) \Delta P_2(x)$ – каскад очень интенсивный.

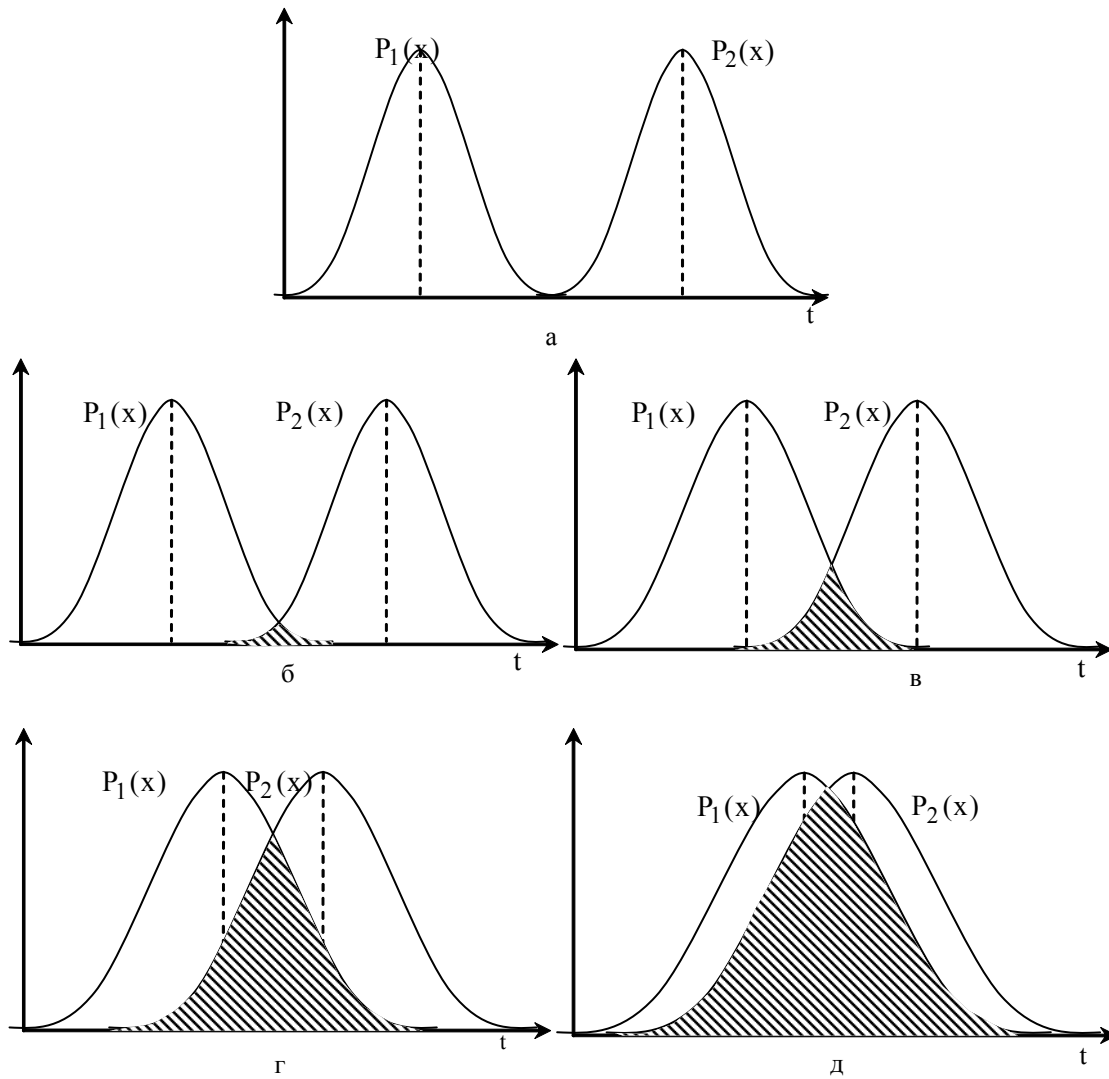


Рис. 2. Классификация интенсивности каскадов

3. Мощность каскадов

Для определения мощности снежных каскадов главными характеристиками являются толщина снежного покрова и количество выпавшего снега. Согласно европейской шкале лавинной опасности [1, 6] была предложена классификация мощности лавинного каскада, которая представлена в табл. 2.

Таблица 2
Классификация мощности каскада

	Степень мощности каскада	Физические параметры
1	Не мощный	Поврежденная территория: ~0.2 га Объем сошедшего снега: ~ 100 м ³
2	Маломощный	Поврежденная территория: ~1 га Объем сошедшего снега: ~ 1000 м ³
3	Среднемощный	Поврежденная территория: ~5 га Объем сошедшего снега: ~ 10 000 м ³
4	Мощный	Поврежденная территория: ~20 га Объем сошедшего снега: ~ 80 000 м ³
5	Очень мощный	Поврежденная территория: ~50 га Объем сошедшего снега: ≥ 400 000 м ³

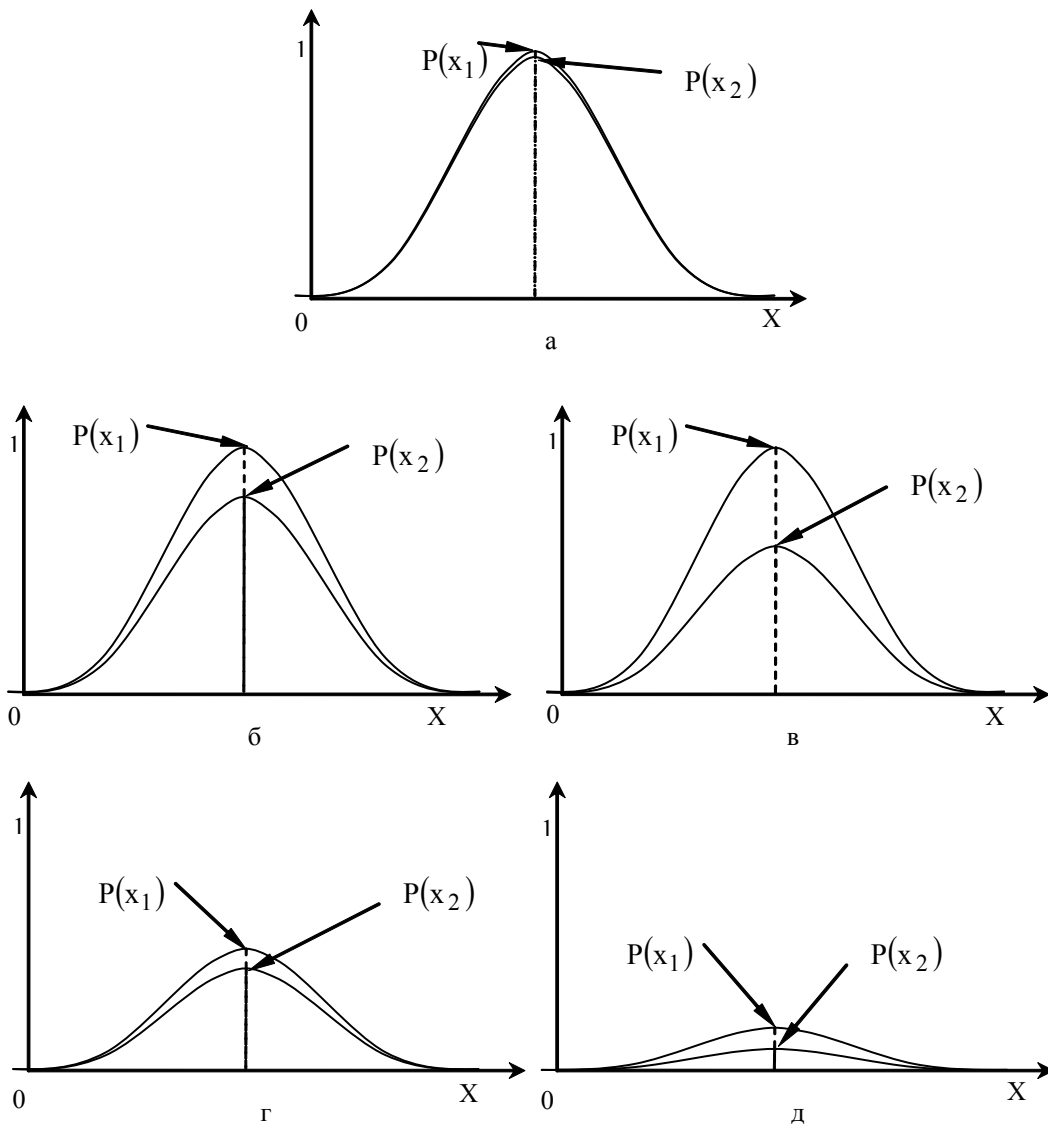


Рис. 3. Классификация мощности каскадов

На рис. 3 дана графическая интерпретация классификации мощности каскада. Ось ОХ представлена набором лавинообразующих факторов:

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_1, X_2, X_4, X_5, X_1, X_2, X_3, X_2, X_3, X_5, X_2, X_3, X_4, X_5,$$

а ось ОУ представляет собой нормированные значения толщины снежного покрова.

Чем ближе к единице значения толщины снежного покрова, тем больше степень мощности каскада лавин, и соответственно, чем меньше значение толщины покрова, тем менее мощный каскад.

Исходя из приведенной выше классификации мощности каскада, представленной в табл. 2, рис. 2, а соответствует очень мощному каскаду, рис. 2, б – мощному каскаду, рис. 2, в – каскаду средней мощности, рис. 2, г соответствует маломощному каскаду и рис. 2, д – не мощному каскаду. Как можно заметить из рис. 1, а-д физический смысл математического ожидания может быть интерпретирован как толщина снежного покрова.

Выводы

Исследован процесс образования и схода лавинных каскадов. Каскад лавин представляет собой неконтролируемое и самопроизвольное обрушение снежных масс последовательно за короткий промежуток времени. В связи с этим сформулированы величины, которые позволяют формализовать лавинный каскад. Такими величинами являются интенсивность и мощность. Предложены модели определения и классификации величин лавинного каскада. Интенсивность определяется площадью пересечения двух и более условно вероятностных лавиноопасных событий, а для изучения мощности необходимо исследовать математическое ожидание плотности распределения толщины снежного покрова.

Список литературы: 1. *Rapin F.* A new scale for avalanche intensity. International Snow Science Workshop, 2002. Vol.2. P. 103-110. 2. *Antonia Zeidler, Bruce Jamieson* Computer assisted avalanche forecasting: skier-triggered avalanches // *Annals of Glaciology*. 2004. Vol. 38. P. 224-231, 3. *McClung, D.M.* (2002a) "The Elements of Applied Avalanche Forecasting Part I: The Human Issues." *Natural Hazards* Vol. 25: 111-129. 4. *Дяченко О.Н., Куземин А.Я., Ляшенко В.В., Тороев А.А.* Ситуационная модель построения лавиноопасных и нелавиноопасных микроситуаций // Математичні методи обробки даних. 2007. № 10. С. 67–74. 5. *География лавин* /Под ред. Мягкова С.М., Канаева Л.А. Изд-во МГУ, 1992. 331 с. 6. *Kuzemin A., Dyachenko O., Fastova D.* Information supply of geo-information systems for the forecasting problem of the avalanche danger // Proc. of the Fifth International Conference i.TECH. Sofia. Bulgaria: ITHEA. 2007. V.2. P. 289-293.

Поступила в редколлегию 19.06.2007

Дяченко Олеся Николаевна, аспирантка кафедры информатики ХНУРЭ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: 8 (057)702-15-15, e-mail: kuzy@kture.kharkov.ua.

ЧИСЛЕННО-АНАЛИТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПЕРЕНОСА НОСИТЕЛЕЙ В ФОТОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ НА ГЕТЕРОПЕРЕХОДАХ a-Si:H - c-Si

Предлагается модель расчета в кинетическом приближении характеристик фотопреобразователей на основе переходов аморфный - кристаллический кремний. Проводится расчет зависимости фотопроводимости пленок a-Si:H, полученных магнетронным методом, от температуры.

Введение

На сегодняшний день большое внимание уделяется способам получения voltaической энергии путем фотопреобразования энергии, поступающей от Солнца. Существенным фактором, ограничивающим возможности получения энергии данного типа, является высокая стоимость преобразователей и их малая эффективность. Определенные надежды в решении данной проблемы возлагаются, в частности, на развитие технологии получения тонкопленочных фотопреобразующих элементов на основе гетеропереходов, в частности аморфный – кристаллический или поликристаллический кремний.

В [1-3] проведены исследования зависимости фотопроводимости a-Si:H p-типа от уровня легирования и концентрации дефектов. Исследования проводились как с использованием численной модели, так и на экспериментальных образцах. Предложена энергетическая модель фотопроводимости аморфного кремния. В [2] проводились исследования свойств и структуры пленок a-Si:H, полученных методом разложения силана в высокочастотном тлеющем разряде от внешних воздействий, в том числе от температуры отжига. В работах [4, 5] предложен более простой и экономически выгодный магнетронный метод напыления тонких пленок аморфного гидрогенизированного кремния, обладающего схожими характеристиками.

Эффективность фотопреобразования в равной степени зависит от характеристики пленки и от геометрии преобразователей.

Целью данного исследования является разработка основных положений численной модели для изучения зависимости фотопроводимости гетеропереходов a-Si:H – c-Si и ее апробация.

1. Модель переноса носителей

Решение поставленной задачи наиболее целесообразно проводить в кинетическом приближении. При описании процессов переноса носителей в кремнии можно использовать модель, предложенную в [6, 7], дополнив ее представлениями из [1, 2].

Процесс переноса носителей в аморфном кремнии описывается в терминах прыжковой проводимости для неупорядоченной системы с наличием случайного поля хаотически расположенных заряженных точечных центров. Проводимость описывается переходами носителей между различными локализованными состояниями.

Корреляционная функция случайного поля представляется в виде [8]:

$$\varphi(r) = \frac{2\pi n_t e^4}{\varepsilon^2} r_0 \exp\left(-\frac{r}{r_0}\right), \quad (1)$$

где $r_0 = \frac{4\pi n_0 e^2}{\varepsilon T} = \alpha^{-1}$ – радиус экранирования; n_t – концентрация центров; e – заряд электрона; ε – диэлектрическая проницаемость образца, а $r = r_1 - r_2$ – расстояние между двумя точками в образце.

Кинетическое уравнение для аморфного кремния в стационарном состоянии можно записать в виде, предложенном в [8], переписав правую часть с учетом всех основных процессов генерации и рекомбинации носителей тока:

$$\frac{\partial f_{\lambda}}{\partial t} = -\sum_{\lambda'} \{W_{\lambda\lambda'} f_{\lambda} (1 - f_{\lambda'}) - W_{\lambda'\lambda} f_{\lambda'} (1 - f_{\lambda})\},$$

где f_{λ} – неравновесный диагональный элемент одночастичной матрицы плотности; $W_{\lambda\lambda'}$ – вероятность перехода между состояниями λ и λ' . Вероятность рассеяний, соответствующих различным типам переходов, определяется через сечения рассеяния.

Данное уравнение описывает эволюцию диагональной части матрицы плотности, а в области локализованных состояний оно описывает баланс электронных переходов между различными состояниями. Вероятности перескоков между различными парами центров меняются случайным образом и в широком интервале. В результате изменения заселенности состояний наиболее легкие направления перескоков могут быть блокированными.

Генерация носителей тока характеризуется темпом оптической генерации G . Для интерпретации фотопроводимости используются следующие модели рекомбинации:

1) рекомбинация «зона – хвост» происходит при захвате неравновесного носителя из свободной зоны на состояние хвоста противоположной зоны, захватившее перед этим носитель другого знака и действующее как рекомбинационный центр. Количество состояний хвоста увеличиваются по мере уменьшения температуры;

2) рекомбинация «хвост – оборванная связь» происходит при туннелировании захваченных носителей из состояния хвостов зон на состояния оборванных связей;

3) рекомбинация «хвост – хвост» – это туннельная рекомбинация между электронами, захваченными на состояния хвоста зоны проводимости, и дырками, захваченными на состояния хвоста валентной зоны.

В [3] показано, что в действительности нужно учитывать все возможные механизмы рекомбинации и выделять из них основной в зависимости от спектра состояний носителей, типа и концентрации дефектов, внешних условий (температура, интенсивность света и т.д.).

При описании процессов рекомбинации носителей и их захвата на соответствующие ловушки можно воспользоваться моделью, предложенной в [2, 3], дополнив ее представлениями, описанными в [8].

Плотность состояний в неупорядоченном полупроводнике при $|E| \gg \sqrt{\psi_1}$ [8]:

$$\rho(E) = \frac{\psi_1 \exp(-\frac{E^2}{2\psi_1})}{2\pi^2 |E|^{3/2}} + \frac{\alpha \cdot \exp(-\frac{E^2}{2\psi_1})}{8\sqrt{2}\pi^{3/2} \sqrt{\psi_1}} (E - \frac{\alpha |E|^{3/2}}{\sqrt{2\pi\psi_1}}), \quad (2)$$

где $\psi_1 = 2\pi n_t e^4 r_0 / \varepsilon^2$; E – энергия состояния; $\alpha^{-1} = r_0$ – характерная длина, роль которой играет радиус экранирования.

Расчеты проводятся для упрощенной модели плотности состояний в щели подвижности, состоящей из четырех дискретных уровней (рис. 1). Уровни E_{tp} и E_{tn} с плотностью состояний N_{tp} и N_{tn} – эффективные уровни хвоста валентной зоны и зоны проводимости соответственно. Уровни E_D и $E_D + U$ – энергетические уровни состояний оборванных связей. Рассмотрим состояния хвостов зон в качестве мелких ловушек, находящихся в термодинамическом равновесии с ближайшей зоной, т.е. ”ловушки для дырок” и ”ловушки для электронов”. Такое упрощенное представление плотности состояний в щели подвижности, как показано в работе [2], не приводит к качественным изменениям результатов численного расчета.

На рис. 1 показаны вероятные переходы, которые учитывались при расчетах. Как и в модели [2, 3], в данной работе рассмотрены два возможных канала рекомбинации: прямой захват свободных электронов и дырок на D -центры (потoki U_1 , U_2 , U_5 и U_6) и туннельная рекомбинация между электронами, захваченными на состояния хвоста зоны проводимости, и дырками, захваченными на состояния хвоста валентной зоны (U_{13}).

Определим вероятности нахождения D-центра в состоянии D^+ , D^0 и D^- как f^+ , f^0 и f^- соответственно. Поскольку D-центр может находиться только в трех состояниях, $f^+ + f^0 + f^- = 1$. Можно записать на основе формализма Шокли-Рида [8]:

$$U_1 = nN_D f^+ c_n^+, \quad U_2 = nN_D f^0 c_n^0,$$

$$U_3 = N_D f^0 e_n^0, \quad U_4 = N_D f^- e_n^-,$$

$$U_5 = pN_D f^0 c_p^0, \quad U_6 = pN_D f^- c_p^-,$$

$$U_7 = N_D f^+ e_p^+, \quad U_8 = N_D f^0 e_p^0,$$

$$U_9 = nN_{tn} (1 - f_{tn}) c_{tn},$$

$$U_{10} = N_{tn} f_{tn} e_{tn}, \quad U_{11} = pN_{tp} f_{tp} c_{tp},$$

$$U_{12} = N_{tp} (1 - f_{tp}) e_{tp}, \quad U_{13} = N_{tp} f_{tp} N_{tn} f_{tn} T_{nr}, \quad (3)$$

где c_n^0 и c_n^+ – коэффициенты захвата электрона на D^0 - и D^+ -состояния; c_p^0 и c_p^- – коэффициенты захвата дырок на D^0 - и D^- -состояния; e_n^0 , e_n^- , e_p^0 и e_p^+ – коэффициенты теплового выброса электронов из D^0 - и D^- -состояний и дырок из D^0 - и D^+ -состояний; f_{tn} , f_{tp} – вероятности заполнения ловушек для электронов и дырок; c_{tn} , c_{tp} и e_{tn} , e_{tp} – коэффициенты захвата электронов и дырок на соответствующие ловушки и теплового выброса из них; N_D – концентрация D-центров; T_{nr} – коэффициент туннельной рекомбинации «хвост - хвост».

Увеличение плотности электронов в зоне проводимости обусловлено оптической генерацией G и переходами U_3 , U_4 , U_{10} . Уменьшение плотности обусловлено переходами U_1 , U_2 и U_9 . Можно записать, что изменение концентрации электронов проводимости:

$$\frac{\partial n}{\partial t} = G - U_1 - U_2 + U_3 + U_4 - U_9 + U_{10}. \quad (4)$$

Аналогично, можно записать для плотности дырок в валентной зоне и плотности заполнения уровней E_{tn} , E_{tp} и D :

$$\frac{\partial p}{\partial t} = G - U_5 - U_6 + U_7 + U_8 - U_{11} + U_{12},$$

$$\frac{\partial [N_{tn} f_{tn}]}{\partial t} = U_9 - U_{10} - U_{13},$$

$$\frac{\partial [N_{tp} f_{tp}]}{\partial t} = U_{11} - U_{12} - U_{13},$$

$$\frac{\partial [N_D f^+]}{\partial t} = U_3 + U_5 - U_1 - U_7. \quad (5)$$

Данные соотношения позволяют определить вероятности генерации и рекомбинации носителей, входящие в правую часть кинетического уравнения.

Кинетическое уравнение в нестационарном состоянии можно записать для функции распределения носителей f в следующем виде:

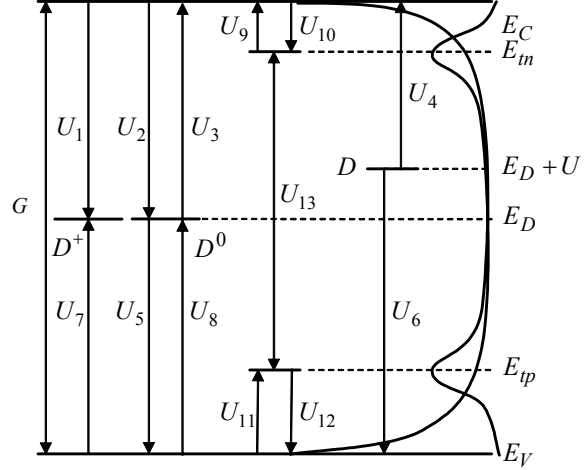


Рис. 1. Схематическое представление электронных переходов для упрощенной модели плотности состояний и вид плотности состояний в щели подвижности из (1)

$$\frac{\partial f_{\lambda}}{\partial t} + (\vec{v}\vec{\nabla}_r f_{\lambda}) + \frac{1}{\hbar}(\vec{F}_i\vec{\nabla}_k f_{\lambda}) =$$

$$= \left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_i - \sum_{\lambda'} \{W_{\lambda\lambda'} f_{\lambda}(1-f_{\lambda'}) - W_{\lambda\lambda'} f_{\lambda'}(1-f_{\lambda})\},$$

где \vec{v}_i – скорость носителей заряда e_i ; \vec{F}_i – сила, действующая на заряд со стороны внешнего электромагнитного поля и остальных носителей заряда; $\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_i$ – интеграл столкновений; ρ – плотность объемного заряда ионов в образце; $\sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i$ – плотность объемного заряда, создаваемого свободными носителями тока.

Сила \vec{F}_i является электрической и может быть определена как градиент поля, которое находится решением уравнения Пуассона:

$$\Delta\varphi = -\frac{1}{\varepsilon}(\rho(\vec{r}) - \sum_i e_i \int f_i d\vec{v}_i)$$

с учетом добавки в виде случайного поля (1).

Методика решения рассмотренной выше системы уравнений подробно изложена в работах [6, 7].

2. Результаты численных расчетов

Параметры модели были выбраны в соответствии с известными из литературы данными и данными, полученными из экспериментальных исследований [4, 5]. Расчет проводился для аморфного кремния с различной степенью гидрирования. Ширина щели подвижности принималась равной 1,8 эВ. Положение уровня Ферми относительно потолка валентной зоны задавалось равным 1,05 эВ. Для параметров оборванных связей принимались следующие значения: $E_D = 0.9$ эВ, $U = 0.3$ эВ. Темп фотогенерации принимался равным $G = 10^{19} \text{ см}^{-3} \text{ с}^{-1}$, $c_n^0 = c_p^0 = 3 \cdot 10^{-15} \text{ см}^{-2}$ и $c_n^+ = c_p^- = 1.5 \cdot 10^{-13} \text{ см}^{-2}$.

Расчет проводился для проводимости в области низких напряженностей внешнего поля до 3 кВ/см.

На рис.2 представлены результаты численного моделирования тепловой удельной проводимости для различных значений концентрации водорода.

Полученные в результате моделирования зависимости удельной проводимости хорошо согласуются с экспериментальными данными.

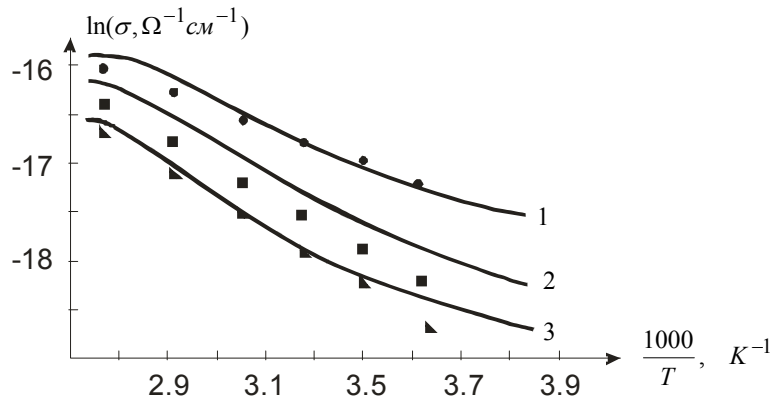


Рис.2. Тепловая зависимость расчетной (сплошные линии) и экспериментальной (точки) удельной проводимости a-Si пленок, полученных магнетронным методом при концентрации водорода: 1 - 10%; 2 - 30%; 3 - 40%

Выводы

Таким образом, разработаны основные положения модели для исследования зависимости фотопроводимости гетеропереходов a-Si:H – c-Si в кинетическом приближении. Обосновано использование упрощенной модели плотности состояний в щели подвижности гидрогенизированного аморфного кремния. Данная модель позволяет проводить исследования влияния температуры, степени легирования и геометрических размеров на характеристики фотопреобразователей. Для апробации модели проведен расчет зависимости удельной проводимости пленки a-Si:H, полученной магнетронным методом, от температуры. Сравнение полученных результатов с экспериментальными данными показало работоспособность данного подхода при моделировании.

Список литературы: 1. Кузнецов С.В., Теруков Е.И. Влияние хвостов зон a-Si:H на заполнение оборванных связей и величину фотопроводимости // ФТП. 2001. Т.35. Вып.6. С.684-686. 2. Кузнецов С.В. Эффект Стеблера-Вронского и температурные зависимости фотопроводимости a-Si:H p-типа // ФТП. 2000. Т.34. Вып.6. С.748-752. 3. Кузнецов С.В. Численный расчет температурных зависимостей фотопроводимости a-Si:H p-типа // ФТП. 2001. Т.35. Вып.10. С.1244-1249. 4. М.А.Буков, А.С. Мазин *Optical spectral characteristics of thin-film constructions on the basis of hydrogenated amorphous silicon // Proc. of SPIE - Vol. 6023. P.60230Q1-60230Q9.* 5. Быков М.А. Исследование влияния концентрации водорода на свойства пленок аморфного гидрогенизированного кремния, полученных магнетронным методом // Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2006. 4/3(22). С.36-38. 6. Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Чурюмов Г.И., Шадрин А.А. Модель ПТШ субмикронных размеров на кремнии. Ч.1 / Радиоэлектроника и информатика. 2004. №3. С.47–53. 7. Гордиенко Ю.Е., Зуев С.А., Старостенко В.В., Терещенко В.Ю., Шадрин А.А. Особенности лавинного пробоя в кремниевых ПТШ по результатам численного моделирования // Радиотехника. 2006. Вып.121. С.146-152. 8. Бонч-Бруевич В.Л., Звягин И.П., Кайпер Р., Миронов А.Г., Эндерлайн Р., Эсер Б. Электронная теория неупорядоченных полупроводников. М.: Наука, 1981. 384 с.

Поступила в редколлегию 12.06.2007

Слипченко Николай Иванович, проф., проректор по научной работе, ХНУРЭ. Научные интересы: микроэлектроника. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел. 70-21-020.

Быков Михаил Александрович, младший научный сотрудник каф. МЭПУ ХНУРЭ. Научные интересы: аморфные тонкопленочные фотопреобразователи. Адрес: Украина, 95050, Симферополь, ул.Киевская, 130, кв.47.

Зуев Сергей Александрович, канд. техн. наук, старший преподаватель каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: моделирование полупроводниковых приборов. Адрес: Украина, 95004, Симферополь, ул.Киевская, 127, кв.35.

Мазин Алим Сейт-Аметович, канд. техн. наук, доцент каф. радиофизики и электроники ТНУ. Научные интересы: тонкопленочные структуры, наноразмерная электроника. Адрес: Украина, 95053, Симферополь, ул. Мате Залки, 1, кв.19.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА РЕСУРСОВ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ И ЛОКАЛИЗАЦИИ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ

Разрабатываются математические модели для определения оптимального количества специализированных сил и средств для предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера, которые позволяют минимизировать суммарные экономические потери общества.

1. Опасность возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера

Экологические вопросы являются первоочередными не только для Украины, но и для многих стран мира. Это связано с увеличением применения техники во всех сферах жизнедеятельности человека. Наиболее острые вопросы в Украине – это ликвидация последствий аварии на Чернобыльской атомной станции, загрязнение бассейна рек Днепра и Днестра. Стоит учитывать и тот факт, что на территории нашей страны расположено огромное количество потенциальных взрыво-, пожаро-, радиоактивно и химически опасных производств.

Росту экологического ущерба при авариях на промышленных предприятиях способствует ряд объективных причин: высокая концентрация производства; увеличение единичной мощности реакторов и количества находящихся в них опасных веществ; близость предприятий между собой (вследствие их кластеризации и создания индустриальных комплексов), с узлами энергораспределения, тепло- и газоснабжения, транспортными магистралями и местами проживания населения. Но это только одна сторона неблагоприятной ситуации.

Другая сторона – повышение вероятности аварии. К росту этой вероятности приводят различные факторы, основные из них следующие: интенсификация процессов, вызывающих рост технологических параметров – температуры, давления, энергонасыщенности, приближающихся к критическому уровню; расширение номенклатуры выпуска предприятия с передовой технологией, обеспечивающей комплексную переработку сырья, до сотен, а иногда и тысяч позиций, причем многие из изготавливаемых продуктов горючи, чрезвычайно токсичны и ядовиты; комплексная обработка веществ, которые при утечке и смешивании образуют взрыво-, пожароопасные и ядовитые соединения; быстрое обновление технологий и техники, для работы с которыми обслуживающий персонал не имел предварительного опыта; возрастание доли нефти и газа среди первичных энергоисточников (до 70 %) [1].

Хозяйственная деятельность человека приводит к нарушению экологического равновесия, возникновению аномальных природных и техногенных ситуаций с многочисленными человеческими жертвами и огромными материальными потерями.

Причин аварий и катастроф множество, но основными являются следующие:

- нарушение трудовой и технологической дисциплины;
- ошибки при проектировании;
- ошибки при строительстве;
- износ оборудования, зданий, сооружений;
- результат стихийных бедствий;
- вовлечение в хозяйственный оборот рискованных территорий.

Поэтому возникает необходимость создания системы для предупреждения чрезвычайных ситуаций (ЧС) в мирное и военное время. А в случаях их возникновения - для ликвидации последствий, обеспечения безопасности населения, защиты окружающей среды и уменьшения ущерба народному хозяйству.

Главной целью такой системы является минимизация суммарных потерь общества из-за ЧС путем профилактики, раннего предупреждения об угрозах ЧС, минимизации времени их обнаружения, локализации и ликвидации последствий [2].

Опыт ЧС показывает, что для общества важным является предупреждение чрезвычайных ситуаций или существенное уменьшение их масштабов в случае возникновения. Это важно как в социальном, так и в экономическом плане.

Задачи исследования: для обеспечения функционирования специализированных служб нужны специализированные подразделения (силы) и материально-технические ресурсы (средства). При этом возникает проблема определения структуры, количества и мест размещения сил и средств таким образом, чтобы минимизировать суммарные экономические потери общества (за счет создания сил и средств) и потерь от ЧС.

2. Определение оптимального количества специализированных сил и средств для локализации чрезвычайных ситуаций

Глобальной целью региональной системы предупреждения и локализации ЧС является минимизация суммарных социально-экономических потерь от ЧС. Эти потери состоят из следующих компонент.

1. Затраты на создание и поддержание в работоспособном состоянии системы предупреждения, локализации и ликвидации последствий ЧС. Это капитальные и эксплуатационные затраты на создание региональной, территориально-распределенной организационной специализированной системы, обучение и содержание кадров, создание и хранение запасов специальных материально-технических ресурсов.

2. Затраты на предупреждение (профилактику) ЧС.

3. Социально-экономические потери, обусловленные возникновением и развитием ЧС.

4. Затраты на локализацию ЧС, т.е. затраты на целенаправленные действия для ликвидации или ограничения развития источника ЧС, уменьшения социально-экономического ущерба.

5. Затраты на ликвидацию последствий ЧС, т.е. затраты на восстановление пострадавших объектов хозяйственной деятельности и условий жизнедеятельности населения [3].

Обозначим каждую из перечисленных компонент затрат через C_i , $i = \overline{1,5}$. Тогда глобальную цель системы можно записать в виде:

$$C_{\Sigma} = \sum_{i=1}^5 C_i \rightarrow \min . \quad (1)$$

Качественный характер этой зависимости показан на рис. 1. Как видно из графика, в общем случае существует некоторый оптимальный уровень затрат C^0 , обеспечивающий минимум суммарных потерь P .

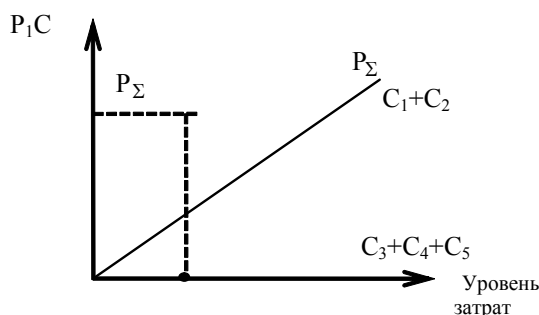


Рис. 1. Зависимость суммарных потерь от затрат на систему

Обозначим суммарные затраты на систему и профилактику

$$C = C_1 + C_2 , \quad (2)$$

а возможные потери:

$$P = C_3 + C_4 + C_5 . \quad (3)$$

Очевидно, что в реальных условиях для любого планового периода анализа будет существовать ограничение

$$C \leq C_n, \quad (4)$$

где C_n – плановый уровень ассигнований, при этом в подавляющем большинстве случаев $C_n \leq C^0$. С учетом (4) глобальную цель (1) можно записать в виде:

$$P = \min_{C \leq C_n} (C_3 + C_4 + C_5), \quad (5)$$

что означает, что необходимо создать такую систему, которая при любом уровне задания ограниченных финансовых и материально-технических ресурсов C обеспечит минимизацию социально-экономических потерь от ЧС. Достижение указанной цели связано, прежде всего, с созданием эффективной организационной структуры управления процессами локализации и ликвидации ЧС. Для определения ее задач рассмотрим пути достижения глобальной цели (5).

Достижение цели (5) возможно двумя путями: уменьшение числа ЧС всех видов; минимизация суммарных потерь P в случае возникновения конкретной ЧС [3].

Первый путь связан с решением задач профилактики ЧС. В каждом конкретном случае это связано с разработкой и реализацией узкоспециальных мероприятий (совершенствование технологий, создание систем аварийной защиты). В Украине создана эффективная система органов охраны и безопасности, поэтому задача уменьшения числа ЧС не входит в функцию системы. В данном случае важной является функция информационного взаимодействия со специальными службами и объектами для получения информации об источниках потенциальной опасности, вероятности возникновения ЧС, мощности возможного воздействия, его последствий и выработка на этой основе мероприятий по локализации и ликвидации последствий ЧС. В этом же плане должна проводиться и профилактическая работа, которая заключается в разработке стандартных ситуационных планов локализации различных ЧС, подготовке кадров, информировании и обучении населения. Таким образом, основным путем достижения цели (5) является минимизация суммарных потерь p в случае возникновения ЧС.

Рассмотрим зависимость обобщенных социально-экономических потерь из-за ЧС в зависимости C_3 от времени ее неконтролируемого развития. В общем случае, независимо от вида ЧС, функция

$$C_3 = F(t) \quad (6)$$

может быть представлена S-образной кривой (кривая А на рис. 2).

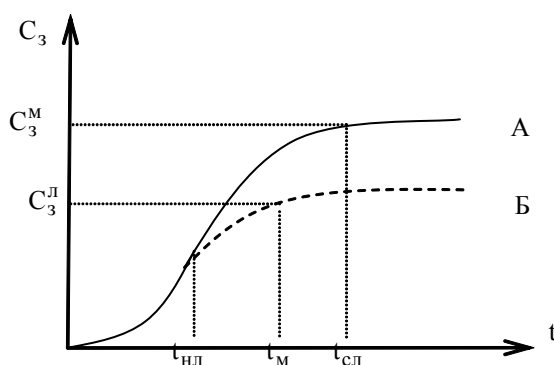


Рис. 2. Зависимость потерь от времени неконтролируемого развития ЧС

На рис. 2 момент времени $t_{сл}$ соответствует времени самолокализации (прекращения развития) ЧС, без целенаправленного вмешательства. Значение C_3^M соответствует ущербу, который принесет ЧС на момент самолокализации. Конкретный вид и характеристики ЧС изменяют только значения $t_{сл}$ и C_3^M , но не качественный вид зависимости.

Уменьшение потерь от ЧС может быть достигнуто проведением целенаправленных мероприятий по ее локализации. Обозначим время локализации ЧС через $t_{л}$. Очевидно, что $t_{л} \leq t_{сл}$ и чем оно меньше, тем однозначно меньше потери $C_3^л$. Кроме того, целенаправленное вмешательство в развитие ЧС в целях ее локализации изменяет характер роста потерь (кривая Б на рис. 2). На этой кривой момент $t_{нл}$ – начало мероприятий по локализации ЧС. Таким образом, одной из задач системы является минимизация времени локализации ЧС, т.е.

$$t_{кл} \rightarrow \min. \quad (7)$$

Уровень затрат на ликвидацию последствий ЧС однозначно определяется уровнем и структурой ущерба, нанесенного ЧС на момент локализации, т.е. уровнем $C_3^л$. Таким образом, переменные C_3 и C_5 изменяются согласованно и для минимизации C_5 , аналогично C_3 , необходимо минимизировать время $t_{кл}$ (7).

Локализация ЧС требует некоторых затрат сил, средств, ресурсов. Величина этих затрат обозначена C_4 . Она зависит от двух факторов: времени начала локализации ЧС; эффективности плана локализации. Первое объясняется тем, что в общем случае динамики развития любой ЧС может быть описана кривой, приведенной на рис. 3.



Рис. 3. Динамика развития ЧС

Это означает, что с течением времени масштабы неконтролируемо развивающейся ЧС достигают некоторого максимума и затем начинают уменьшаться. Чем меньше масштабы ЧС, тем меньше ресурсов необходимо затратить на ее локализацию. Это означает, что необходимо стремиться обеспечить

$$t_{нл} \rightarrow \min, \quad (8)$$

где $t_{нл}$ – момент начала локализации.

Вторая составляющая – эффективность плана локализации, определяет количество ресурсов $R_{л}$, которое необходимо затратить на локализацию ЧС. В реальных условиях $R_{л}$ всегда ограничены некоторым уровнем $R_{д}$. Тогда с учетом (7) критерий эффективности плана локализации конкретной ЧС будет иметь вид

$$T_{л} = \min_{R \in R_{д}} (t_{кл} - t_{нл}). \quad (9)$$

Рассмотрим структуру временных затрат на интервале от момента возникновения ЧС t_0 до момента окончания ее локализации $t_{кл}$. Можно выделить следующие основные интервалы: Δt_1 – время с момента возникновения ЧС до момента поступления об этом в систему; Δt_2 – затраты времени на классификацию ситуации, ее первичную оценку и оповещение лиц, принимающих решение (ЛПР), всех необходимых уровней как внутри системы, так и смежных функциональных систем, например, органов внутренних дел, пожарной охраны, скорой помощи и т.д.; Δt_3 – временные затраты на идентификацию ситуации и прогноз ее развития; Δt_4 – время, необходимое на подготовку плана локализации ЧС; Δt_5 – время реализации плана локализации ЧС.

Функциональные действия на каждом из перечисленных этапов многоаспектны, поэтому указанные интервалы могут частично перекрываться, но в целом, согласно (8), (9), необходимо минимизировать суммарные временные затраты

$$T = \sum_{i=1}^5 \Delta t_i \rightarrow \min_{R \in R_d} . \quad (10)$$

Эта задача связана с эффективным использованием ограниченных ресурсов R_d .

Содержательный анализ перечисленных основных этапов действий по локализации ЧС показывает, что первые четыре из них полностью состоят в получении, накоплении, передаче и обработке информации в целях оперативной выработки эффективного решения по локализации ЧС. При этом критерием оперативности является

$$K_1 = \min \sum_{i=1}^4 t_i , \quad (11)$$

а критерием эффективности

$$K_2 = \min_{R \in R_d} \Delta t_5 . \quad (12)$$

Достижение целей (11), (12) в определяющей степени связано с эффективностью организации и реализации информационных процессов в системе. Повышение эффективности имеет два аспекта:

- создание совершенной организационно-управляющей структуры, ориентированной на максимально возможное приближение процедур принятия решений по локализации ЧС к месту событий. Это означает повышение уровня ответственности и полномочий низовых уровней системы;

- совершенствование системы сбора, передачи и обработки информации, что связано с комплексной автоматизацией всех информационных процессов на основе современных информационных технологий, сбора, накопления, передачи, обработки, представления информации.

Оба указанных выше аспекта повышения эффективности системы предупреждения, локализации и ликвидации ЧС тесно связаны и кардинальное решение проблемы возможно только в рамках создания региональной информационно-аналитической подсистемы (РИАП ЧС), базирующейся на широком использовании ЭВМ, передовых компьютерных технологиях, средствах связи и оргтехники [3].

Создание такой информационно-аналитической системы для предупреждения, локализации и ликвидации последствий ЧС состоит из стадий проектирования и управления. На стадии проектирования решаются две задачи: задача функционально-организационного распределения и задача распределения ресурсов. На стадии управления решается задача управления созданной системой.

Решение задачи распределения ресурсов состоит из двух этапов: определение оптимального количества ресурсов, необходимых для локализации ЧС, и размещение этих ресурсов на территории региона.

Рассмотрим решение задачи определения оптимального количества ресурсов.

Постановка задачи:

1. Задан ущерб от ЧС как функция количества ресурсов, выделяемых на предупреждение и локализацию ЧС:

$$\Pi_{\text{ЧС}} = f(R) , \quad (13)$$

где, R – ресурсы.

2. Задана функция затрат на ресурсы:

$$Z = \varphi(R) . \quad (14)$$

Общие экономические потери состоят из суммы затрат на ресурсы и потерь от ЧС:

$$U = Z + \Pi_{\text{ЧС}} = \varphi(R) + f(R) . \quad (15)$$

Необходимо определить оптимальное количество ресурсов R^0 , требуемых для предотвращения, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций:

$$R^0 = \min_R [\varphi(R) + f(R)]. \quad (16)$$

Для решения задачи определения оптимального количества ресурсов необходимо обосновать вид функции затрат на ресурсы и вид функции ущерба от ЧС. Рассмотрим случай, когда функция затрат на ресурсы – это линейная функция следующего вида:

$$Z(R) = \varphi(R) = B * R, \quad (17)$$

где B – коэффициент стоимости ресурсов (constant); R – ресурсы.

Функция ущерба от ЧС – это функция вида:

$$\Pi_{\text{ЧС}}(R) = f(R) = 1 - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha, \quad (18)$$

где R – ресурсы; $R_{\text{нх}}, R_{\text{нл}}$ – наихудшее и наилучшее значения ресурсов, соответствующие границам области допустимого изменения данных параметров системы; α – показатель нелинейности.

При $\alpha=1$ получаем линейную зависимость, при $0 < \alpha < 1$ – выпуклую, при $\alpha > 1$ – вогнутую. Кривизна зависит от значения α . Это хорошо видно на рис. 4.

Функция вида (18) – это функция потери полезности. Она является универсальной, так как позволяет реализовать все зависимости как функции допустимых пределов изменения параметров [4].

Графики функций (17) и (18) представлены на рис. 4.

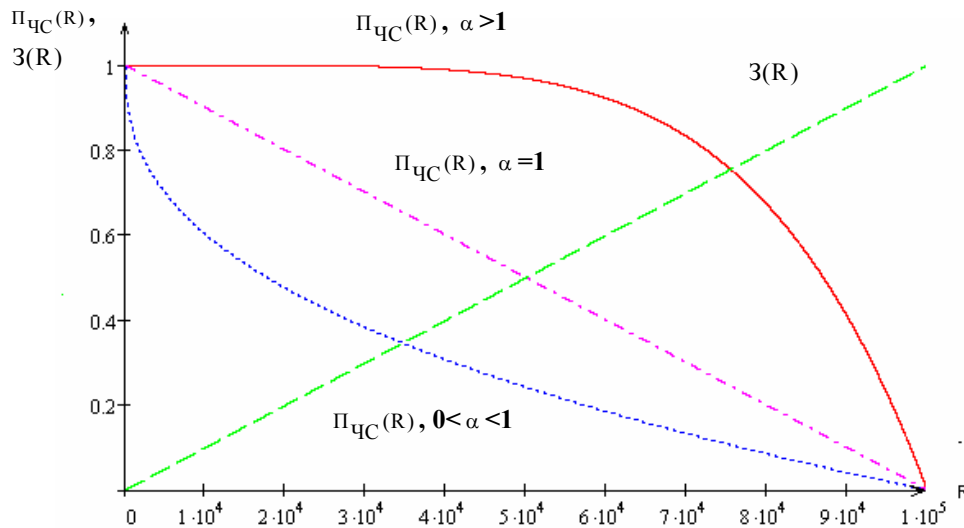


Рис.4. Графики функции ущерба от ЧС и функции затрат на ресурсы

Таким образом, R^0 выглядит так:

$$R^0 = \min_R [\varphi(R) + f(R)] = B * R + \left[1 - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha \right]. \quad (19)$$

Функция достигает своего минимума (для вогнутых функций) и максимума (для выпуклых функций) в точке, в которой производная данной функции равна 0. Для расчета воспользуемся интегрированной средой Mathcad. Найдем производную функции (19), получим:

$$(R^0)' = \left(B * R + \left[1 - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha \right] \right)' = - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha * \frac{\alpha}{R - R_{\text{нх}}} + B. \quad (20)$$

Приравняв производную к 0, и решив уравнение (21) относительно R , найдем оптимальное количество ресурсов R^0 :

$$-\left(\frac{R - R_{\text{НХ}}}{R_{\text{НЛ}} - R_{\text{НХ}}}\right)^\alpha * \frac{\alpha}{R - R_{\text{НХ}}} + B = 0, \quad (21)$$

$$R^0 = \exp[(-1 + \alpha)^{-1} \ln[-B * \frac{-R_{\text{НЛ}} + R_{\text{НХ}}}{\alpha}]] * R_{\text{НЛ}} - \exp[(-1 + \alpha)^{-1} \ln[-B * \frac{-R_{\text{НЛ}} + R_{\text{НХ}}}{\alpha}]] * R_{\text{НХ}} + R_{\text{НХ}}. \quad (22)$$

Найдем решение R^0 при различных значениях α ($0 < \alpha < 1$, $\alpha > 1$ и $\alpha = 1$).

1. Рассмотрим первый случай, когда $0 < \alpha < 1$. Функция затрат на ресурсы – линейная функция, функция потерь от ЧС – вогнутая функция, сумма этих функций – вогнутая функция.

Предположим, что нам задано: $\alpha = 0,4$, $R_{\text{НХ}} = 0$, $R_{\text{НЛ}} = 1000000$, $B = 0.000001$. По формуле (22) получаем, что $R^0 = 2,172 * 10^4$. Графически решение представлено на рис. 5.

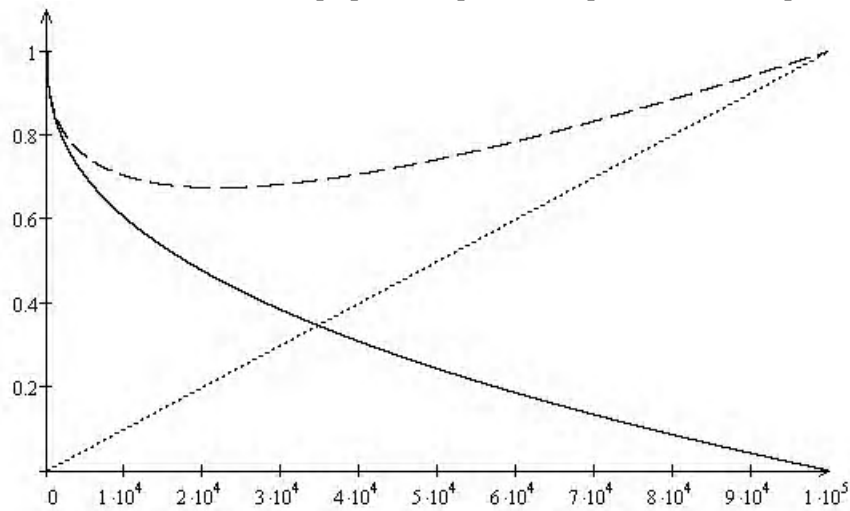


Рис. 5. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{\text{ЧС}}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{\text{ЧС}}(R)$

2. Рассмотрим второй случай, когда $\alpha > 1$. Функция затрат на ресурсы – линейная функция, функция потерь от ЧС – выпуклая функция, сумма этих функций – выпуклая функция.

Предположим, что нам задано: $\alpha = 2$, $R_{\text{НХ}} = 0$, $R_{\text{НЛ}} = 1000000$, $B = 0.0000001$.

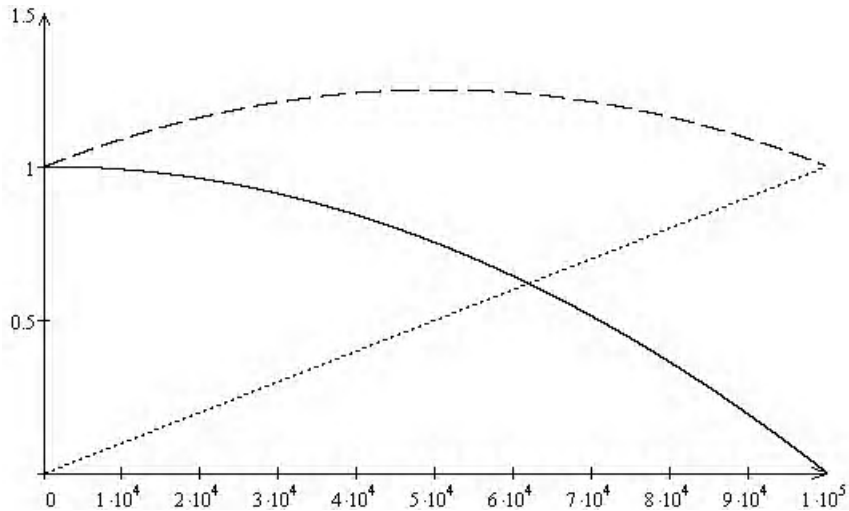


Рис. 6. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{\text{ЧС}}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{\text{ЧС}}(R)$

В этом случае сумма функций $Z(R) + \Pi_{\text{ЧС}}(R)$ – выпуклая функция и решение будет либо при $R=0$, либо при R_{max} . Графически решение представлено на рис. 6.

3. И, наконец, рассмотрим третий случай, когда $\alpha=1$.

В этом случае решение не существует, так как знаменатель обращается в 0 (22).

Теперь рассмотрим случай, когда функция затрат на ресурсы не линейна и имеет следующий вид:

$$Z(R) = \varphi(R) = \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^b, \quad (23)$$

где R – ресурсы; $R_{\text{нх}}$, $R_{\text{нл}}$ – наихудшее и наилучшее значения, соответствующие границам области допустимого изменения данных параметров системы; b – показатель нелинейности.

При $b=1$ получаем линейную зависимость, при $0 < b < 1$ – выпуклую, при $b > 1$ – вогнутую. Кривизна зависит от значения b . Функция вида (23) – это функция полезности.

График функции вида (23) представлен на рис. 7.

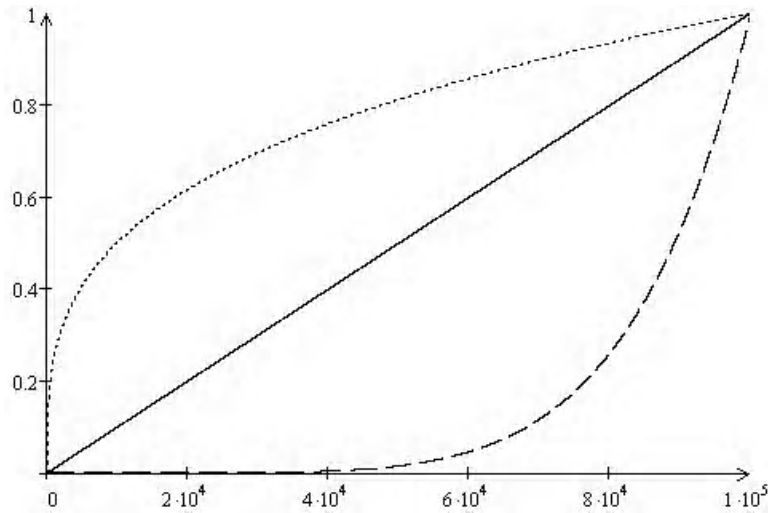


Рис. 7. График функции затрат на ресурсы

Функция потерь от ЧС представлена формулой (18).

Тогда, с учетом сказанного выше

$$R^0 = \min_R [\varphi(R) + f(R)] = \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^b + \left[1 - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha \right]. \quad (24)$$

Найдем производную функции (24), получим:

$$\begin{aligned} (R^0)' &= \left(\left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^b + \left[1 - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha \right] \right)' = \\ &= - \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^b * \frac{b}{R - R_{\text{нх}}} + \left(\frac{R - R_{\text{нх}}}{R_{\text{нл}} - R_{\text{нх}}} \right)^\alpha * \frac{\alpha}{R - R_{\text{нх}}}. \end{aligned} \quad (25)$$

Приравняв производную к 0 и решив уравнение относительно R , найдем оптимальное количество ресурсов R^0 :

$$-\left(\frac{R - R_{HX}}{R_{HЛ} - R_{HX}}\right)^b * \frac{b}{R - R_{HX}} + \left(\frac{R - R_{HX}}{R_{HЛ} - R_{HX}}\right)^\alpha * \frac{\alpha}{R - R_{HX}} = 0, \quad (26)$$

$$R^0 = \exp[(-b + \alpha)^{-1} \ln(b/\alpha)] * R_{HЛ} - \exp[(-b + \alpha)^{-1} \ln(b/\alpha)] * R_{HX} + R_{HX}. \quad (27)$$

Рассмотрим решение при различных значениях b и α :

1) Если $\alpha = b$, получаем, что R^0 не существует, так как знаменатель обращается в 0 (27).

2) Если $0 < \alpha < 1$, $0 < b < 1$, то функция затрат на ресурсы – выпуклая, функция потерь от ЧС – вогнутая, сумма этих функций – вогнутая функция. R^0 существует, и оптимальное количество ресурсов рассчитываем по формуле (27).

Пример: пусть $\alpha = 0,2$, $b = 0,8$, $R_{HX} = 0$, $R_{HЛ} = 1000000$, получаем: $R^0 = 9,921 * 10^3$ (рис. 8).

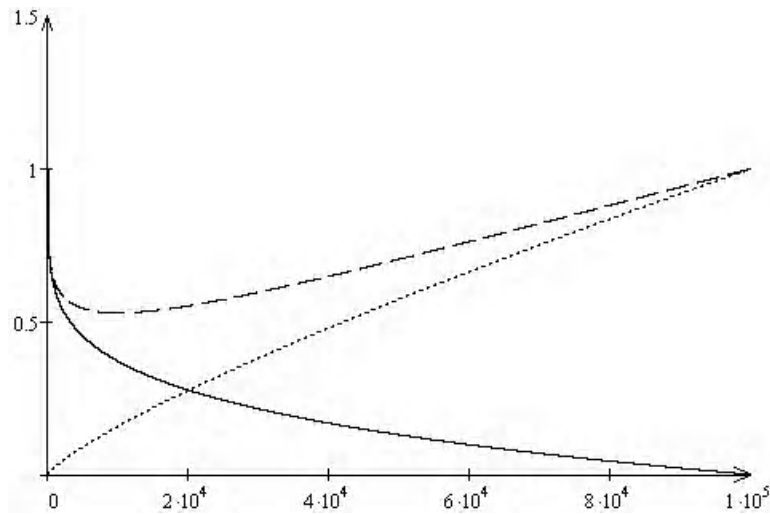


Рис. 8. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{чс}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{чс}(R)$ при $0 < \alpha < 1$, $0 < b < 1$

3) Если $\alpha > 1$, $b > 1$, то функция затрат на ресурсы – вогнутая, функция потерь от ЧС – выпуклая, сумма этих функций – вогнутая функция. Оптимальное количество ресурсов R^0 рассчитываем по формуле (27).

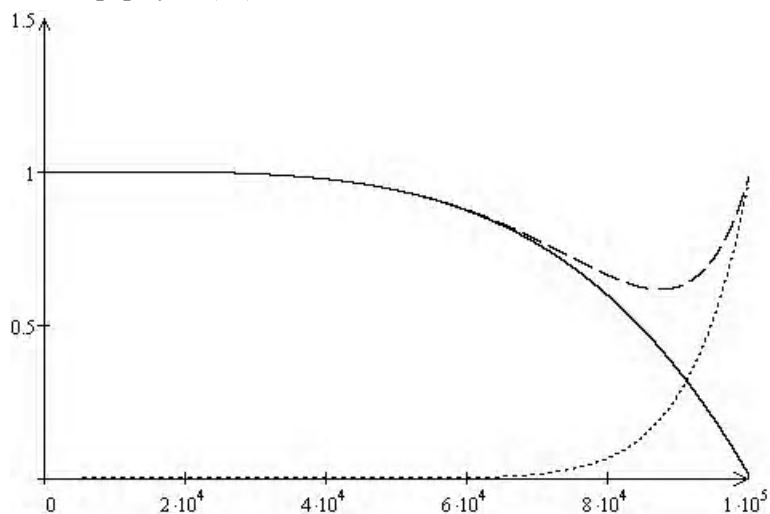


Рис. 9. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{чс}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{чс}(R)$ при $\alpha > 1$, $b > 1$

Пример: пусть $\alpha = 4$, $b = 12$, $R_{HX} = 0$, $R_{HЛ} = 1000000$, получаем: $R^0 = 8,717 * 10^4$ (рис. 9).

4) Если $0 < \alpha < 1$, $b > 1$, то функции затрат на ресурсы и потерь от ЧС – вогнутые, сумма этих функций – вогнутая функция. R^0 существует, оптимальное количество ресурсов R^0 рассчитываем по формуле (27).

Пример: пусть $\alpha = 0,4$, $b = 12$, $R_{нх} = 0$, $R_{нл} = 1000000$, получаем: $R^0 = 7,459 \cdot 10^4$ (рис. 10).

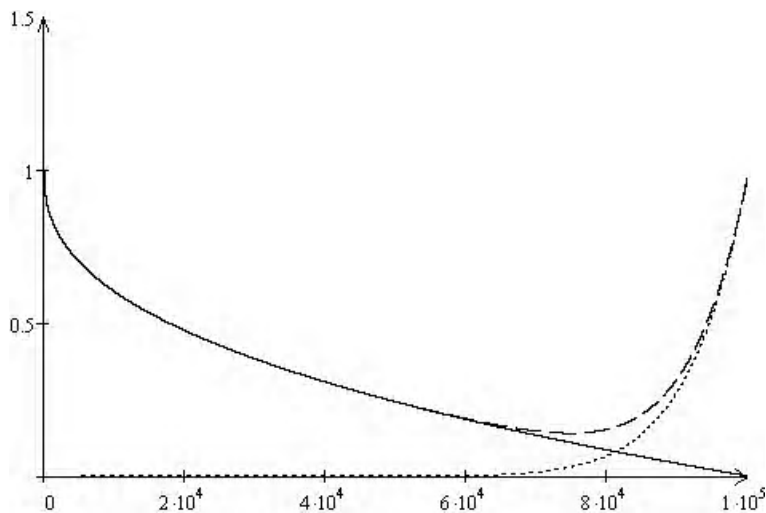


Рис. 10. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{ЧС}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{ЧС}(R)$ при $0 < \alpha < 1$, $b > 1$

5) Если $\alpha > 1$, $0 < b < 1$, то функции затрат на ресурсы и потерь от ЧС – выпуклые, сумма этих функций также выпуклая функция. Оптимальное количество ресурсов R^0 будет либо при $R = 0$, либо при R_{\max} .

Пример: пусть $\alpha = 2$, $b = 0,8$, $R_{нх} = 0$, $R_{нл} = 1000000$ (рис. 11).

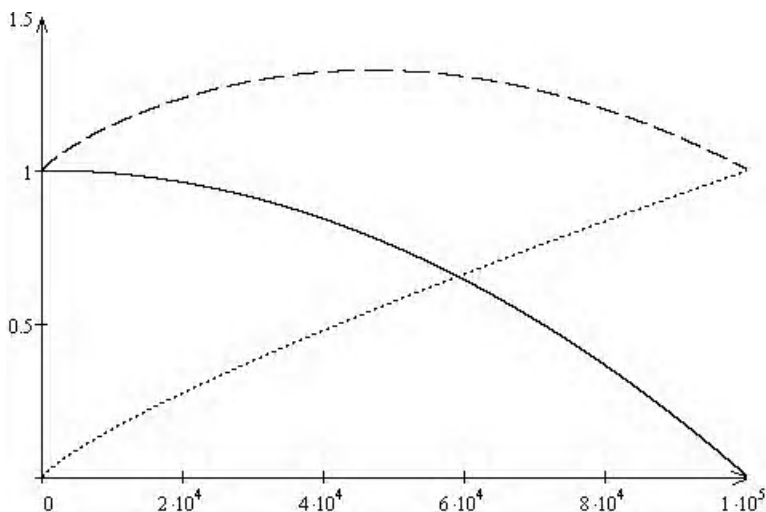


Рис. 11. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{ЧС}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{ЧС}(R)$ при $\alpha > 1$, $0 < b < 1$

6) Если $\alpha = 1$, $0 < b < 1$, то функция затрат на ресурсы – выпуклая, функция потерь от ЧС – линейная, сумма этих функций – выпуклая функция. Оптимальное количество ресурсов R^0 будет равно либо при $R = 0$, либо при R_{\max} .

Пример: пусть $\alpha = 1$, $b = 0,3$, $R_{нх} = 0$, $R_{нл} = 1000000$ (рис. 12).

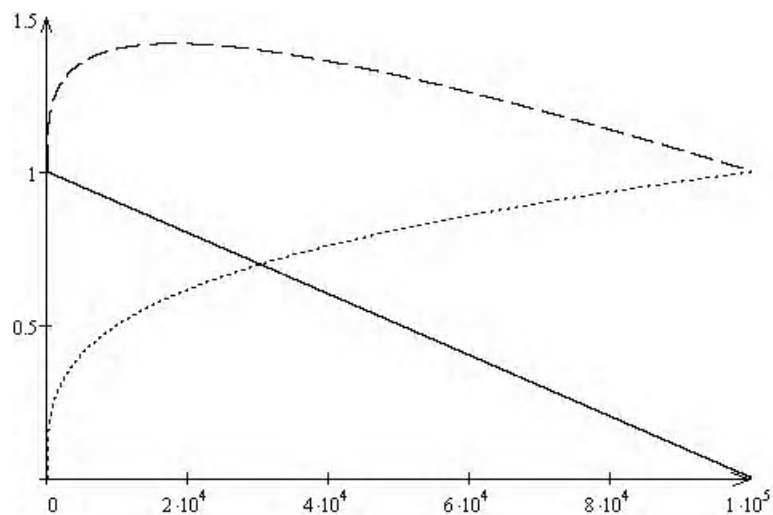


Рис.12. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{ЧС}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{ЧС}(R)$ при $\alpha=1, 0 < b < 1$

7) Если $\alpha=1, b > 1$, то функция затрат на ресурсы – вогнутая, функция потерь от ЧС – линейная, сумма этих функций – вогнутая функция. R^0 существует, и его находим из выражения (27).

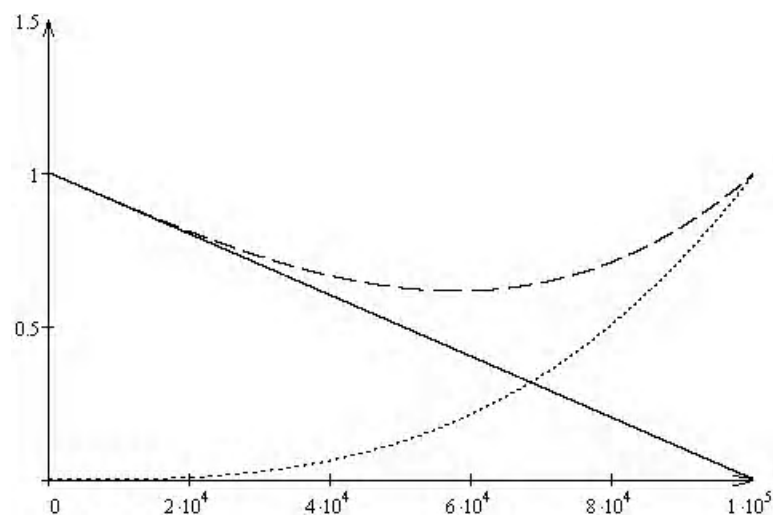


Рис. 13. Графики зависимостей $Z(R)$, $\Pi_{ЧС}(R)$ и $Z(R) + \Pi_{ЧС}(R)$ при $\alpha=1, b > 1$

Пример: пусть $\alpha=1, b=3, R_{нх}=0, R_{нл}=1000000$, получаем: $R^0 = 5,774 \cdot 10^4$ (рис. 13).

8) Если $b=1$, а $0 < \alpha < 1$ или $\alpha > 1$, это частный случай функции (17). Решение для таких значений α и b было рассмотрено ранее.

Таким образом, используя формулы (22) и (27), можно определить оптимальное количество ресурсов R^0 при различных видах функций затрат на ресурсы и потерь от ЧС.

3. Результаты решения задачи

Научная новизна: при заданных функциях ущерба от ЧС и затрат на ресурсы было определено оптимальное количество ресурсов для предупреждения, локализации и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций, с учетом того, что общие экономические потери состоят из суммы этих функций. Были получены решения при таких видах функций:

- функция затрат на ресурсы – линейная, функция ущерба от ЧС – функция потери полезности. (При этом функция потери полезности в зависимости от значения показателя нелинейности может быть выпуклой, линейной и вогнутой);

– функция затрат на ресурсы – функция полезности, функция ущерба от ЧС – функция потери полезности. (И так же как и в случае с функцией потери полезности в зависимости от значения показателя нелинейности она может быть выпуклой, линейной и вогнутой).

Определили, что в некоторых случаях решение не может быть найдено.

Практическая значимость: проведено исследование математических моделей для определения оптимального количества ресурсов для локализации ЧС, которые позволяют минимизировать суммарные экономические потери общества за счет их создания и потерь от ЧС.

Таким образом, было рассмотрено решение первого этапа задачи распределения ресурсов, а именно – задачи определения оптимального количества специализированных сил и средств для предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.

Список литературы: 1. Прокопенко А.И., Вайнер В.Г., Галкин В.Л. Экономико-экологическое моделирование: Учебн. пособие / Под ред. В.Г. Вайнера. Харьков: АО «Бизнес Информ», 1997. 360 с. 2. Петров Э.Г., Писклакова В.П. Функциональные задачи региональной (областной) информационно-аналитической подсистемы локализации и ликвидации ЧС // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация последствий. Материалы международной конференции под эгидой Организации Черноморского экономического сотрудничества и в кооперации МПЧС. 23-25 мая, 2000. Харьков. Ротапринт ИРЭНАН Украины. С. 125-127. 3. Гиренко П.И., Петров Э.Г. Системологический анализ целей и задач системы предупреждения и локализации чрезвычайных ситуаций // РИ. 1998. № 4. С. 61-64. 4. Петров Э.Г. Организационное управление городом и его подсистемами (методы и алгоритмы). Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986. 144с.

Поступила в редколлегию 14.05.2007

Олишевская Ольга Николаевна, аспирантка кафедры системотехники. Научные интересы: информационно-аналитические системы принятия решений, автоматизация органов управления, системный анализ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14.

УДК 004.8 : 004.936.2

М.В. ДАВИДОВ, Ю.В. НИКОЛЬСКИЙ, В.В. ПАСІЧНИК

ВИБІР ЕФЕКТИВНОГО МЕТОДУ ОПРАЦЮВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ НА ОСНОВІ ЕТАЛОНА ДЛЯ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ЕЛЕМЕНТІВ ЖЕСТОВОЇ МОВИ

Наводяться результати досліджень з ідентифікації жесту української жестової мови за формою кисті руки. Розробляються та досліджуються методи ідентифікації на основі порівняння зображень з еталоном. Описуються оптимальні значення параметрів методів та тип функції відповідності, які дозволяють для обраної групи жестів розв'язувати задачу ідентифікації у реальному часі.

1. Постановка проблеми у загальному вигляді

У статті наведено результати експериментів із застосування деяких підходів до опрацювання зображень, що складають частину комплексного дослідження, метою якого є побудова комп'ютеризованої системи перекладу мови жестів у текст [1, 2]. Така система обробляє сигнал із фронтальним зображенням людини, яка розмовляє жестовою мовою. Сигнал надходить з відеокамери в комп'ютер, проходить оброблення, а виділений з нього жест ідентифікується як слово або словосполучення.

У дослідженнях використано відеопідручник української жестової мови. Цей підручник використовують для навчання жестовій мові у спеціалізованих школах для дітей з пониженим слухом та люди, які втратили слух. Для проведення досліджень фільм був конвертований у цифровий формат, а його кадри використано для побудови моделі жесту та подальшого її аналізу. *Актуальність* дослідження вказаної проблеми впливає з необхідності створення комп'ютеризованих систем спілкування українською мовою з людьми, які мають послаблений слух.

Словник української жестової мови налічує приблизно дві тисячі жестів. Кожний жест може означати літеру, слово або словосполучення. У кожному жесті можна виділити певні елементи. Такими елементами є фіксовані положення пальців рук, долоні, кисті руки, всієї руки, двох рук. До елементів жесту також можна додавати міміку обличчя, артикуляцію губ, рухи частин тіла тощо. На цьому етапі досліджень такі додаткові елементи не розглядалися.

У дослідженнях опрацьовано жести, які означають ціле слово або словосполучення. Ці жести виконують в динаміці однією або обома руками зі зміною форми кисті руки, яка здійснюється згинанням або розсуванням пальців та поворотами долоні. Значення жесту також залежить від взаємного розташування рук, напрямку руху, положення рук відносно частин обличчя та корпусу людини. На цьому етапі досліджень вивчається лише зміст жесту, визначений формою кисті руки.

Ідентифікацію жестів жестової мови шляхом встановлення відповідності між жестом та словом або словосполученням розглядаємо як вирішення такої сукупності задач:

1) Визначення форми кисті руки та ідентифікація жесту на основі розпізнавання форми кисті руки.

2) Визначення траєкторій руху рук на зображенні.

3) Виділення та розпізнавання окремих жестів.

4) Відділення жестів від звичайних рухів, які не є жестами жестової мови.

Метою проведених досліджень є вирішення першої із перелічених задач. Побудовано метод ідентифікації жесту за формою кисті руки та досліджено його на ефективність залежно від вибору параметрів цього методу.

2. Аналіз останніх досліджень

Для вирішення задачі ідентифікації жесту за формою кисті руки пропонується порівнювати два зображення, одне з яких називатимемо еталонним. Зміст поняття „еталонне зображення”, або „еталон”, яке вживатимемо у цьому розділі статті, буде уточнене в подальшому під час опису процесу досліджень в контексті пропонованого підходу. Критичним фактором, який визначатиме ефективність ідентифікації жесту, є час порівняння зображення із еталоном. Тому пропонується провести дослідження на ефективність методів порівняння двох зображень. Запропоновано та досліджено різні модифікації методів, у яких порівняння зображень може виконуватись попіксельно без врахування трансформацій зображень або із їх врахуванням.

Такі трансформації викликані спотвореннями або зсувами окремих пікселів. Спотворення вважатимемо локальними та розглядатимемо їх у певному околі кожного пікселя. Цей окіл задаватимемо квадратної або хрестовидної форми.

Для опрацювання зображень застосовують метод із попіксельним порівнянням зображень [3], який ґрунтується на обчисленні міри відмінності зображень. Ця міра обчислюється як значення відмінності відповідних пікселів у разі накладання зображень одне на одне.

Нехай P та Q – два прямокутні зображення по $M \times N$ пікселів кожне, p_{ij} та q_{ij} – відповідні піксели цих зображень, $p_{ij} \in P$, $q_{ij} \in Q$, $i=1,2,\dots,M$, $j=1,2,\dots,N$, $d(a,b)$ – міра відмінності пікселів a та b . Що більше значення $d(a,b)$, то більшою вважають відмінність пікселів a та b . Якщо $d(a,b)=0$, то піксели однакові, якщо $d(a,b)>0$ – різні. Тоді міру відмінності зображень P та Q обчислюють за формулою $D(P,Q) = \sum_{1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N} d(p_{ij}, q_{ij})$. Обчислювальну складність алго-

ритму попіксельного порівняння зображень оцінюють як $O(NM)$.

Іншим методом, що застосовують для опрацювання зображень, є метод порівняння зображень зі спотвореннями [4]. Для цього методу характерна нечутливість до невеликих зміщень, які можуть відбуватись в околі кожного пікселя радіуса R – параметра методу. Метод оснований на тому, що в разі накладання зображень кожний піксел порівнюють не лише з пікселем, на який він накладений, але й із сусідніми пікселями в його околі радіуса R .

Міру відмінності зображень за цим методом для околу, який має форму квадрата зі стороною R , обчислюють за формулою $\sum_{\substack{1 \leq i \leq M \\ 1 \leq j \leq N}} \min_{\substack{i-R \leq k \leq i+R \\ j-R \leq l \leq j+R}} d(p_{ij}, q_{kl})$. Тут $p_{ij} \in P$, $q_{ij} \in Q$,

$i=1,2,\dots,M, j=1,2,\dots,N$ – піксели зображень P та Q , відповідно, розмірів $M \times N$ пікселів кожне. Недоліком цього методу є те, що подібними вважають зображення, на яких змінюється чергування кольорів пікселів.

Обчислювальну складність алгоритму порівняння зображень із спотвореннями для квадратного околу пікселя оцінюють як $O(NM(2R+1)^2)$. Крім квадратного також розглядався хрестовидний окіл пікселів. Для нього міру відмінності зображень обчислювали за формулою
$$\sum_{\substack{1 \leq i \leq M \\ 1 \leq j \leq N}} \min_{-R \leq k \leq R} \min(d(p_{ij}, q_{i+k, j}), d(p_{ij}, q_{i, j+k}))$$
. Обчислювальна складність цього алгоритму має оцінку $O(NM(4R+1))$.

3. Цілі дослідження

Ефективність процедури ідентифікації жесту визначається методом побудови моделі жесту та способами обчислення функцій, з допомогою яких здійснюється оцінювання результатів розпізнавання жесту та його елементів на зображеннях. Відповідні оцінки містять ряд параметрів, підбір яких дозволяє врахувати особливості жесту, що моделюється, та налаштувати обчислювальні формули з метою отримання найвищої якості розпізнавання.

Для ідентифікації жесту в процесі обробки зображення запропоновано модель жесту, яка використовує поняття еталонного зображення, або еталону. Кожний жест може бути поданий одним або кількома еталонами. У такому випадку будь-яке зображення жесту можна вважати подібним до його еталону. Введення еталонів та створення їх бібліотеки дозволило всі жести мови жестів зобразити скінченною кількістю еталонів. У такому підході ідентифікація жесту полягає у знаходженні такого еталону, який найменше відрізняється від оброблюваного зображення. Тому вирішення задачі ідентифікації жесту полягає у побудові таких методів, які забезпечать найкраще розрізнення жесту за його еталонем. У цій статті наведено результати досліджень та вироблено рекомендації з вибору методів порівняння елементів зображення з еталонем та підбору їхніх параметрів. Практична цінність проведених досліджень полягає у розробці елементів прикладної системи автоматичного сурдоперекладу та спілкування з людьми, які мають вади слуху.

Наукова новизна проведених досліджень полягає у розробці нового методу опрацювання динамічних зображень та виборі значень параметрів, що дозволяє вирішувати задачу ідентифікації жесту за його зображенням у реальному масштабі часу.

4. Постановка задачі та її вирішення

Проілюструємо підхід, за яким здійснюватиметься ідентифікація жесту шляхом визначення форми кисті руки на кадрах відеозображення. Для цього розглянемо кадри (рис. 1), на яких виконується жест "навіщо?". На кожному кадрі кисть руки, якою зображають жест, знаходиться в певному положенні. Незважаючи на те, що всі зображення кисті руки відмінні між собою, можна зауважити, що на кадрах 1,а та 1,б зображення кисті подібні за формою. Аналогічно, подібні за формою зображення кисті на кадрах 1,в та 1,г. Тому можна виділити дві форми кисті руки під час демонстрації жесту „навіщо?” (рис. 2). Першу з них позначимо V_1 , а другу – V_2 . Тоді весь жест „навіщо?” можна зобразити певною послідовністю, наприклад $V_1V_1V_2V_2$. У цьому прикладі V_1 та V_2 назвемо основними формами, а жест є послідовністю, утвореною кількома основними формами. Для опису форми кисті використано метод еталона. Еталон – це прямокутна область, яка складається з пікселів із зображенням руки основної форми та решти пікселів, що утворюють тло та зроблені прозорими. Еталони побудовано так, що вони мають однакову висоту та ширину. Кожній з основних форм поставлено у відповідність її еталон. Отже, кожному елементу $V_i \in V$ ($i=1, 2, \dots, M$) множини форм V поставлено у відповідність еталон $e_i \in E$ з множини еталонів $E = \{e_1, e_2, \dots, e_M\}$.

Тепер усі жести жестової мови утворюють множину $V = \{V_1, V_2, \dots, V_M\}$, яка складається з M основних форм, а кожний жест можна зображати послідовністю форм, подібних до основних. Визначення форми кисті руки на кожному з кадрів вирішено як знаходження основної форми, найподібнішої до зображеної на кадрі. Це досягається обчисленням певної

числової оцінки схожості – міри подібності. Задача ідентифікації жесту ускладнена необхідністю враховувати вплив індивідуальних рис людини – кольору шкіри, форми руки, швидкості рухів тощо, та умов зйомки – освітлення, тла. Суттєве ускладнення алгоритмів викликане наявністю завад, пов'язаних із недоліками відеокамери: розмиттям зображення, неадекватністю представлення кольорів, засвітленням та затемненням частин зображення, похибками дискретизації. Специфіка задачі ідентифікації жесту по формі кисті полягає в тому, що необхідно розрізняти близько тисячі різних основних форм на частково розмитих зображеннях.



Рис. 1. Кадри із зображенням жесту „навiщо?”

Пошук за еталоном полягає у знаходженні на досліджуваному зображенні такої прямокутної області, яка серед інших прямокутних областей такого ж розміру найподібніша до одного з еталонів. Еталон, для якого така міра подібності є найбільшою, вважатимемо основною формою для досліджуваного жесту. Такий підхід дозволяє враховувати невеликі зміни форми руки, які можуть виникати внаслідок того, що жест виконується рукою, яка пересувається не обов'язково у площині, розташованій перпендикулярно до напрямку знімання відеокамерою. Природно допускати, що знімання людини відбувається однією відеокамерою, відносно якої людина може незначною мірою відхилитись або повертатись. Це спричиняє спотворення проекції руки на зображенні. Такі спотворення мають вигляд деформацій зсуву, розтягувань або стискань.

Задачу ідентифікації жесту за формою кисті інтерпретуємо як задачу класифікації. Для цього введено ознаки класів об'єктів, а розпізнавання здійснюємо наданням довільним досліджуваним об'єктам цих ознак. За таку ознаку прийнято назву жесту, а віднесення до класу виконуватимемо обчисленням певних числових характеристик зображень та оцінюванням близькості об'єктів за значеннями цих характеристик. Клас жестів фактично отримується кластеризацією множини жестів. Введені числові характеристики побудовано так, щоб задача кластеризації була вирішена коректно. Це означає, що відстань між об'єктами всередині кластера повинна бути меншою від відстані між елементами кластера та об'єктами, що йому не належать. У такій постановці задача ідентифікації жесту як задача класифікації полягає у встановленні кожному кластеру відповідного еталона.

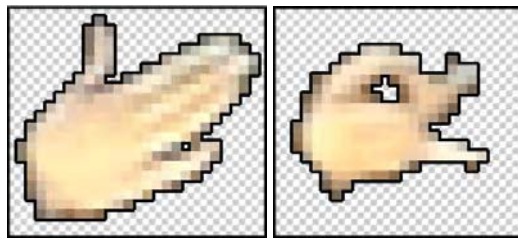


Рис. 2. Приклад еталонів для основних форм кисті руки у разі виконання жесту „навіщо?”

Пропонований метод еталона, базований на методі порівняння зображень із можливими зсувами, дозволяє порівняти два зображення, одне з яких відрізняється від іншого невеликими зсувами, стисканням або розтягненням його частин. Для цього розроблено такі алгоритми:

- seqCompare, який обчислює міру подібності послідовностей, якими є елементи зображень;
- imageCompare, який порівнює зображення;
- imageSearch, який шукає на зображенні прямокутну область, найподібнішу до еталона.

За алгоритмом seqCompare(A,B,N,F,R,D) обчислюється міра подібності двох послідовностей, яка є дійсним числом з інтервалу [0,1]. Це число є значенням функції таких аргументів: A та B – задані послідовності з N елементів кожна; F – ім'я функції, значенням якої є штраф за невідповідність кольорів порівнюваних елементів; R – штраф, з допомогою якого можна задавати ступінь впливу деформації послідовності на міру подібності; D – параметр, за значенням якого можна задати максимально допустимий зсув елемента на другому зображенні від його положення на першому із порівнюваних зображень. Останній параметр є заданим радіусом околу елемента однієї послідовності, у якому шукатимемо подібні до нього елементи іншої послідовності.

За алгоритмом imageCompare обчислюємо міру подібності двох зображень як дійсне число з інтервалу [0,1]. Нуль відповідає зображенням, які вважаємо різними, а одиниця – однаковими. Вхідними даними для цього алгоритму є прямокутні матриці однакових розмірів, елементами яких є елементи зображень. Цими елементами можуть бути один піксел, стовпець пікселів або прямокутник із пікселів. Також вхідними даними є функція для обчислення міри подібності елементів зображення, штраф за деформацію зображення та обмеження на зсув елементів, зміст та спосіб введення яких визначено у формулюванні алгоритму seqCompare. Алгоритм imageCompare оснований на алгоритмі seqCompare, у якому послідовностями, що порівнюються, є рядки однакової довжини двох зображень.

Алгоритм imageCompare здійснює пошук на кадрі певного об'єкта, для якого створено еталон. Кадром вважаємо матрицю C розмірів $M \times N$ з елементами c_{ij} , $i=1,2,\dots,M$, $j=1,2,\dots,N$, а еталоном D – матрицю розмірів $K \times L$ ($K \leq M$, $L \leq N$) з елементами d_{ij} ($i=1,2,\dots,K$, $j=1,2,\dots,L$). Елементами матриць C та D є елементи зображень на кадрі та еталона, відповідно. Елементом зображення може бути один піксел, стовпець пікселів або прямокутник пікселів. Пошук на кадрі C здійснюється скануванням по ньому еталона D. Під час такого сканування обирається частина кадра – вікно, яке зображається матрицею W розмірів $K \times L$. Елементи w_{ij} матриці W пов'язані з елементами c_{ij} матриці C рівністю $w_{ij}=c_{x+i,y+j}$, де (x,y) – координати лівого верхнього кута вікна. Вибір вікна виконується для $0 \leq x \leq M - K$, $0 \leq y \leq N - L$ з кроком S. Алгоритм imageSearch знаходить максимальне значення міри подібності, обчислене алгоритмом imageCompare, та координати (x,y) вікна, на якому цей максимум досягнуто. Запропоновані алгоритми порівняння з еталоном використовують функцію відмінності $d(a,b)$ та функцію подібності $F(a,b)$ пікселів зображень, які пов'язані між собою співвідношенням $F(a,b) = e^{-d(a,b)}$.

Порівняння піксела a зображення із пікселем b еталона виконано з використанням функцій відмінності $Dist(a,b)$ та $SqrDist(a,b)$. Ці функції визначено так:

$$Dist(a,b) = \begin{cases} |a - b|, & \text{якщо } b \text{ – непрозорий піксел еталона,} \\ 0, & \text{якщо } b \text{ – прозорий піксел еталона.} \end{cases}$$

$$\text{Sqrdist}(a, b) = \begin{cases} |a - b|^2, & \text{якщо } b \text{ – непрозорий піксел еталона,} \\ 0, & \text{якщо } b \text{ – прозорий піксел еталона.} \end{cases}$$

Порівняння піксела а зображення із пікселем b еталона виконано також з використанням функцій подібності Etalon(a,b) та TrEt(a,b). Ці функції визначено так:

$$\text{Etalon}(a, b) = \begin{cases} \min \{ 1, \max \{ 0, 1 + \alpha \cdot \beta - \beta |a - b| \} \}, & \text{якщо } b \text{ – непрозорий піксел еталона,} \\ 1, & \text{якщо } b \text{ – прозорий піксел еталона.} \end{cases}$$

$$\text{TrEt}(a, b) = \begin{cases} \min \{ 1, \max \{ 0, 1 + \alpha \cdot \beta - \beta |a - b| \} \} & \text{якщо } b \text{ – непрозорий піксел еталона,} \\ \min \{ 1, \max \{ 0, \gamma + \eta |a - \tilde{b}| \} \} & \text{якщо } b \text{ – прозорий піксел еталона.} \end{cases}$$













Тут $|a - b| = \max(|a_r - b_r|, |a_g - b_g|, |a_b - b_b|)$, а індекси r,g,b відповідають червоній, зеленій та синій компонентам в представленні піксела у просторі кольорів RGB, $r, g, b \in [0,1]$.

У функції TrEt(a,b) значенням \tilde{b} є колір найближчого до b непрозорого піксела еталона. Цю функцію подібності введено для того, щоб піксели зображення, близькі за кольором до крайніх пікселів об'єкта, не були віднесені до тла, а піксели зображення, сильно відмінні від пікселів об'єкта, не були віднесені до об'єкта.

5. Результати експериментів з ідентифікації жестів

Для експериментів із застосуванням запропонованих алгоритмів з ідентифікації жестів з підручника жестової мови відібрано 11 жестів, які виконуються однією рукою. Десять жестів є простими та можуть бути подані одним еталоном, а один – жест „навіщо?“, складається з двох частин і поданий двома еталонами. Отже, в експериментах використано дванадцять еталонів, за якими відбувалась обробка кадрів з метою ідентифікації жесту, зображеного на кожному з них (табл. 1).

Таблиця 1. Приклади жестів та їх еталонів

№ форми	Назва жесту	Еталон	№ форми	Назва жесту	Еталон
1	„чому?“		7	„перемога“	
2	„досвід“		8	„перепустка“	
3	„коли?“		9	„повідомити“	
4	„нагорода“		10	„скільки?“	
5	„навіщо?“ (фігура 1)		11	„вахтер“	
6	„навіщо?“ (фігура 2)		12	„юрист“	

Кожен жест жестової мови виконується у три стадії: перша – підготовчий рух, під час якого рука швидко переміщується в початкове положення; друга – основний рух та третя, під час якої здійснюється переміщення руки для показу наступного жесту. Для кожного жесту відібрано по одному кадру з першої та третьої стадій та три кадри з основним рухом. Таку кількість кадрів вважаємо достатньою для представлення всіх форм кисті кожного жесту. В експериментах оцінювалась якість ідентифікації жесту розпізнаванням на кадрі форми, що виконувалось за чотирма алгоритмами (табл. 2) порівнянням зображення з еталоном. В усіх алгоритмах були використані різні функції обчислення міри відмінності та подібності пікселів зображень. Для функцій подібності експериментально підібрано значення параметрів $\alpha = 0.1$ та $\beta = 0.6$. Параметр α задає межі, в яких піксели вважаються однаковими. Значення $\alpha = 0.1$ означає, що кольори, у яких значення компонент r,g,b відрізняються не більше ніж на 0.1, вважатимемо однаковими. Параметр β задає швидкість спадання подібності пікселів, у яких компоненти відрізняються більше, ніж на α . Підбір цих параметрів виконано вручну для жестів „чому?” та „скільки?” з метою найкращого відділення руки від інших елементів зображення. Вплив параметрів γ та η на результати розпізнавання досліджено на всіх зображеннях для таких пар значень ($\gamma = 0.8$; $\eta = 1$), ($\gamma = 0.85$; $\eta = 0.6$) та ($\gamma = 0.9$; $\eta = 1.7$) (табл. 3). Для алгоритму порівняння зображень із зсувами використано параметр $\Delta = 1$ та штраф за деформацію $R = 0.98$, який дав найкращі результати та був підібраний вручну на жестах „чому?” та „скільки?”.

Таблиця 2. Параметри методів порівняння зображень з еталоном

№ п/п	Метод порівнянь зображень з еталоном	Параметри методу		
		Окіл	Δ	R
1	Із зсувами	–	1,0	0,98
2	Із спотвореннями	Квадратний	–	1,0
3	Із спотвореннями	Хрестовидний	–	1,0
4	Попіксельний	–	–	–

В експериментах використаний зсув вікна по кадру з кроком $S=1$ та $S=2$. Для алгоритму порівняння з еталоном із зсувами отримано однакові результати як для кроку $S=1$, так і для кроку $S=2$, але час виконання для $S=1$ виявився приблизно у чотири рази більшим. Тому для цього алгоритму наведені результати лише для кроку $S=2$. В алгоритмі порівняння зображень із спотвореннями отримано результати у разі використання для кожного пікселя оточів радіуса $R=1$ як квадратної, так і хрестовидної форми.

Таблиця 3. Параметри функції порівняння пікселів

Функція порівняння пікселів	Параметри			
	α	β	γ	η
Etalon	0,1	0,6	–	–
TrEt-1	0,1	0,6	0,8	1,0
TrEt-2	0,1	0,6	0,85	0,6
TrEt-3	0,1	0,6	0,9	1,7

Проведено дві групи експериментів. У першій з них вважалось наперед невідомим місце, в якому знаходиться зображення кисті руки на кадрі. Мета експериментів полягала у знаходженні зображення кисті руки на кадрі та ідентифікації жесту за її формою. Кадри, на яких здійснювався пошук, мали розмір 176 x 208 пікселів. Усього для експерименту обрано 60 кадрів – по 5 кадрів на кожен із 12 жестів. У табл. 4 наведено відсоток правильно розпізнаних зображень для першої групи експериментів. Жирним шрифтом позначено найкращі результати.

З отриманих результатів можна зробити висновок, що найвищий відсоток правильно розпізнаних зображень показали метод порівняння зображення з еталоном із зсувами та метод порівняння із спотвореннями та хрестовидним оточом піксела. Такі результати отримано для всіх функцій подібності та лише для функції відмінності SqrDist. У табл.5

наведено середній час (у секундах) розпізнавання одного зображення методами, результати застосування яких містить табл. 4.

Таблиця 4. Відсоток правильно ідентифікованих жестів у повному кадрі

Метод порівняння з еталоном	S	Функції порівняння пікселів					
		Dist	SqrDist	Etalon	TrEt-1	TrEt-2	TrEt-3
Із зсувами	2	60.0	66.7	65.0	66.7	68.3	65.0
Із спотвореннями, хрестовидний окіл	1	48.3	61.7	66.7	61.7	61.7	63.3
	2	30.0	51.7	55.0	58.3	56.7	53.3
Із спотвореннями, квадратний окіл	1	23.3	40.0	26.7	55.0	60.0	23.3
	2	20.0	36.7	20.0	58.3	58.3	23.3
Попіксельний	1	51.7	53.3	53.3	51.7	58.3	55.0
	2	41.7	40.0	41.7	33.3	41.7	38.3

В експериментах другої групи зображення кисті знаходились у квадратному вікні розмірів 30 x 30 пікселів, а задача полягала лише в ідентифікації жесту. В обох групах експериментів пошук здійснювався за допомогою еталона розмірів 26 x 24 або 24 x 26 пікселів. Перелік жестів та еталонів наведено в табл.1.

Результати експериментів другої групи наведено у табл. 6. Ця таблиця містить відсоток правильно ідентифікованих форм кисті руки для 60 прикладів. Жирним шрифтом позначено найкращі результати. У табл.7 наведено середній час (у секундах) ідентифікації одного зображення кисті руки у другій групі експериментів.

Таблиця 5. Час роботи алгоритмів з повним кадром, с

Метод порівняння з еталоном	S	Функції порівняння пікселів					
		Dist	SqrDist	Etalon	TrEt-1	TrEt-2	TrEt-3
Із зсувами	2	21.3	19.8	21.7	38.5	38.6	38.1
Із спотвореннями, хрестовидний окіл	1	29.7	34.9	33.8	70.9	71.3	70.1
	2	7.4	8.7	8.5	17.8	17.9	17.5
Із спотвореннями, квадратний окіл	1	47.7	56.8	54.7	121.4	122.0	119.9
	2	11.9	14.1	13.7	30.4	30.5	30.0
Попіксельний	1	5.8	5.7	6.2	13.6	13.6	13.5
	2	1.5	1.4	1.6	3.4	3.4	3.4

Найкращі результати ідентифікації жестів у першій групі експериментів отримано у разі використання таких методів порівняння та функцій подібності: порівняння із зсувами з функцією TrEt-2 (див.табл. 3) та порівняння із спотвореннями і хрестовидним оком та функцією подібності Etalon.

Таблиця 6. Відсоток правильно ідентифікованих жестів за частиною кадра

Метод порівняння з еталоном	S	Функції порівняння пікселів					
		Dist	SqrDist	Etalon	TrEt-1	TrEt-2	TrEt-3
Із зсувами	2	78.3	90.0	90.0	76.7	78.3	91.7
Із спотвореннями, хрестовидний окіл	1	68.3	83.3	81.7	56.7	60.0	83.3
	2	66.7	81.7	80.0	58.3	56.7	81.7
Із спотвореннями, квадратний окіл	1	53.3	73.3	68.3	55.0	55.0	66.7
	2	56.7	73.3	66.7	56.7	56.7	63.3
Попіксельний	1	75.0	86.7	85.0	71.7	78.3	85.0
	2	68.3	83.3	81.7	70.0	70.0	78.3

Ці методи разом з їхніми параметри назвемо кращими. Кращі методи були застосовані для ідентифікації усіх жестів, еталони форми кисті яких наведено у табл. 1. Проведено експерименти з ідентифікації п'яти кадрів за кожним еталоном із зображенням кисті.

Лише на п'яти таких кадрах не була правильно ідентифікована кисть руки жодним з методів. Ці кадри наведено у табл. 8. Їх аналіз показав, що для жесту „перепустка” еталон підготовлено неякісно (на еталоні відрізано частину зображення великого пальця), а для жестів „коли?” та „навіщо?” необхідно побудувати додаткові еталони. На решті кадрів кисть була правильно ідентифікована принаймні одним з кращих методів. Це дозволяє припустити, що можна побудувати уніфікований метод, який правильно ідентифікуватиме усі ці кадри.

Таблиця 7. Час роботи алгоритмів над частиною кадра, с


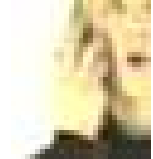

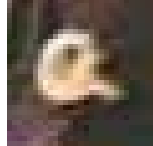

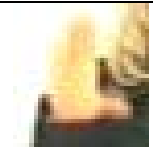

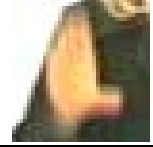

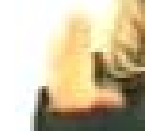
Метод порівняння з еталоном	S	Функції порівняння пікселів					
		Dist	SqrDist	Etalon	TrEt-1	TrEt-2	TrEt-3
Із зсувами	2	0.093	0.088	0.096	0.158	0.158	0.157
Із спотвореннями, хрестовидний окіл	1	0.112	0.125	0.116	0.263	0.261	0.259
	2	0.035	0.039	0.036	0.075	0.075	0.074
Із спотвореннями, квадратний окіл	1	0.167	0.200	0.180	0.443	0.444	0.439
	2	0.050	0.058	0.053	0.121	0.122	0.120
Попіксельний	1	0.031	0.031	0.031	0.060	0.061	0.060
	2	0.014	0.015	0.014	0.022	0.022	0.022

6. Висновки

Наведені результати вирішення однієї із задач, пов'язаної із ідентифікацією жесту, вимагають додаткового аналізу. Вимога ефективності алгоритмів та вирішення задач розпізнавання за якомога коротший проміжок часу була постійно присутня у постановці задачі та врахована у формулюваннях відповідних алгоритмів. Зображення, для опрацювання яких розроблено та досліджено методи, мають специфічні дефекти, пов'язані із особливостями відеоапаратури, спотворенням кольорів у процесі виконання жесту внаслідок особливостей освітлення, зміною вигляду руки на зображенні під час виконання жесту та іншими особливостями. Врахування вказаної специфіки у розроблених алгоритмах дозволило підвищити якість результатів розпізнавання. Проведені дослідження продемонстрували можливість досягнення високої швидкості розпізнавання елементів жесту на відеозображеннях реального часу. Це підтвердило можливість створення на цій основі прикладних систем автоматичного сурдоперекладу та спеціалізованих тренажерів для навчання жестовій мові.

Список літератури: 1. Davydov M., Nikolski I., Pasichnyk O. System of Finger Movement Identification for Sign Language Recognition // Abstracts of First Central European Student Conference in Linguistics (CESCL1), 29-31 May 2006, Budapest, Hungary. P.23-25. 2. Давидов М.В., Нікольський Ю.В. Класифікація елементів відеозображень реального часу з допомогою ней-

Таблиця 8. Неправильно ідентифіковані кадри

Жест	№ кадра	Еталон	Зображення
3	4		
6	2		
8	1		
	3		
	4		

ромережі // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" / Інформаційні системи та мережі. Львів. 2005. №549. С.82-92. 3. *Sánchez-Nielsen E., Antun-Canalns L., Hernández-Tejera M.* Hand Gesture Recognition for Human-Machine Interaction // Journal of WSCG. Vol.12. No.1-3. ISSN 1213-6972. – WSCG'2004, February 2-6, 2003. Plzen, Czech Republic. 4. *Dreuw P., Keysers D., Deselaers T., Ney H.* Gesture Recognition Using Image Comparison Methods. GW05 (124-128). 2005.

Надійшла до редколегії 23.05.2007

Давидов Максим Володимирович, аспірант кафедри „Інформаційні системи та мережі”, Інститут комп’ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету „Львівська політехніка”. Наукові інтереси: обробка зображень, штучний інтелект, тривимірна візуалізація. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. моб. 8 (067) 9464093, e-mail: maksim_davydov@pochta.ru.

Нікольський Юрій Володимирович, канд. фіз.-мат. наук, доцент кафедри „Інформаційні системи та мережі”, Інститут комп’ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету „Львівська політехніка”. Наукові інтереси: математичне моделювання та обчислювальні методи, штучний інтелект, аналітична обробка інформації, Data Mining and Knowledge Discovery, дискретна математика. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. дом. (032)2370440, тел. роб. (032)2582538, e-mail: y_nikol@yahoo.com

Пасічник Володимир Володимирович, д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри „Інформаційні системи та мережі”, Інститут комп’ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету „Львівська політехніка”. Наукові інтереси: експертні системи, бази та банки даних, реляційні бази даних, дискретна математика. Адреса: Україна, 79013, Львів, вул. С. Бандери, 12, тел. дом. (032)2378971, тел. роб. (032)2582538, e-mail: vras@astra.lviv.ua.

УДК 004:681.5

І.С. ЯСЕНОВА

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕХНОЛОГІЇ ФОРМУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО ПЛАНУ ВІДПОВІДНО ДО КРЕДИТНО- МОДУЛЬНОЇ СИСТЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНОГО ПРОЦЕСУ

Визначається специфіка формування навчальних планів відповідно до умов кредитно-модульної системи організації навчального процесу. Формулюється задача генерації навчального плану. Розроблена математична модель інформаційної технології формування навчальних планів з урахуванням вимог ECTS. Вводяться обмеження, що накладаються на розміщення модулів дисциплін у часі та забезпечення вимог Міністерства освіти і науки України.

Вступ. Проголошення Україною наміру вступу в ЄС та приєднання до Болонського процесу вимагає внесення змін у національну систему освіти задля інтеграції до єдиного європейського простору вищої освіти до 2010 року. Оскільки забезпечення якості освіти є визначальним завданням Болонського процесу, необхідно говорити про термінове внесення якісних змін в навчальний процес вищого навчального закладу (ВНЗ). Відомо, що однією з умов входження України до світового простору є адаптація існуючої в Україні системи вищої освіти до вимог, які передбачені Європейською кредитно-трансферною системою (ECTS).

Останнім часом виконано чимало досліджень з питань удосконалення навчального процесу, зокрема, створення автоматизованих систем контролю знань [1-3], систем контролю якості навчального процесу [4-6], розвитку ВНЗ [7]. Значна увага приділяється визначенню особливостей управління ВНЗ, аналізу умов їх функціонування, визначенню управлінських функцій тощо. Однак деякі аспекти управління навчальним процесом, зокрема ті, що стосуються формування графіка навчального процесу, який визначається навчальним планом [8], не відображено в публікаціях або висвітлено недостатньо.

Існує потреба в створенні інформаційних систем та технологій, які б дали змогу швидко та оперативно формувати навчальний план. Це питання є передусім актуальним у зв’язку з впровадженням кредитно-модульної системи організації навчального процесу (КМСОНП)

у вищому навчальному закладі та необхідністю розробки навчально-методичного забезпечення підготовки фахівців за цією системою, зокрема, навчальних планів підготовки фахівців з урахуванням вимог ECTS [9].

Недостатня дослідженість проблеми, її актуальність обумовлюють необхідність розроблення та впровадження нових технологій формування навчальних планів у ВНЗ.

Мета та задачі дослідження. З огляду на доцільність розроблення та впровадження нових підходів до процесу формування навчальних планів, зокрема на створення інформаційних систем та технологій, постає мета: розробити математичну модель технології формування навчальних планів з урахуванням вимог ECTS, що виступає основою для створення програмно-інформаційних засобів генерації і моделювання навчальних планів ВНЗ. Постають задачі дослідження: сформулювати формалізоване представлення елементів навчального плану, сформулювати задачу генерації навчальних планів, визначити цільову функцію і обмеження математичної моделі технології формування навчального плану відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу ВНЗ.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше запропоновано математичну модель технології формування навчального плану, яка враховує специфіку планування навчального процесу ВНЗ в умовах кредитно-модульної системи та базується на розроблених автором поняттях модуль-предок, модуль-нащадок, резерв часу, "последовне розміщення модулів", "паралельне розміщення модулів".

Практична цінність одержаних результатів полягає в тому, що запропонована математична модель є основою для розробки програмно-інформаційних засобів генерації і моделювання навчальних планів, формування навчального навантаження викладачів та студентів, які забезпечать ефективне управління навчальним процесом.

Основний матеріал досліджень

1. Формалізоване представлення навчального плану та його елементів

Нормативним документом, який визначає перелік та обсяг нормативних і вибіркових навчальних дисциплін, а також послідовність їх визначення, є навчальний план спеціальності. Фактично навчальний план заданої спеціальності N представляє собою множину дисциплін, які вивчаються на даній спеціальності:

$$N = \{D_1, \dots, D_i, \dots, D_n\},$$

де N – навчальний план спеціальності; D_i – i -та дисципліна навчального плану N ; n – кількість дисциплін, що входять до навчального плану N .

Кожна дисципліна в свою чергу представлена множиною навчальних модулів:

$$D_i = \{M_{i1}, \dots, M_{ij}, \dots, M_{im_i}\},$$

тут M_{ij} – j -й модуль дисципліни D_i ; m_i – кількість модулів, що входять до дисципліни D_i .

Будь-який модуль M_{ij} може бути представлений кортежем числових параметрів:

$$M_{ij} = \langle x_{ij}^1, x_{ij}^2, x_{ij}^3, x_{ij}^4, x_{ij}^5, x_{ij}^6, x_{ij}^7 \rangle, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m_i},$$

де x_{ij}^1 – початок вивчення модуля (задається як номер тижня); x_{ij}^2 – кінець вивчення модуля (задається як номер тижня); x_{ij}^3 – обсяг лекційних занять; x_{ij}^4 – обсяг практичних занять; x_{ij}^5 – обсяг лабораторних занять; x_{ij}^6 – обсяг індивідуальної роботи студента; x_{ij}^7 – обсяг самостійної роботи студента.

2. Визначення навчального навантаження студентів за видами навчальної діяльності

Навчальне навантаження визначається за видами навчальної діяльності студента, яка проходить як з викладачем, так і самостійно. В рамках роботи з викладачем розрізняють аудиторну та індивідуальну роботу. Лекції, практичні, лабораторні (семінарські) заняття відбуваються в межах аудиторного навантаження. Дерево видів навчальної діяльності студента представлено на рис. 1.



Рис. 1. Дерево видів навчальної діяльності студента

Аудиторне навантаження визначається як сума обсягів лекційних, практичних та лабораторних занять:

$$x_{ij}^{\text{ауд}} = \sum_{k=3}^5 x_{ij}^k.$$

Обсяг роботи студента з викладачем становить суму обсягів аудиторної та індивідуальної роботи:

$$x_{ij}^{\text{викл}} = x_{ij}^6 + x_{ij}^{\text{ауд}}.$$

Загальний обсяг навантаження студента є сумою обсягів навчальних занять та самостійної роботи:

$$x_{ij}^{\text{заг}} = x_{ij}^{\text{викл}} + x_{ij}^7.$$

3. Визначення понять модуль-нащадок, модуль-предок та резерв часу

Структурно-логічна схема підготовки фахівців задає послідовність вивчення дисциплін [10]. Логічне слідування дисциплін позначається міжмодульними зв'язками, тобто модулі дисципліни можуть використовувати матеріал, який викладався в модулях попередньої дисципліни. Модуль $M_{i'p}$, який використовує інформацію з модуля M_{ir} , є модулем-нащадком, а модуль M_{ir} – модулем-предком. Якщо $i=i'$, то модулі належать спільній дисципліні.

Зв'язок між модулями є предикатом, тобто:

$$z(M_{ir}, M_{i'p}) = \begin{cases} 1, & \text{зв'язок між модулями наявний} \\ 0, & \text{зв'язок між модулями відсутній} \end{cases}.$$

Тоді, навчальний план спеціальності представляє собою кортеж дисциплін, модулів та зв'язків між модулями:

$$N = \langle D, M, Z \rangle.$$

При формуванні навчального плану модулі мають бути організовані таким чином, щоб модуль-нащадок був розташований у часі після вивчення всіх модулів-предків. Таке розміщення модулів будемо називати послідовним.

Під паралельним розміщенням модулів будемо розуміти їх одночасне вивчення. На рис. 2 представлена дисципліна А, яка має модуль А, та дисципліна В, яка включає модулі B_1 і B_2 . Розміщення в часі модулів А та B_1 є паралельним, модулів B_1 та B_2 – послідовним. Якщо між модулями наявний зв'язок, то вони завжди розміщуються послідовно.

Якщо для двох послідовно розміщених модулів, один з яких, $M_{i'p}$, є модулем-нащадком, а інший, M_{ir} , модулем-предком, виконується умова:

$$x_{i'p}^1 - x_{ir}^2 = R_{ir}^{i'p}, \text{ де } R_{ir}^{i'p} > 0,$$

то модуль M_{ir} має резерв часу, рівний величині R_{ir} :

$$R_{ir} = \min_{z(M_{ir}, M_{i'p})=1} (R_{ir}^{i'p}) - 1.$$

Під резервом часу R_{ir} модуля g і-ї дисципліни будемо розуміти зону можливого зміщення у часі, такого, що не призводить до зміщення модуля-нащадка. На рис. 2 проміжок 2-3 по вісі чвертей є резервом часу для модуля B_1 .

Множина послідовно розміщених модулів, резерв часу кожного з яких рівний нулю, визначає тривалість навчального плану. Таку множину будемо називати критичним шляхом, а модулі, що належать даній множині, критичними модулями, тобто тривалість навчального плану визначається критичним шляхом.

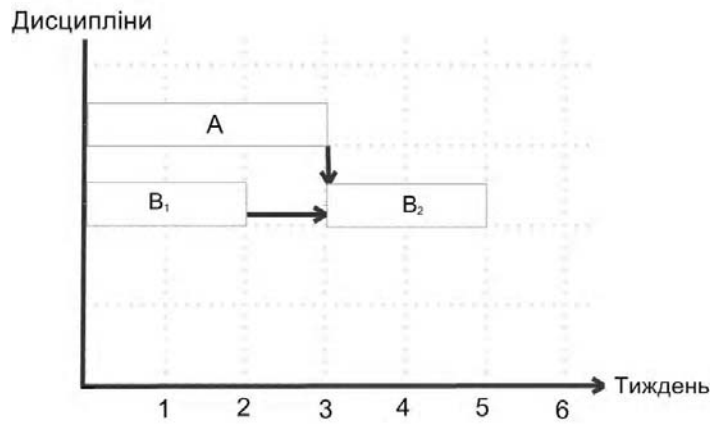


Рис. 2. Розміщення модулів у часі

4. Задача генерації навчального плану

Задача генерації навчального плану полягає у формуванні плану фіксованого обсягу з таким розміщенням модулів, щоб обсяг навантаження студента і викладача по тижнях був рівномірний і не перевищував задані Міністерством освіти і науки України межі.

Прийmemo $y_{ij}^{зар}(t)$ – обсяг загального навантаження модуля M_{ij} в тиждень t ; $y_{ij}^{ауд}(t)$ – обсяг аудиторного навантаження модуля M_{ij} в тиждень t . Тоді цільова функція:

$$\sum_{t=1}^{t_{max}} \left| \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{зар}(t) \right) - \frac{\sum_{t=1}^{t_{max}} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{зар}(t)}{t_{max}} \right| + \max_t \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{зар}(t) \right) - \min_t \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{зар}(t) \right) \rightarrow \min$$

при обмеженнях:

1. Загальне навантаження на студента (в тиждень) не повинне перевищувати заданої Міністерством освіти і науки норми $t_{max}^{зар}$ – навчального часу студента, тривалістю не більше 54 академічних годин [10]:

$$\forall t \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{зар}(t) \leq t_{max}^{зар}.$$

2. Аудиторне навантаження на студента (в тиждень) не повинне перевищувати заданої Міністерством освіти і науки норми $t_{max}^{ауд}$:

$$\forall t \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^{m_i} y_{ij}^{ауд}(t) \leq t_{max}^{ауд}.$$

При цьому обсяг аудиторної роботи не повинен перевищувати 50 відсотків залікового кредиту [9]:

$$\forall i \left[\sum_{j=1}^m x_{ij}^{ауд} \leq 0.5kE \right],$$

де E – заліковий кредит ECTS. Ціна кредиту ECTS складає 36 академічних годин [12]; k – кількість залікових кредитів, що містить дисципліна i .

Орієнтовні обсяги самостійної та індивідуальної роботи можуть становити до 25 відсотків [9]:

$$\forall i \left[\sum_{j=1}^m x_{ij}^6 \leq 0.25kE \right]; \forall i \left[\sum_{j=1}^m x_{ij}^7 \leq 0.25kE \right].$$

Навчальне навантаження студента на один навчальний рік становить не менше 60 залікових кредитів ECTS [11], відповідно на семестр – 0,5 від кількості залікових кредитів ECTS, що встановлені на навчальний рік:

$$\forall S [\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij}^{zar} \geq 0.5k_{рiчн} E], S = \{t_p^S \wedge t_k^S\},$$

де $k_{рiчн}$ – кількість залікових кредитів, що встановлені на навчальний рік; S – семестр; t_p^S – номер тижня, в якому семестр починається; t_k^S – номер тижня, в якому семестр закінчується.

3. Навчальний процес здійснюється протягом терміну навчання, визначеного стандартом вищої освіти [10]. Таким чином, тривалість навчального плану обмежена терміном навчання. Введемо обмеження, що час закінчення виконання будь-якого модуля повинен дорівнювати встановленому терміну навчання у ВНЗ:

$$\max_{ij}(x_{ij}^2) = t_N,$$

де t_N – задана кількість тижнів навчального плану N .

4. Структурно-логічна схема задає зв'язки між модулями типу «закінчення-початок», при наявності якого модулі розміщуються послідовно. Послідовне розміщення модулів, що належать різним дисциплінам, накладає обмеження:

$$\forall i, r, j, p : z(M_{ir}, M_{jp}) = 1 \rightarrow R_{ir}^{jp} > 0.$$

Можливе одночасне вивчення кількох модулів однієї дисципліни (рис.3). Наприклад, курсовий проект є окремим модулем, і виконується паралельно з іншими модулями дисципліни.

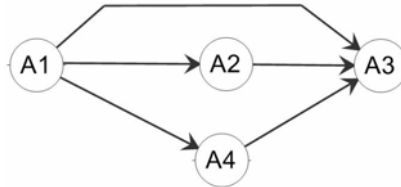


Рис. 3. Допустиме розміщення модулів дисципліни

Вивчення будь-якої дисципліни, тривалість якої більша за одну чверть, має відбуватися безперервно, тобто кожен модуль $j > 1$, який належить i -й дисципліні і не відповідає виконанню курсової роботи/проекту, повинен мати зв'язок і параметри:

$$\forall i, j > 1, k = j - 1 : z(M_{ik}, M_{ij}) = 1;$$

$$\forall i, j > 1, k = j - 1 : x_{ij}^1 - x_{ik}^2 = 1.$$

Дисципліна може тривати кілька чвертей, однак модуль не може виходити за межі чверті, тобто його початок і завершення мають знаходитись в межах певної чверті:

$$\forall i \forall j \exists c (t_p^C \leq x_{ij}^1 \wedge t_k^C \geq x_{ij}^2),$$

де t_p^C – час початку чверті C (номер тижня); t_k^C – час завершення чверті C (номер тижня).

5. З конкретної навчальної дисципліни на окремих завершених етапах навчання проводиться підсумковий контроль [10]. Його форму визначає навчальний план: іспит, залік. Кількість контрольних заходів на семестр є обмеженою:

$$\forall S k_S^{k3} \leq K^{k3},$$

тут k_S^{k3} – кількість контрольних заходів у семестрі S ; K^{k3} – обмеження в кількості контрольних заходів на семестр.

6. Регламентується кількість курсових робіт/проектів на семестр:

$$\forall S k_S^{kp} \leq K^{kp},$$

де k_S^{kp} – кількість курсових робіт і проектів у семестрі S ; K^{kp} – обмеження в кількості курсових робіт і проектів на семестр.

Як зазначалося вище, наявна в плані курсова робота чи курсовий проект є окремим модулем, який виконується в рамках дисципліни. Це означає, що даний вид роботи, як

окремий модуль M_{ij} дисципліни D_i , може бути розміщеним паралельно до решти модулів цієї дисципліни:

$$\forall i, j \exists k, l (x_{ik}^1 \leq x_{ij}^1) \wedge (x_{il}^2 \geq x_{ij}^2),$$

де x_{ij}^1 – номер тижня початку виконання курсового проекту/роботи; x_{ij}^2 – номер тижня завершення виконання курсового проекту/роботи.

Висновки. З огляду на доцільність розробки та впровадження нових підходів до процесу формування навчальних планів, зокрема на створення інформаційних систем та технологій формування навчальних планів, було визначено специфіку формування навчальних планів відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу. Встановлено, що навчальний план, який відповідає умовам ECTS, є множиною дисциплін, модулів та зв'язків між ними. Введено кортеж параметрів, які визначають модуль. Введені поняття *модуль-предок* та *модуль-нащадок*, які вказують на використання навчального матеріалу модуля-предка у модулі-нащадку. Визначено два типи розміщення модулів у часі відносно одне одного: послідовне і паралельне. Введено поняття *резерву часу модуля* та визначено, що множина послідовно розміщених модулів, резерв часу кожного з яких рівний нулю, визначає тривалість навчального плану.

Сформульовано задачу генерації навчального плану, яка полягає у формуванні плану фіксованого обсягу, з таким розміщенням модулів, щоб навантаження на студента було рівномірним. Розроблено математичну модель інформаційної технології формування навчальних планів з урахуванням вимог ECTS. Визначено обмеження, що накладаються на розміщення модулів дисциплін у часі та забезпечення вимог Міністерства освіти і науки України.

Розроблена математична модель є основою для розробки програмно-інформаційних засобів генерації і моделювання навчальних планів, формування навчального навантаження викладачів та студентів у відповідності з введеною цільовою функцією. Такий підхід дозволить ефективно автоматизувати управління навчальним процесом у вищих навчальних закладах.

Список літератури: 1. Катаєва Є.Ю. Інформаційна технологія автоматизованого навчання та контролю знань в управлінні навчальним процесом: Автореф. дис. ... к.т.н.: 05.13.06 / Черкас. держ. технол. ун-т. Черкаси, 2004. 18 с. 2. Коджа Т.І. Автоматизована система управління та контролю знань в процесі навчання: Автореф. дис. ... к.т.н.: 05.13.06 / Одеський національний політехнічний ун-т. Одеса, 2003. 3. Яковенко О.Є. Моделі та методи контролю знань в автоматизованій системі управління навчальним процесом: дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Одеський національний політехнічний ун-т. Одеса, 2006. 4. Антоник М.С. Інформаційна технологія побудови автоматизованої системи управління навчальним процесом: Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Державний комітет зв'язку та інформатизації України; НАН України; Державний НДІ інформаційної інфраструктури. Львів, 2005. 20с. 5. Рубін Е.Ю. Моделі, методи та технології оцінювання якості процесу освіти на основі інформаційних показників: дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". Харків, 2005. 6. Серкова Л.Є. Інформаційна технологія моніторингу організації навчального процесу вищого навчального закладу: дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Черкаський держ. технологічний ун-т. Черкаси, 2006. 7. Гамлуш Я.Н. Моделі та інформаційна технологія управління розвитком вищого навчального закладу: дис... канд. техн. наук: 05.13.06 / Національний технічний ун-т "Харківський політехнічний ін-т". Харків, 2006. 8. Дослідження нормативів та управління розрахунками навчального навантаження у вищому закладі освіти / В. Поліщук, Ю. Тесля, Ю. Триус, К. Левківський // Вища шк. 2006. N 1. С. 35-52. 9. Рекомендації щодо структури залікового кредиту та порядку оцінювання навчальних досягнень студентів. Затверджено наказом МОН України від 30.12.2005 р. № 774 "Про впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу". 10. Положення про організацію навчального процесу у вищих навчальних закладах. Затверджено наказом Міністерства освіти України від 2.06.1993 р. № 161. 11. Тимчасове положення про організацію навчального процесу в кредитно-модульній системі підготовки фахівців. Затверджено наказом Міністерства освіти і науки України від 23.01.2004 р. № 48 "Про проведення педагогічного експерименту з кредитно-модульної системи організації навчального процесу". 12. Наказ Міністерства освіти і науки України від 20.10.2004 р. № 812 "Про особливості впровадження кредитно-модульної системи організації навчального процесу".

Надійшла до редколегії 23.05.2007

Ясенова Ірина Сергіївна, аспірантка кафедри інформаційних технологій, Київський національний університет будівництва і архітектури. Адреса: Україна, Київ, пр. Повітрофлотський, 31, тел. 8(044)4318505.

АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ТЕОРИИ РАСПИСАНИЙ НА ОСНОВЕ ПРОГНОЗА. ЧАСТЬ 1

Описывается постановка общей задачи теории расписаний, математическая модель, представленная в терминах теории графов, а также основные характеристики погрешностей алгоритмов, решающих задачу.

1. Постановка задачи

Рассмотрим приближенный алгоритм решения общей задачи теории расписаний, использующий прогноз качества решения задачи. Приведем постановку задачи и математическую модель с двумя разновидностями алгоритма: с одношаговым прогнозом и с прогнозом в два шага.

Представим задачу составления расписания производства в традиционной постановке. В некоторый момент времени $t = 0$ на вход производственной системы – цех механообработки деталей или участок их обработки, включающий m единиц оборудования – станков и обрабатывающих центров, которые образуют конечное множество машин $Q = \{1, 2, \dots, q, \dots, m\}$, на обработку поступает n заготовок, полуфабрикатов, деталей, образующих конечное множество предметов $I = \{1, 2, \dots, i, \dots, n\}$. Обработка каждого предмета $i \in I$ состоит в выполнении машинами из множества Q конечной строго упорядоченной последовательности операций $I_i = (iq_1, iq_2, \dots, iq_j, \dots, iq_{j_i})$, соответствующей технологии обработки этого предмета. Операция $iq_j \in I_i$ выполняется машиной $q \in Q$ за конечное время $t_{iq_j} > 0$ без прерывания и может начаться только после полного завершения непосредственно предшествующей ей операции $iq_{j-1} \in I_i$. Каждая машина $q \in Q$ одновременно может выполнять только одну операцию.

В описанной системе любая машина $q \in Q$ выполняет некоторый набор операций I_q так, что все их множество $\bigcup_{q \in Q} I_q = I = \bigcup_{i \in I} I_i$. Поэтому естественным является требование: для каждого набора операций I_q найти порядок их выполнения P_q такой, чтобы в совокупности все порядки $\bigcup_{q \in Q} P_q$ оптимизировали некоторый критерий выполнения работ I . В общей задаче в качестве критерия рассматривается полное время выполнения всех операций предметов $\bigcup_{i \in I} I_i$ и предъявляется требование минимизировать это время. Таким образом, необходимо найти такие порядки выполнения операций на каждой машине $q \in Q$, которые бы позволяли выполнить обработку всех предметов I за минимальное время.

В свою очередь количество порядков обработки набора операций I_q , $q \in Q$ определяется количеством перестановок этих операций и равно $|I_q|!$. Поэтому общее количество совокупностей порядков определяется по выражению $\prod_{q=1}^m |I_q|!$. Среди этих наборов совокупностей есть такие, которые не позволяют составить расписание [1, 2]. Они называются недопустимыми. В результате выражение $\prod_{q=1}^m |I_q|!$ является лишь верхней границей возможного выбора наборов обработки предметов.

2. Формализация

Опишем задачу на языке орграфов. Для этого каждую линейно-упорядоченную последовательность операций $I_i = (iq_1, \dots, iq_j, \dots, iq_{j_i})$, $i \in I$ представим последовательным графом $G_i = (I_i, V_i, W_i)$ с множеством вершин I_i , дуг V_i и функцией $W_i: I_i \rightarrow R^+$, где R^+ – множество действительных положительных чисел. В этом графе каждая вершина iq_j

соответствует одной и только одной операции iq_j предмета $i \in I$, каждая пара вершин $(iq_j, iq_{j+1}) \subset I_i$, $j=1, 2, \dots, j_{i-1}$, соединяется дугой $v_{ij} \in V_i$, которая исходит из вершины iq_j и заходит в вершину iq_{j+1} , функция W_i задана как $W_i(iq_j) = t_{iq_j}$, т.е. определяет времена выполнения операций последовательности $I_i = (iq_1, \dots, iq_j, \dots, iq_{j_i})$. Объединив графы G_i , $i \in I$ в граф G_I , получим, что этот ациклический граф $G_I = \bigcup_{i \in I} G_i = (I_I, V_I, W_I)$ с множеством вершин $I_I = \bigcup_{i \in I} I_i$, дуг $V_I = \bigcup_{i \in I} V_i$ и функцией $W_I: I_I \rightarrow \mathbb{R}^+$ будет представлять исходные данные задачи.

Множество вершин I_I пополним вершинами i_S, i_F и положим $W(i_S) = W(i_F) = 0$. Вершину i_S соединим исходящими дугами V_S , направленными к вершинам графов G_i , имеющих в G_I нулевую полустепень захода. Вершины графов G_i , имеющие в G_I нулевую полустепень исхода, соединим с вершиной i_F дугами V_F , направленными к этой вершине. В результате получим технологическую сеть $G_T = (I_I, i_S, i_F, V_T, W_T)$, $V_T = V_I \cup V_S \cup V_F$, $W_T: V_T \rightarrow \mathbb{R}^+ \cup \{0\}$ с истоком i_S и стоком i_F . Длина максимального (критического) пути на этой сети из вершины i_S в вершину i_F определяется по выражению $L_T = \max\{L_i\}$, где $L_i = \sum_{j=1}^{j_i} t_{iq_j}$, $i=1, 2, \dots, n$ – время обработки i -го предмета без задержек при выполнении всех его операций. Для некоторой произвольно выбранной задачи технологическая сеть изображена на рис. 1.

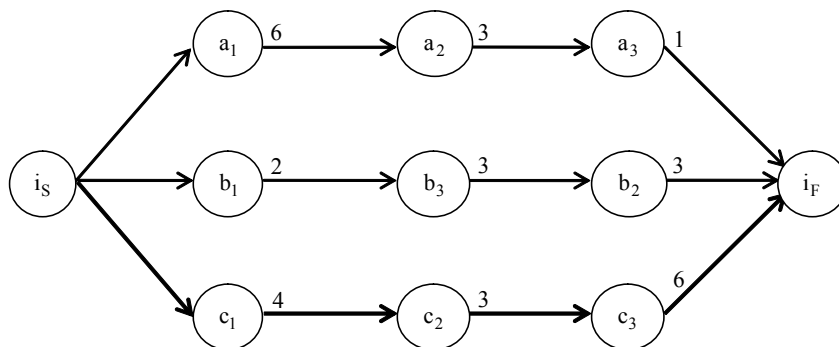


Рис. 1. Технологическая сеть G_T

Шифровка вершин графа G_T произведена буквенно-цифровым способом. Буква – это название предмета, числовой индекс – номер машины, выполняющей очередную операцию по обработке этого предмета. У вершин графа над дугами указаны их веса – длительности соответствующих операций обработки предметов. Критический путь на графе отмечен жирными линиями. Длина этого пути $L_T = \max(10, 8, 13) = 13$.

Пусть $I_q \subset I_I$, $q=1, 2, \dots, m$ – множества вершин графа G_T , соответствующие множествам операций I_q , $q=1, 2, \dots, m$, выполняемых m машинами. Возможные порядки выполнения операций машинами $q=1, 2, \dots, m$ на графе G_T отобразим множествами V_q , $q=1, 2, \dots, m$ дополнительных дуг. Эти дуги связывают вершины каждого множества I_q так, что для любой пары вершин $(iq_j, iq_i) \subset I_q$ дуга $v_{ji} \in V_q$ исходит из вершины iq_j и заходит в вершину iq_i тогда и только тогда, когда операция, отображаемая вершиной iq_j , непосредственно предшествует операции, отображаемой вершиной iq_i . В результате получим граф $G = (I_I, i_S, i_F, V, W_T)$, $V = V_T \cup V_m$, $V_m = \bigcup_{q=1}^m V_q$ с дугами порядков V . Для одного набора порядков выполнения операций на машинах такой граф изображен на рис. 2. Дополнительные дуги V графа G_T показаны штриховыми линиями.

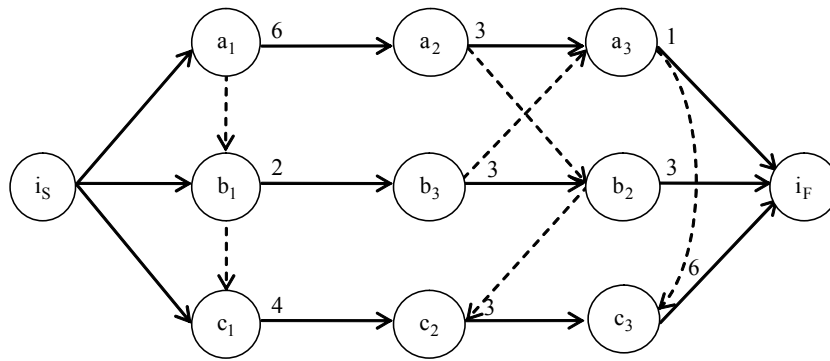


Рис. 2. Граф G с дугами порядков

Если полученный описанным способом граф G окажется ациклическим, то на нем известным способом может быть выделен критический путь и вычислена его длина L , определяющая полное время обработки множества предметов I . Другой допустимый порядок обработки предметов порождает другой ациклический граф G , другой его критический путь и другую его длину L .

Таким образом, процедура решения задачи поиска порядка обработки предметов на машинах, минимизирующего полное время их обработки, в интерпретации ее на языке орграфов состоит в циклическом выполнении следующих четырех действий:

- 1) формировании допустимого порядка обработки предметов на машинах;
- 2) построении ациклического графа G ;
- 3) вычислении длины его критического пути;
- 4) запоминании меньшей длины L .

Эта процедура отображает полный перебор или исчерпывающий поиск необходимых порядков. Она теоретически всегда позволяет получить оптимальное решение задачи. Однако практически эта процедура осуществима лишь для малых значений n, m . Например, в рассматриваемом примере верхняя граница числа совокупности порядков равна $(3!)^3 = 216$, и поэтому при помощи современных компьютеров лучший порядок легко может быть найден. Однако уже для $n = 5, m = 5$, т.е. при $(5!)^5 = 24883200000$ возникают проблемы с временем счета.

Поэтому единственный практически приемлемый путь решения задачи – ограничить перебор. Ограничение можно выполнить в рамках схемы ветвей и границ, стремясь получить точное решение, или остановиться на одном порядке обработки предметов, довольствуясь подходящим приближенным ее решением. В дальнейшем внимание будет акцентировано на обосновании алгоритмов, позволяющих получать качественные приближенные решения задач практически подходящих размеров за допустимое время. Прежде, чем излагать идеи построения таких алгоритмов, рассмотрим некоторые свойства графовой модели общей задачи.

Заметим, что в каждую вершину графа G (см. рис. 2), исключая вершину i_F , заходит две дуги: технологическая и дуга порядка. Это дуги разной длины (разного веса). С другой стороны, из каждой вершины графа G исходит также две дуги, имеющие равные веса, определяемые как времена выполнения операции машиной, идентифицируемой той вершиной, из которой исходят дуги.

Удалим из графа G все технологические дуги и построим граф порядков $G_p = (I, i_S, i_F, V_m, W_m)$, $W_m : V_m \rightarrow R^+ \cup \{0\}$. Этот граф изображен на рис. 3.

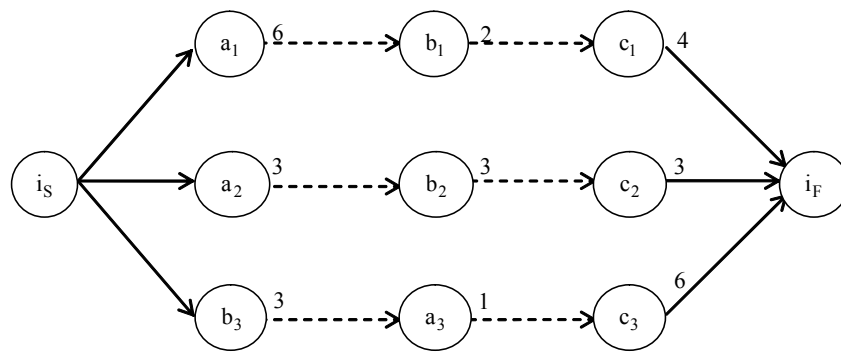


Рис. 3. Граф порядков G_p

Длина критического пути из вершины i_S в вершину i_F на построенной сети определяется по выражению $L_p = \max\{L_q\}$, где $L_q = \sum_{p=1}^{P_q} t_{ip}q$, $q = 1, 2, \dots, m$ – время работы машины $q \in Q$ без простоев при выполнении всех P_q операций. Для рассматриваемого примера длина критического пути $L_p = \max\{12, 9, 10\} = 12$.

В связи с тем, что критический путь в общей сети G образуется дугами технологии и порядка, наименьшая нижняя граница его длины определяется по выражению $L_N = \max\{L_T, L_p\}$. Это означает, что никакой набор порядков обработки предметов на машинах не позволит получить полное время их обработки, меньшее L_N . В рассматриваемом примере $L_N = \max\{13, 12\} = 13$.

Теперь сделаем попытку оценить длину критического пути графа G сверху. С этой целью для общей задачи рассмотрим худший случай, когда первые операции всех предметов выполняются одной и той же машиной, например, первой, которая определяет критический путь в графе порядков G_p . Выберем порядок обработки предметов на этой машине такой, что он создает критический путь в графе G_T длиной L_T . В результате получим частичный граф G_1 , изображенный на рис. 4.

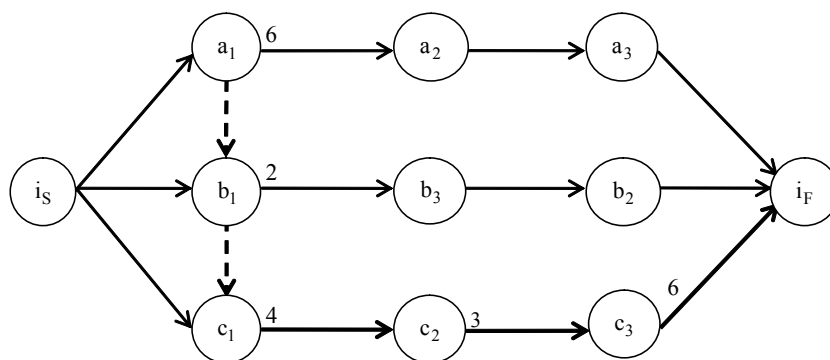


Рис. 4. К оценке длины критического пути графов

В этом графе критический путь образует последовательность дуг (i_S, a_1) , (a_1, b_1) , (b_1, c_1) , (c_1, c_2) , (c_2, c_3) , (c_3, i_F) , порождающую длину $L_1 = L_p + L_T - t_{tm}$, где величина t_{tm} – вес той дуги, которая одновременно принадлежит множествам дуг V_T и V_m . В данном примере это дуга (c_1, c_2) . Поэтому $L_1 = 12 + 13 - 4 = 21$.

Если теперь на оставшихся $m - 1$ машинах, в данном случае на машинах 2 и 3, определить некоторые порядки, порождающие ациклический граф G , то длина критического пути этого графа не будет меньше длины критического пути L_1 частичного графа G_1 . В общем случае следует ожидать, что длина L_1 увеличится на некоторую величину ΔL_m . Поэтому выражение $L_T + L_p + \Delta L$, где $\Delta L = \Delta L_m - t_{tm}$, можно считать одной из верхних границ длины критического пути графа G .

Априори добавку ΔL , к сожалению, нельзя определить. Поэтому величина $L_T + L_p + \Delta L$ не является гарантированной оценкой длины критического пути. Тем не менее, в предположении, что каждый раз при построении ациклического графа G может быть установлена величина ΔL , имеется возможность получить некоторые выводы о свойствах погрешностей алгоритмов, решающих рассматриваемую задачу.

Так как наименьшая длина критического пути L^* экстремального графа G^* удовлетворяет неравенству $L^* \geq \max(L_T, L_p)$, для абсолютной и относительной погрешностей некоторого приближенного алгоритма, решающего рассматриваемую задачу, получим:

$$L - L^* \leq L_T + L_p + \Delta L - \max(L_T, L_p), \quad (1)$$

$$\frac{L}{L^*} \leq \frac{L_T + L_p + \Delta L}{\max(L_T, L_p)}. \quad (2)$$

Из соотношения (1) следует, что с увеличением размера задачи $N = n \cdot m$ сумма $L_T + L_p$ растет быстрее, чем $\max(L_T, L_p)$. В связи с этим растет первая часть неравенства и, таким образом, абсолютная погрешность решающего алгоритма. Соотношение (2) показывает, что при $L_T = L_p$, которое соответствует случаям $n \approx m$, относительная погрешность алгоритма будет максимальна, но не больше, чем $2 + \frac{\Delta L}{L_p}$ или $2 + \frac{\Delta L}{L_T}$.

Когда же $L_p \gg L_T$, которое соответствует случаям $n \gg m$, его погрешность минимальна и равна $1 + \frac{\Delta L}{L_p}$.

Таким образом, в тех производственных системах, для которых типичным является планирование существенно большего количества деталей по отношению к установленному количеству машин m , алгоритм будет решать задачу более точно, чем при $n = m$.

3. Выводы

Представлена новая формализация общей задачи теории расписаний на языке ориентированных графов. Эта формализация позволила получить возможность оценить погрешности алгоритмов и указать их поведение при различных параметрах задачи. На этом основании при практическом использовании алгоритмов можно, зная параметры задачи, ориентировочно указать величину погрешности, с которой в среднем он будет решать задачу.

Список литературы: 1. Канцедал С. А. Дискретная математика: учебное пособие. М.: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2007. 224 с. (Профессиональное образование). 2. Конвей Р.В., Максвелл В.П., Миллер Л.В. Теория расписаний. М.: Наука, 1975. 360 с.

Поступила в редколлегию 21.05.2007

Костикова Марина Владимировна, канд. техн. наук, доцент кафедры информатики Харьковского национального автомобильно-дорожного университета. Научные интересы: математическое моделирование, теория расписаний и ее применение. Адрес: Украина, 61002, Харьков, ул. Петровского, 25, тел. 707-37-74.

Пьянида Виктор Александрович, преподаватель кафедры прикладной математики и информатики Западодонбасского института экономики и управления. Научные интересы: теория расписаний в моделировании производственных и управленческих процессов. Адрес: Украина, 51400, Павлоград, ул. Парковая, 1а, тел. 311-95.

**ПРИМЕНЕНИЕ АППАРАТА НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ
РЕАЛИЗАЦИИ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ
РЕШЕНИЙ В ОБЛАСТИ СЕРВИСНОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ
БАНКОМАТОВ**

Приводятся результаты исследований по разработке набора входных параметров для предметной области, а также сравнение характеристик методов анализа и оценки распределения ресурсов. Особое внимание уделяется исследованию методов, основанных на нейронных сетях.

1. Введение

Современный человек живет в мире техники, это касается всех сторон его существования – работы, дома и отдыха. Соответственно производство и продажи техники с каждым годом увеличиваются и в плане количества, и в плане расширения ассортимента. Но любая техника имеет свойство отказывать, что закономерно. Надежной считается не та техника, которая не ломается, такой просто не бывает, а та, которую можно починить. Поэтому техническое обслуживание, которое в течение длительного времени не рассматривалось в качестве элемента экономической эффективности, сегодня является важнейшей областью, позволяющей эффективно использовать ресурсы предприятия. Хорошо организованная сервисная служба, которая поддерживает высокую степень надежности техники, может оказаться тем ключевым элементом, наличие или отсутствие которого означает успех или неудачу.

2. Постановка задачи

Эффективность сервисной службы во многом зависит от степени автоматизации ее работы. Основной целью исследования является раскрытие содержания проблемы управления ресурсами в сфере сервисного обслуживания банкоматов и разработка механизма управления ресурсами предприятия в современных условиях хозяйствования. Такой механизм должен решать задачи координации поставки запасных частей и комплектующих, регулирования отпускных цен на запасные части для дилеров, финансовых расчетов с авторизованными Сервисными Центрами, контроля качества и сроков выполнения ремонтов.

3. Преимущества нейронных сетей для решения рассматриваемой задачи

На практике в сфере сервисного обслуживания банкоматов часто встречаются задачи, связанные с наблюдением случайных величин. Для подобных задач не удается построить детерминированные модели, поэтому применяется принципиально иной, вероятностный подход. Параметры вероятностных моделей – это распределения случайных величин, их средние значения, дисперсии и т.д. Как правило, эти параметры изначально неизвестны, а для их оценки используются статистические методы, применяемые к выборкам наблюдаемых значений (историческим данным) [5].

К сожалению, классические методики оказываются малоэффективными во многих практических задачах. Это связано с тем, что невозможно достаточно полно описать реальность с помощью небольшого числа параметров модели, либо расчет модели требует слишком много времени и вычислительных ресурсов. В частности, рассмотрим одну из основных задач, решаемую в области сервисного обслуживания банкоматов - оптимальное распределение ресурсов и инвестиций, вкладываемых в развитие такого бизнеса.

В такой задаче ни одна из функций не известна точно – известны лишь приблизительные или ожидаемые значения используемых ресурсов (как материальных, так и человеческих). А однозначно определить размер ожидаемой прибыли в результате проведения ремонтных работ тем более тяжело. Для того чтобы избавиться от неопределенности, мы вынуждены зафиксировать функции, теряя при этом в точности описания задачи.

Детерминированный алгоритм для поиска оптимального решения (симплекс-метод) применим только в том случае, если все данные функции линейны. В реальных задачах оценки используемых ресурсов это условие не выполняется. Хотя данные функции можно аппроксимировать линейными, решение в этом случае будет далеким от оптимального.

Если одна из функций нелинейная, то симплекс-метод неприменим, и остается два традиционных пути решения этой задачи.

Первый путь - использовать метод градиентного спуска для поиска максимума прибыли. В данном случае область определения функции прибыли имеет сложную форму, а сама функция - несколько локальных максимумов, поэтому градиентный метод может привести к неоптимальному решению. Второй путь - провести полный перебор вариантов распределения ресурсов. Если каждая из 10 функций задана в 100 точках, то придется проверить около 10^{20} вариантов, что потребует не менее нескольких месяцев работы современного компьютера.

Отметим также, что статистические методы хорошо развиты только для одномерных случайных величин. Если же мы хотим учитывать несколько взаимосвязанных факторов, то придется обратиться к построению многомерной статистической модели. Однако такие модели либо предполагают гауссовское распределение наблюдений (что не выполняется на практике), либо не обоснованы теоретически [5].

Таким образом, приходим к необходимости применения усовершенствованного математического аппарата.

Применение нейросетевой технологии уместно в случаях, когда формализация процесса решения трудна или вообще невозможна. Они являются очень мощным инструментом моделирования, поскольку нелинейны по своей природе. Как уже было сказано, линейное моделирование долгое время являлось основным в большинстве областей, поскольку для него существует большое число методов оптимизации. Однако для задачи анализа прибыли и распределения ресурсов предположение о линейности исходных данных в подавляющем большинстве случаев оказывается неверным. Кроме того, для нейронных сетей не существует проблемы «проклятия размерности», не позволяющее моделировать линейные зависимости от большого числа переменных.

Нейронная сеть применяется в первую очередь тогда, когда неизвестен точный вид связи между входом и выходом. Достаточно лишь точно знать, что связь между входными и выходными данными существует. При этом сама зависимость будет выведена в процессе обучения нейронной сети [2].

По сравнению с традиционными технологиями нейронные сети обладают следующими преимуществами:

- Универсальность. Нейронные сети не зависят от свойств входных данных, для них не существует требования к определенному типу распределения исходных данных, либо требования к линейности целевых функций.

- Не существует проблемы «проклятия размерности». Они способны моделировать зависимости в случае большого числа переменных.

- В отличие от статистических исследований не требуют большого объема данных.

- Ускоряют процесс нахождения зависимости за счет одновременной обработки данных всеми нейронами.

Несмотря на то, что нейронные сети способны решить практически любые задачи, во многих случаях их применение не является целесообразным. Для большинства задач более эффективным оказывается применение других математических моделей. Нейронные сети особенно хорошо зарекомендовали себя при решении задач классификации, прогнозирования, кодирования и декодирования информации [3].

4. Элементы построения нейронной сети

В работе [1] было введено понятие юнита (*Unit*) как минимального обучаемого элемента, способного самостоятельно обрабатывать информацию в гранулированном виде, и кластера (*Cluster*), как совокупности таких элементов.

Модель юнита, согласно [1], может быть представлена набором множеств

$$M_c = \{X, W_c, H_x, S_c, H_y, BF, y\}, \quad (1)$$

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; $S_c = (s_{c1}, \dots, s_{cr})$ – 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.

Модель кластера, согласно [1], также может быть представлена с помощью (1), где $X = (X_1 \vee X_2 \vee \dots \vee X_M)$ представляет собой совокупность 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; скалярный выход y заменен на векторный Y – объединенное множество выходных параметров кластера.

Получаем, что 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. В свою очередь кластер с частичным объединением юнитов можно считать однослойной сетью клеток с входами, параллельно подведенными к каждой клетке (от каждого входа к каждой клетке).

5. Локальные и распределенные сети

Локальная сеть (LN – Local Network) содержит связанные юниты и кластеры. Она рассматривается как самостоятельный модуль обработки образов. Информационная модель локальной сети может быть представлена набором множеств

$$M_{LN} = \{P_X(X, C_X), W_{LN}, S_{LN}, P_Y(Y, C_Y)\}, \quad (2)$$

где X и C_X – вектор образа P_X и связи между его координатами, т.е. множество входных параметров и связи между ними, определяющие входной (преобразуемый сетью) образ P_X ; W_{LN} – множество регулируемых весов связей между юнитами и кластерами, входящими в локальную сеть; S_{LN} – множество связей юнитов и кластеров, входящих в локальную сеть; Y и C_Y – вектор образа P_Y и связи между его координатами, т.е. множество выходных параметров и связей между ними, определяющих выходной (преобразованный сетью) образ P_Y .

Структурно локальная сеть состоит из связанных юнитов и кластеров, а также обучающего, формирующего множество весов связей W_{LN} элементов сети. Наличие разноуровневых компонентов (юнитов и кластеров) в локальной сети позволяет строить достаточно сложные преобразующие структуры с полностью связной и слоистой организацией. Локальные сети с полностью связной организацией используются для ассоциативного запоминания образов. Локальные сети со слоистой организацией предназначены для классификации образов или аппроксимации заданных преобразований образов [2].

Распределенные сети (DN – Distributed Network) имеют кустовую организацию. Они включают несколько локальных сетей (кустов), обрабатывающих образы, между которыми имеют место слабые (одинарные) связи. Так могут реализоваться процессы, определяющие сложное поведение системы. Распределенные сети могут преобразовывать образы замкнуто: образы, проходящие через кусты, возвращаются преобразованные опять на первый куст. Динамический процесс преобразования образов в распределенной сети определяется цепочкой отображений

$$P_{X/t_1} \rightarrow F_{k1}(P_X, P_{Z1}) \rightarrow \dots \rightarrow F(P_X, P_{Zq}) \rightarrow P_{Y/t_2} \rightarrow (OY) \rightarrow P_{S/t_2} \rightarrow P_{X/t_2}, \quad (3)$$

где t_1 и t_2 – моменты времени, соответствующие 1-му и 2-му циклам преобразований; F_{k1} – отображенные образы в i -м кусте; P_S – образ состояния объекта управления (ОУ); P_X, P_Y, P_Z – входной, выходной и внешний образы распределенной сети. При этом имеют место слабые связи между кустами, определяемые малыми весами $w_{i,i+1}$.

Такая организация сетей позволяет учесть влияние на процесс управления дополнительных факторов, изменяющих это управление через вводимые в кусты внешние образы P_Z .

6. Структура нейронной сети

Рассмотрим реализацию нейронной сети для системы поддержки принятия решений в области сервисного обслуживания банкоматов. Нейронная сеть должна реализовать нечетко-нейронное отображение входного n -мерного вектора X в выходной m -мерный вектор Y .

Нейронная сеть включает:

- фаззификатор (процедура FUZ) – в качестве гранулятора [1];
- активатор – состоящий из блока ассоциативного вывода, реализующий процедуру взвешенной агрегации (процедура INCL), объединения и памяти весов;
- дефаззификатор (процедура DFUZ) – в качестве дегранулятора;
- блок вычисления текущих весов, реализующий процедуру их коррекции (процедура UPD), и память образов.

Перечисленные процедуры имеют следующее содержание:

$$FUZ = \text{fuz}(x_i, \mu^q(x_i)) \quad (4)$$

– процедура, вычисляющая степень принадлежности переменной x_i к q -й нечеткой грануле этой переменной;

$$INCL = \text{incl}(\ln, w_i, \mu_{x_i}^q; i=1, \dots, I; q=1, \dots, K) \quad (5)$$

– взвешенная агрегация, вычисляющая каждую степень принадлежности переменной y_j к q -й нечеткой грануле этой переменной путем агрегирования степеней принадлежности входных переменных x_i , с дальнейшим умножением результата на вес w_i и объединением; I, K – количество агрегируемых степеней принадлежности и нечетких гранул соответственно; \ln – номер слоя сети, в котором выполняется агрегация;

$$DFUZ = \text{dfuz}(\mu_{y_i}^q, y_j); q=1, \dots, K; j=1, \dots, M \quad (6)$$

– дефаззификация, вычисляющая значение выходного параметра y_j , исходя из степеней принадлежности значения этого параметра к нечетким гранулам его шкалы;

$$UPD = \text{upd}(w_p, \mu_y^*, \mu_y, p) \quad (7)$$

– коррекция веса при обучении; w_p – текущий вес; μ_y^*, μ_y – степени принадлежности правильного и текущего значений выходного параметра y к нечеткой грануле соответственно (правильное значение параметра берется из примера для обучения); p – номер примера; в результате операции находятся веса при обработке $p+1$ примера.

Такой модуль является относительно простым для программной и аппаратной реализации и может обучаться в реальном времени.

7. Модель нейронной сети

Для построения нейронной сети необходимо разработать ее топологию, определить механизм обучения и процедуру тестирования. Кроме того, для обучения нужны входные данные – параметры, описывающие микроситуации [1] предметной области.

Для сферы сервисного обслуживания банкоматов в качестве входных данных используется разработанный автором набор параметров:

- параметры установки банкоматов
- параметры эксплуатации банкоматов
- параметры, описывающие состояние узлов и блоков
- количество зарегистрированных заявок
- количество просроченных заявок
- количество невыполненных заявок
- среднее время в ремонте
- количество использованных запчастей
- среднее время выполнения заявки.

На начальной стадии исследования наиболее привлекательным является выбор трехслойного персептрона и алгоритма обратного распространения в качестве обучающего. Каждый элемент нейронной сети [4] строит взвешенную сумму своих входов с поправкой в виде слагаемого и затем пропускает эту величину активации через передаточную функцию, и таким образом получается выходное значение этого элемента.

Элементы организованы в послонную топологию с прямой передачей сигнала. Такую сеть можно легко интерпретировать как модель вход-выход, в которой веса и пороговые значения (смещения) являются свободными параметрами модели. Такая сеть может моделировать функцию практически любой степени сложности, причем число слоев и число элементов в каждом слое определяют сложность функции. Определение числа промежуточных слоев и числа элементов в них является важным вопросом при конструировании. Количество входных и выходных элементов определяется условиями задачи.

Самый известный вариант алгоритма обучения нейронной сети - так называемый алгоритм обратного распространения (back propagation; [2]). В нем вычисляется вектор градиента поверхности ошибок. Этот вектор указывает направление кратчайшего спуска по поверхности из данной точки, поэтому если мы "немного" продвинемся по нему, ошибка уменьшится. Последовательность таких шагов (замедляющаяся по мере приближения ко дну) в конце концов приведет к минимуму того или иного типа. Определенную трудность здесь представляет вопрос о том, какую нужно брать длину шагов [6].

При большой длине шага сходимость будет более быстрой, но имеется опасность перепрыгнуть через решение или уйти в неправильном направлении. Классическим примером такого явления при обучении нейронной сети является ситуация, когда алгоритм очень медленно продвигается по узкому оврагу с крутыми склонами, прыгая с одной его стороны на другую. Напротив, при маленьком шаге, вероятно, будет схвачено верное направление, однако при этом потребуются очень много итераций. На практике величина шага берется пропорциональной крутизне склона (так что алгоритм замедляет ход вблизи минимума) с константой, которая называется скоростью обучения. Правильный выбор скорости обучения зависит от конкретной задачи и обычно осуществляется опытным путем; эта константа может также зависеть от времени, уменьшаясь по мере продвижения алгоритма.

8. Заключение

В результате проведенных исследований моделей и методов, используемых для повышения эффективности, надежности и функциональности создаваемых информационных технологий, был разработан набор входных параметров для исследуемой предметной области. Отметим, что при выборе параметров модели основное внимание уделялось не соответствию расчета выбранных коэффициентов общепринятым методикам анализа ресурсов, а влиянию исходного набора данных на качество обучения сети и как следствие, эффективность ее прогнозирования. Проведена сравнительная характеристика методов анализа и оценки распределения ресурсов. Особое внимание было уделено преимуществам и недостаткам нейросетевых методов. Нейронные сети не являются панацеей, во многих случаях более эффективным будет использование традиционных методов статистики. Несмотря на это, во многих областях нейронные сети зарекомендовали себя как более рациональное решение, поэтому требуются дальнейшие исследования в данной области.

Список литературы: 1. Гусарь Н.В., Кузмин Ю.А., Тороев А.А. Исследование языка идентификации информационно-аналитической системы ситуационного центра для обеспечения энергетической безопасности // АСУ и приборы автоматики. Харьков. 2005. Вып. 131. С. 11-18. 2. Станкевич Л.А. Когнитивные нейробиологические системы управления. Проблемы нейрокибернетики. Материалы XII Международной конференции по нейрокибернетике. Ростов-на-Дону, 1999. 3. Haykin S. (1994). Neural Networks: A Comprehensive foundation. Macmillan College Publishing Company Inc. 4. Widrow B. Rumelhart D.E. and Lehr M.A. (1994) "Neural networks: Application in industry, business and science", Communications of the ACM 37(3) : 93-105. 5. Черноуцкий И.Г. Методы принятия решений. Л.: ЛПИ, 1989. 6. Борисов Ю., Кашкаров В., Сорокин С. Нейросетевые методы обработки информации и средства их программно-аппаратной поддержки // Открытые системы. 1997, №4.

Поступила в редколлегию 17.05.2007

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.

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД РАСЧЕТА
НЕУСТАНОВИВШЕГОСЯ РЕЖИМА ТРАНСПОРТИРОВАНИЯ
ПРИРОДНОГО ГАЗА ПО ОДНОНИТОЧНОМУ
МАГИСТРАЛЬНОМУ ГАЗОПРОВОДУ**

Рассматриваются вопросы моделирования и численного расчета нестационарных неизотермических режимов транспорта газа по однониточному магистральному газопроводу. Предлагается метод и алгоритм решения уравнений математической модели, позволяющий проводить анализ неустановившихся режимов транспорта природного газа. На базе данного алгоритма был создан программный продукт, являющийся частью программного комплекса для расчета режимов транспорта газа по многониточному магистральному газопроводу.

1. Введение

Украина располагает мощным газотранспортным комплексом, который является базой развития экономики, инструментом проведения внутренней и внешней политики. За годы реформ, в связи с резким падением объемов производства в других отраслях экономики, его роль еще более возросла. Поэтому целью развития газовой промышленности является стабильное, бесперебойное и экономически эффективное удовлетворение внутреннего и внешнего спроса на газ.

Управление таким комплексом, поддержание жесткого технологического режима невозможны без умения моделировать нестационарные неизотермические режимы транспорта газа (ННРТГ), так как необходимо учитывать, что основной особенностью транспорта газа по магистральному газопроводу (МГ) является его нестационарность и неизотермичность. К тому, что режимы транспорта газа по МГ из стационарных становятся нестационарными и неизотермическими, приводят аварийные ситуации, такие как включение и отключение крупных потребителей, разрывы трубопровода на линейных участках МГ, поломки на компрессорных станциях, а также неравномерное потребление газа потребителями.

Как известно, газотранспортная система Украины состоит из МГ, распределительных сетей и газохранилищ. В свою очередь МГ объединяют 72 компрессорные станции (КС), что говорит о том, что для полноценного моделирования сети общей структуры необходимо учитывать наличие активных элементов, представляющих собой КС, т.е. важно уметь моделировать совместную работу активных и пассивных элементов трубопровода – линейных участков трубопровода (ЛУТ).

При моделировании многониточных магистральных газопроводов (ММГ) необходимо уметь моделировать и рассчитывать ННРТГ в однониточных магистральных газопроводах (ОМГ).

Цель работы состоит в исследовании ННРТГ в ОМГ и проверке эффективности использованного математического обеспечения, в частности, предложенного численного метода и алгоритма расчета взаимосвязанных систем дифференциальных и алгебраических уравнений, описывающих эти режимы.

Особенностью расчетов параметров газового потока при нестационарном режиме на рассматриваемом ОМГ является то, что в результате численного моделирования мы получаем линейную систему уравнений, которую нельзя решить без преобразований. В данной работе предлагается численный метод, позволяющий сократить размерность линейной системы уравнений. Этот метод является основой для разработки соответствующего алгоритма расчета ННРТГ по ММГ.

Таким образом, в рамках данной статьи рассматривались следующие задачи: построение математической модели ННРТГ по ОМГ, разработка алгоритма и метода решения уравнений предложенной модели, а также проведение анализа полученных результатов тестирования.

Несмотря на то, что на сегодняшний день существует множество исследований в области моделирования транспорта газа по ММГ [2], данная проблема не решена в полной мере и современные методы расчета ННРТГ по МГ с активными элементами требуют совершенствования. Таким образом, необходимость в разработке эффективных численных методов и алгоритмов расчета ННРТГ не вызывает никаких сомнений, в связи с чем данная задача актуальности не теряет.

2. Математическая модель нестационарных неизотермических режимов транспорта газа по однопунктовому магистральному газопроводу

Рассмотрим ННРТГ в ОМГ указанной структуры (рис. 1).

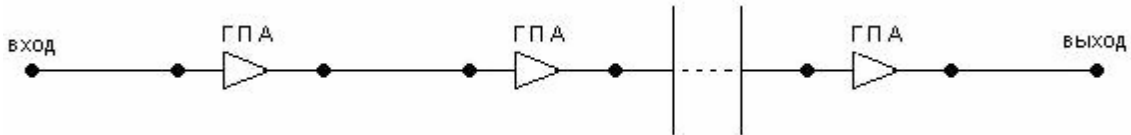


Рис. 1. Структура однопунктового магистрального газопровода

Введем следующие обозначения: пусть ОМГ состоит из r ГПА, $(r+1)$ -го ЛУТ и $(2r+2)$ -х узлов, причем j -й ГПА расположен между прилежащими узлами с индексами $2j-1$ и $2j$ ($j=\overline{1,r}$). В свою очередь 0 -й и $(2r+2)$ -й узлы являются граничными, где 0 -й узел – вход, а $(2r+2)$ -й узел – выход ОМГ. Таким образом, 1 -й, ..., $(2r+1)$ -й узлы являются промежуточными, причем m -й узел, если $m=2j-1$ ($j=\overline{1,r}$) – вход ГПА; если $m=2j$ ($j=\overline{1,r}$) – выход ГПА.

Структура ОМГ может быть задана ориентированным графом $G(V, M)$, где v – множество узлов ОМГ, M – множество дуг графа, соответствующих линейным участкам трубопровода, $|V|=2r+2$, $|M|=r+1$. При этом множество $V=V_1 \cup V_2 \cup V_3$, где $V_1=\{0\}$ – вход, $V_2=\{1, \dots, 2r+1\}$ – промежуточные узлы, $V_3=\{2r+2\}$ – выход.

Математическое моделирование таких режимов по данному фрагменту состоит из описания математических моделей РТГ по ЛУТ, через ГПА, условий согласования в узлах сети и граничных условий.

Математические модели РТГ по ЛУТ и через ГПА состоят из взаимосвязанных систем дифференциальных уравнений гиперболического типа в частных производных и алгебраических уравнений, соответственно. Эти системы связаны условиями согласования в узле сети, представляющими собой систему алгебраических уравнений [1].

Так, математическая модель РТГ по i -у ЛУТ ($i=\overline{1,r+1}$) имеет вид (индекс участка для удобства опущен):

$$\frac{\partial W}{\partial t} + (1 - \alpha ST \frac{W^2}{P^2}) \frac{\partial P}{\partial x} + 2\alpha ST \frac{W}{P} \frac{\partial W}{\partial x} + \beta ST \frac{W|W|}{P} + \frac{g}{\alpha S T} \frac{P}{dx} = 0,$$

$$\frac{\partial P}{\partial t} + \alpha ST \frac{\partial W}{\partial x} = 0,$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \alpha S \gamma T \frac{W}{P} \frac{\partial T}{\partial x} + \alpha S (\gamma - 1) \frac{T^2}{P} \frac{\partial W}{\partial x} + \frac{4K}{D} (\gamma - 1) \frac{T}{P} (T - T_{гр}) + g(\gamma - 1) \frac{WT}{P} \frac{dh}{dx} = 0,$$

где $\alpha = \frac{z g R}{S}$, $\beta = \frac{\lambda \alpha}{2D}$, $\gamma = \frac{C_p}{C_p - z g R}$, $W(x, t)$, $P(x, t)$, $T(x, t)$ – удельный массовый расход, давление и температура газа; R – газовая постоянная; z – коэффициент сжимаемости газа; C_p – удельная теплоемкость газа; S – площадь поперечного сечения трубы; t , x – временная и пространственная координата; λ – коэффициент гидравлического сопротивления; D – диаметр трубы; K – коэффициент теплопередачи от трубы к грунту; $T_{гр}$ – температура грунта; h – глубина залегания трубы; g – ускорение свободного падения.

Данная система уравнений может быть записана в матричной форме

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + B \frac{\partial \varphi}{\partial x} = \Phi, \quad (1)$$

$$\text{где } B = \begin{bmatrix} 2\alpha TS \frac{W}{P} & 1 - \alpha TS \frac{W^2}{P^2} & 0 \\ \alpha TS & 0 & 0 \\ \alpha(\gamma-1) \frac{T^2}{P} S & 0 & \alpha\gamma TS \frac{W}{P} \end{bmatrix}, \quad \Phi = \begin{bmatrix} -\beta TS \frac{W|W|}{P} - \frac{g}{\alpha S} \frac{P}{T} \frac{dh}{dx} \\ 0 \\ -\frac{4K}{D}(\gamma-1) \frac{T}{P} (T - T_{гр}) - g(\gamma-1) \frac{TW}{P} \frac{dh}{dx} \end{bmatrix}, \quad \varphi = (W, P, T).$$

Нелинейные алгебраические уравнения, описывающие РТГ через j -й ГПА ($j = \overline{1, r}$), записываются следующим образом (индекс ГПА для удобства опущен):

$$\tilde{a} \cdot P_H^2 - P_K^2 + \tilde{b} \cdot P_H \cdot q - \tilde{c} \cdot q^2 = 0, \quad T_K = T_H \left(\frac{P_K}{P_H} \right)^{\frac{m-1}{m}},$$

здесь $\tilde{a} = a_2$, $\tilde{b} = b_2 \cdot \frac{n_0}{n} \cdot \frac{\gamma_0 \cdot z \cdot R \cdot T \cdot E}{1440}$, $\tilde{c} = c_2 \cdot \left(\frac{n_0}{n} \cdot \frac{\gamma_0 \cdot z \cdot R \cdot T \cdot E}{1440} \right)^2$,

$$a_2 = \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^4 \cdot a_1 + 2 \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \right) \cdot a_0 + \left(1 - \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \right)^2,$$

$$b_2 = \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^4 \cdot b_1 + 2 \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \right) \cdot b_0, \quad c_2 = \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^4 \cdot c_1 + 2 \cdot \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \cdot \left(1 - \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}^2 \right) \cdot c_0,$$

где $a_0, b_0, c_0, a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – коэффициенты аппроксимации многочленов второй степени:

$$\varepsilon_0 = \varepsilon(Q_{пр}, 1) = a_0 + b_0 \cdot Q_{пр} - c_0 \cdot Q_{пр}^2, \quad \varepsilon_1 = \varepsilon_0^2(Q_{пр}, 1) = a_1 + b_1 \cdot Q_{пр} - c_1 \cdot Q_{пр}^2,$$

$$\varepsilon_2 = \varepsilon^2(Q_{пр}, \left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}) = a_2 + b_2 \cdot Q_{пр} - c_2 \cdot Q_{пр}^2,$$

P_H, T_H – давление и температура газа на входе в ГПА; P_K, T_K – давление и температура газа на выходе из ГПА; q – коммерческая производительность нагнетателя; z – коэффициент сжимаемости газа; n – число оборотов нагнетателя; n_0 – номинальное число оборотов нагнетателя; $\left(\frac{n}{n_0} \right)_{пр}$ – приведенное относительное число оборотов; $Q_{пр}$ – приведенная объемная производительность; E – коэффициент эффективности; γ_0 – удельный вес газа в нормальных условиях.

Зададим условия согласования для узлов, прилегающих к j -у ГПА ($j = \overline{1, r}$).

Условия согласования в $(2j-1)$ -м узле, являющемся входом j -го ГПА ($j = \overline{1, r}$), имеют следующий вид:

$$P_j(x^{++}, t) = P_H^j(t), \quad (2)$$

$$W_j(x^{++}, t) \cdot S_j = G_{KC}^j(t), \quad (3)$$

$$T_j(x^{++}, t) = T_{KC}^j(t), \quad (4)$$

где x^{++} – конечная координата соответствующего j -го участка; S_j – площадь поперечного сечения трубы соответствующего j -го участка; $W_j(x, t)$, $P_j(x, t)$, $T_j(x, t)$ – удельный массовый расход, давление и температура газа j -го участка; $G_{KC}^j(t)$ – массовый расход газа через j -й ГПА.

Условия согласования в $2j$ -м узле, являющемся выходом j -го ГПА, ($j = \overline{1, r}$), имеют следующий вид:

$$P_{j+1}(x^+, t) = P_K^j(t), \quad (5)$$

$$W_{j+1}(x^+, t) \cdot S_{j+1} = G_{KC}^j(t), \quad (6)$$

$$T_{j+1}(x^+, t) = T_{KC}^j(t), \quad (7)$$

где x^+ – начальная координата соответствующего $(j+1)$ -го участка; S_{j+1} – площадь поперечного сечения трубы соответствующего $(j+1)$ -го участка; $W_{j+1}(x, t)$, $P_{j+1}(x, t)$, $T_{j+1}(x, t)$ – удельный массовый расход, давление и температура газа $j+1$ -го участка; $G_{KC}^j(t)$ – массовый расход газа через j -й ГПА.

При переводе всех единиц параметров РТГ в систему единиц СИ и с учетом условий согласования нелинейные алгебраические уравнения, описывающие РТГ через j -й ГПА ($j = \overline{1, r}$), будут иметь вид [1] (индекс ГПА для удобства опущен):

$$\tilde{a} \cdot \left(\frac{P_H}{98066,5} - 1 \right)^2 - \frac{P_K^2}{98066,5^2} + \frac{2 \cdot P_K}{98066,5} - 1 + \tilde{b} \cdot \frac{\left(\frac{P_H}{98066,5} - 1 \right) \cdot W_{j+1} \cdot S_{j+1}}{\tilde{a}} - \tilde{c} \cdot \frac{(W_{j+1})^2}{\tilde{a}^2} \cdot S_{j+1}^2 = 0, \quad (8)$$

$$T_K = T_H \left(\frac{P_K - 98066,5}{P_H - 98066,5} \right)^{\frac{m-1}{m}},$$

где $\tilde{a} = \Delta \cdot 13,9484$, Δ – относительная плотность газа по воздуху; m_j – показатель политропы; W_{j+1} – удельный массовый расход на входе $j+1$ -го ЛУТ; S_{j+1} – площадь поперечного сечения трубы ($j+1$ -го ЛУТ).

Граничные условия для m -го ($m = 0; 2r + 2$) узла примут вид:

$$G_V^m = G_m(t) \text{ (узел 2-го типа) или } P_{\text{узел}}^m = P_m(t) \text{ (узел 1-го типа),}$$

кроме того, задана $T_{\text{узел}}^m(t) = T_m(t)$, где $m = 0$.

Также для расчетов режимов транспорта задается начальное распределение параметров газового потока по i -му ЛУТ ОМГ: $W_i(x, 0) = W_i^0(x)$, $P_i(x, 0) = P_i^0(x)$, $T_i(x, 0) = T_i^0(x)$, $x \in [0, L_i]$, где L_i – длина i -го участка ($i = \overline{1, r+1}$).

3. Метод и алгоритм решения системы уравнений математической модели ННРТГ по фрагменту сети с активными элементами

Для получения численного решения системы (1) использован метод конечных разностей (метод сеток). Аппроксимация уравнений системы проведена по неявной конечно-разностной схеме, имеющей первый порядок по временной и второй порядок – по пространственной переменной (рисунок 2).

Разобьем отрезок $[x^+, x^{++}]$ для i -го участка на N_i частей ($i = \overline{1, r+1}$), т. е. перейдем к дискретным величинам. Отрезок по времени $[0, T]$, на котором производится расчет ННРТГ, разбивается на $[T / \Delta t] = N_t$ временных слоев.

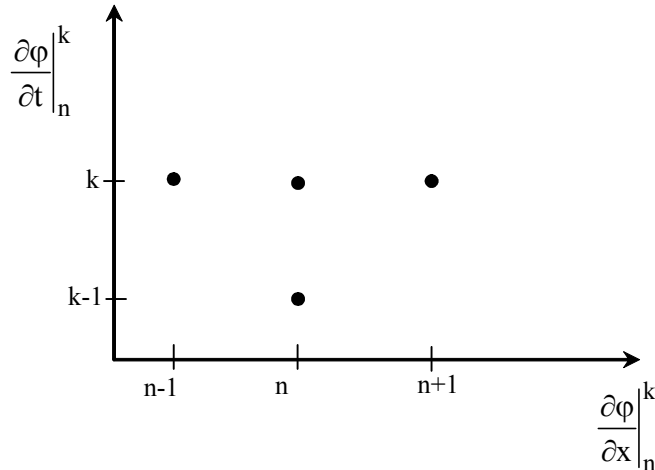


Рис. 2. Неявная конечно-разностная схема для нахождения $\frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_n^k$ в промежуточной точке n на k -м временном слое

Тогда производные заменяются следующими соотношениями (индекс участка опущен):

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} \Big|_n^k = \frac{\varphi_n^k - \varphi_n^{k-1}}{\Delta t}, \quad n = \overline{0, N}, \quad (9)$$

$$\psi_n^{k,j,i} = -\frac{1}{2\Delta x} B_n^{k,j,i} \varphi_{n-1}^{k,j,i} + \frac{1}{\Delta t} \varphi_n^{k,j,i} + \frac{1}{2\Delta x} B_n^{k,j,i} \varphi_{n+1}^{k,j,i} - \Phi_n^{k,j,i} - \frac{1}{\Delta t} \varphi_n^{k-1,i}, \quad n = \overline{1, N_i - 1}, \quad (16)$$

$$\psi_{N_i}^{k,j,i} = \frac{1}{\Delta t} \varphi_{N_i}^{k,j,i} + \frac{1}{\Delta x} B_{N_i}^{k,j,i} \varphi_{N_i}^{k,j,i} - \frac{1}{\Delta x} B_{N_i}^{k,j,i} \varphi_{N_i-1}^{k,j,i} - \Phi_{N_i}^{k,j,i} - \frac{1}{\Delta t} \varphi_{N_i}^{k-1,i}. \quad (17)$$

Для совместного расчета режимов транспорта газа через ГПА и ЛУТ однониточного МГ предлагается сделать некоторые преобразования. А именно, необходимо заменить выражения для второй и третьей компонент невязок для 0-й точки f-го участка ($f = \overline{2, r+1}$) на выражения, полученные из соотношений (8).

Таким образом, на j-й итерации для первого участка система остается прежней, а для f-го ($f = \overline{2, r+1}$) будет иметь следующий вид:

$$\begin{aligned} \psi_{0,1}^{k,j,f} &= \frac{1}{\Delta t} (W_0^{k,j,f} - W_0^{k-1,f}) + \frac{1}{\Delta x} \left[\frac{2\alpha T_0^{k,j,f} W_0^{k,j,f} S_f}{P_0^{k,j,2}} (W_1^{k,j,f} - W_0^{k,j,f}) + \right. \\ &\quad \left. + \left(1 - \frac{\alpha T_0^{k,j,f} S_f (W_0^{k,j,f})^2}{(P_0^{k,j,f})^2}\right) \times (P_1^{k,j,f} - P_0^{k,j,f}) \right] + \beta S_f \frac{T_0^{k,j,f} W_0^{k,j,f} |W_0^{k,j,f}|}{P_0^{k,j,f}} + \frac{g}{\alpha} \frac{P_0^{k,j,f}}{T_0^{k,j,f} S_f} \frac{dh}{dx}, \\ \psi_{0,2}^{k,j,f} &= \tilde{a} \left(\frac{P_{N_{f-1}}^{k,j-1,f-1}}{98066,5} - 1 \right)^2 - \frac{(P_0^{k,j,f})^2}{98066,5^2} + 2 \frac{P_0^{k,j,f}}{98066,5} - 1 + \tilde{b} \left(\frac{P_{N_{f-1}}^{k,j-1,f-1}}{98066,5} - 1 \right) \frac{W_0^{k,j,f} S_f}{\tilde{a}} - \tilde{c} \frac{(W_0^{k,j,f})^2 (S_f)^2}{\tilde{a}^2}, \\ \psi_{0,3}^{k,j,f} &= T_0^{k,j,f} - T_{N_{f-1}}^{k,j-1,f-1} \left(\frac{P_0^{k,j,f} - 98066,5}{P_{N_{f-1}}^{k,j-1,f-1} - 98066,5} \right)^{\frac{m_j-1}{m_j}}, \end{aligned}$$

$$\psi_n^{k,j,f} = -\frac{1}{2\Delta x} B_n^{k,j,f} \varphi_{n-1}^{k,j,f} + \frac{1}{\Delta t} \varphi_n^{k,j,f} + \frac{1}{2\Delta x} B_n^{k,j,f} \varphi_{n+1}^{k,j,f} - \Phi_n^{k,j,f} - \frac{1}{\Delta t} \varphi_n^{k-1,f}, \quad n = \overline{1, N_f - 1},$$

$$\psi_{N_f}^{k,j,f} = \frac{1}{\Delta t} \varphi_{N_f}^{k,j,f} + \frac{1}{\Delta x} B_{N_f}^{k,j,f} \varphi_{N_f}^{k,j,f} - \frac{1}{\Delta x} B_{N_f}^{k,j,f} \varphi_{N_f-1}^{k,j,f} - \Phi_{N_f}^{k,j,f} - \frac{1}{\Delta t} \varphi_{N_f}^{k-1,f}.$$

Добавим к этой системе линеаризованное условие согласования, относящееся к удельному массовому расходу: $S_{f-1} \delta W_{N_{f-1}}^{k,j,f-1} = S_f \delta W_0^{k,j,f}$, $f = \overline{2, r+1}$.

Таким образом, получили линейную систему, которую необходимо преобразовать. Для решения данной системы был предложен следующий метод. Часть переменных исключается, а именно переменная по удельному массовому расходу $W_{N_{f-1}}^{k,j,f-1}$, относящаяся к концу

($f-1$)-го ЛУТ, при этом учитывается, что $\delta W_{N_{f-1}}^{k,j,f-1} = \frac{S_f}{S_{f-1}} \delta W_0^{k,j,f}$, $f = \overline{2, r+1}$. Уравнения для массового расхода, относящиеся к последней точке ($f-1$)-го ЛУТ и начальной точке f-го участка ($f = \overline{2, r+1}$), складываются. При этом, как уже говорилось ранее, уравнения для давления и температуры, относящиеся к первым точкам f-го участка, заменяются уравнениями, описывающими РТГ через ГПА, $f = \overline{2, r+1}$.

В итоге, полученная система решается относительно векторов поправок к неизвестным. Для ее решения используется метод Гаусса с выбором главного элемента. Чтобы решить систему линейных алгебраических уравнений, необходимо вычислять векторы невязок и элементы матриц Якоби. После решения системы значения переменных, удаленных из системы, находятся из условий согласования.

4. Практическая реализация и исследование полученных результатов

На основании предложенного метода был создан программный продукт для расчета РТГ по ОМГ. Для большей наглядности процессов, происходящих при транспортировке

газа при совместной работе активных и пассивных элементов трубопровода, в статье приведены результаты расчетов ННРТГ для ОМГ, состоящего из двух ЛУТ и ГПА (рис. 3).



Рис. 3. Структура однониточного МГ

Тесты проведены для линейных труб и ГПА, имеющих характеристики, представленные в табл. 1.

Таблица 1. Основные параметры, их обозначения и значения

Обозначение	Численная величина	Название параметра	
L_1	56	Длина первого участка, км	
L_2	56	Длина второго участка, км	
D_1	1400	Диаметр первого участка, мм	
D_2	1400	Диаметр второго участка, мм	
C_p	0,655952	Удельная теплоемкость, ккал / кг·°С	
K	1,4	Коэффициент теплопередачи от трубы к грунту, ккал/м ² · ч · °С	
Δ	0,604707	Относительная плотность газа по воздуху	
Z_0	0,9	Номинальное значение коэффициента сжимаемости	
R_0	51,8	Номинальное значение газовой постоянной	
T_0	293	Номинальное значение коэффициента температуры	
γ_0	0,7236	Удельный вес газа в нормальных условиях	
n_0	8200	Номинальное число оборотов нагнетателя	
n	7047	Число оборотов нагнетателя	
k	1,3	Показатель адиабаты	
E	0,95	Коэффициент эффективности	
a_0 b_0 c_0	1,04638 $7,42208 \cdot 10^{-3}$ $-3,05628 \cdot 10^{-5}$	Коэффициенты аппроксимации полинома ε_0	
a_1 b_1 c_1	1,102707 $1,670252 \cdot 10^{-2}$ $7,11403 \cdot 10^{-5}$		Коэффициенты аппроксимации полинома ε_1

При расчетах использован коммерческий расход газа $q=102,266$ млн.м³/сут. Температура грунта на глубине заложения газопровода постоянна и равна $t_{гр} = 10^\circ \text{C}$. Рассчитанный ранее стационар дает возможность получения начального распределения параметров сети: расхода, давления и температуры. Граничные условия приведены в табл. 2.

Таблица 2. Граничные условия

1-й участок	2-й участок
$P^1(0, t) = 84,6364$ атм $T^1(0, t) = 40^\circ \text{C}$	$q^2(L_2, t) = 102,266$ млн.м ³ / сут

Каждый участок разбивается по длине на 5 частей. Моделирование происходило на интервале времени $[0, T]$, где $T = 24$ часа. Через 300 мин количество оборотов нагнетателя было увеличено с $n = 7047$ до $n = 8000$, а после 1000 мин количество оборотов возвращено на прежний уровень.

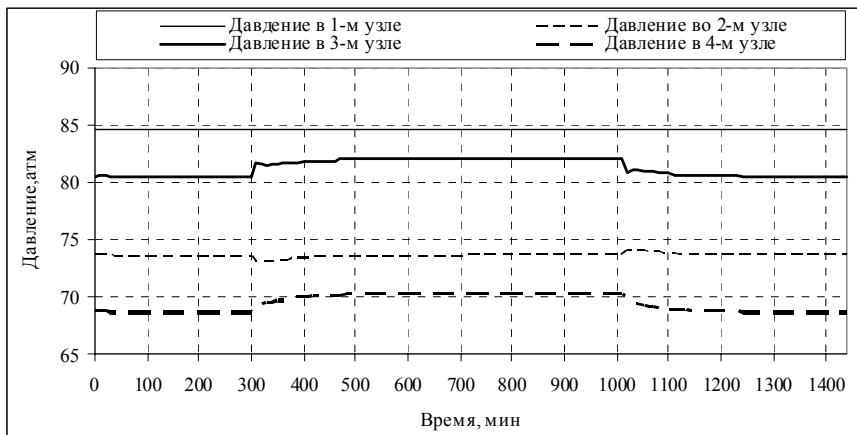


Рис. 4. График зависимости давления от времени в узлах рассматриваемого ОМГ

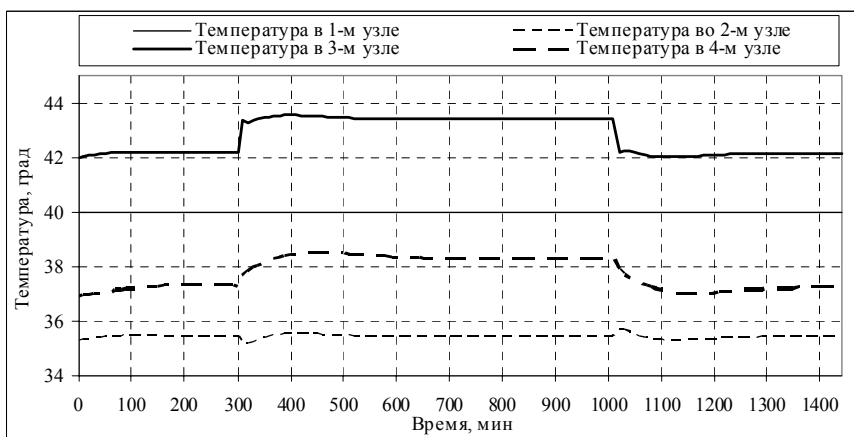


Рис. 5. График зависимости температуры от времени в узлах рассматриваемого ОМГ

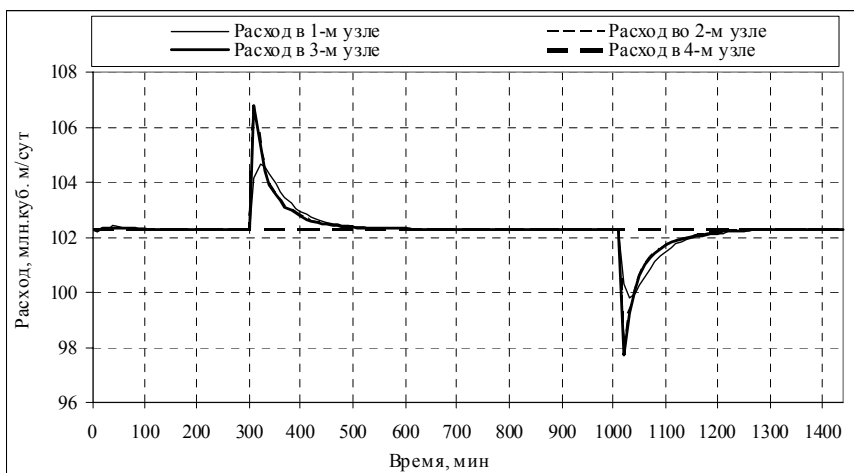


Рис. 6. График зависимости расхода от времени в узлах рассматриваемого ОМГ

5. Выводы

Научная новизна – впервые был предложен метод и алгоритм решения задачи расчета ННРТГ в ОМГ. На его базе был разработан и оттестирован на различных переходных процессах программный продукт, который может быть включен в программный комплекс для расчета и анализа РТГ для ММГ любой структуры. На основе анализа полученных результатов тестирования был сделан вывод об эффективности предложенного метода.

Практическая значимость – разработанные эффективный метод и алгоритм позволяют моделировать совместную работу пассивных и активных элементов трубопровода, а созданный на их основе программный продукт позволяет проводить более подробный комплексный анализ сложных технических систем с высокой степенью точности и достоверности.

Список литературы: 1. *Трубопроводные системы энергетики: Управление развитием и функционированием* / Н.Н. Новицкий, Е.В. Сенова, М.Г. Сухарев и др. Новосибирск.: Наука, 2004. 461с. 2. *Селезнев В. Е., Клишин Г. С., Алешин В. В., Прялов С. Н. и др.* Численный анализ и оптимизация газодинамических режимов транспорта природного газа / Под ред. В. Е. Селезнева. М.: Едиториал УРСС, 2003. 224 с.

Поступила в редколлегию 15.06.2007

Тевяшев Андрей Дмитриевич, академик УНГА, д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: теория стохастических моделей. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-14-36, e-mail: tevjashev@kture.kharkov.ua.

Гусарова Ирина Григорьевна, канд. техн. наук, доц. кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование и управление систем с распределенными параметрами. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-14-36, e-mail: тел.: (057) 702-14-36.

Буданцева Юлия Владимировна, аспирантка кафедры прикладной математики ХНУРЭ. Научные интересы: математическое моделирование и системный анализ. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел.: (057) 702-14-36, e-mail: e-mail: Yuliya_Vladi@mail.ru.

УДК 519.5:681:513

А.А.ПАВЛОВ, Е.И. ЛИЦУК

ОПЕРАТИВНОЕ КОРРЕКТИРОВАНИЕ В ЗАДАЧЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО ВЫБОРА

Рассматривается задача оперативного корректирования оценок альтернатив по каждому из критериев. Предлагаются и обосновываются стратегии лица, принимающего решение, выбирающего наилучшее решение.

Введение

Рассмотрим некоторые альтернативы X^1, \dots, X^n . По каждой из альтернатив имеется информация о предварительных оценках по каждому из критериев. Задача состоит в следующем: откорректировать оценки одной из альтернатив, чтобы в результате рассмотрения альтернатив конкурсной комиссией конкурс выиграла именно она.

В этом случае наиболее простой метод – динамически откорректировать компоненты вектора одной из альтернатив, т.е. значения тех критериев, которые наиболее существенно влияли на выбор варианта (оценки по которым хуже, чем у остальных критериев).

Данный класс задач имеет достаточно широкое применение.

Для решения описанной выше задачи могут использоваться методы с обратной связью с экспертом [1,2]. В этом случае эксперту предлагается увеличить оценки по заданной альтернативе по критериям, по которым оценки хуже, чем у остальных альтернатив, за счет уменьшения оценок по другим критериям. Данный метод достаточно трудоемок и требует многократного обращения к эксперту в целях пересмотра экспертом своих же исходных и вновь полученных данных для их уточнения. Помимо всего прочего, он не может быть использован в автоматических системах для коррекции субъективно полученной информации при принятии решений.

В практических задачах достаточно часто имеет место ситуация, когда не все критерии сравнимы по важности, т.е. не может быть получено полное упорядочение множества критериев, но для отдельных пар критериев информация о сравнимости по важности имеется. При конструировании отношений предпочтения, которые основываются на локальной информации о сравнимости критериев, используется аксиоматический подход, предложенный В.В.Поддиновским [3,4], суть которого в следующем: вводятся отношения попарной сравнимости критериев, основанные на той либо иной формализации понятий превосходства в важности, равноважности, сравнимости по замещениям. Результирующее отношение включает соответствующие введенные отношения попарной сравнимости и относится к классу рациональных транзитивных отношений. Окончательно структура результирующего отношения предпочтения в пространстве оценок критериев определяется структурой отношения сравнимости критериев на их множестве.

Целью данного исследования является разработка математического аппарата, позволяющего выполнять динамическую корректировку компонент вектора оценок одной из альтернатив для того, чтобы в результате рассмотрения альтернатив конкурсной комиссией конкурс выиграла заданная альтернатива.

Общая постановка задачи

Рассмотрим некоторую альтернативу X^i из множества альтернатив X^1, \dots, X^n . Пусть k_r и k_t – r -й и t -й компоненты этой альтернативы. Сравнимость по замещениям критериев k_r и k_t означает возможность для любой альтернативы X^i компенсации (по предпочтительности) произвольного изменения критерия k_r некоторым изменением критерия k_t .

Введем определение отношения замещения [5]: если для произвольной альтернативы X^i и для любого $\Delta_r \in E^1$ существует равноценная ей альтернатива X^i такая, что $\bar{x}_r^i = x_r^i - \Delta_r$, $\bar{x}_t^i = x_t^i + \Delta_{rt}$, $\Delta_{rt} = f(r, t, x, \Delta_r)$, $\frac{\Delta_r}{\Delta_{rt}} > 0$, то критерии k_r и k_t сравнимы по замещениям.

Рассматриваем альтернативу X^i . Путем замещения компонент альтернативы X^i пытаемся выиграть конкурс у альтернатив $X^j, j = \overline{1, n}, i \neq j$. По альтернативе X^i имеем следующую информацию для $\forall l \in L_i^1$ (множество индексов) известно $x_l^i > x_l^j, j = \overline{1, n}, j \neq i$.

Для $\forall l \in L_i^1$ задано множество индексов $x_k^i = \text{const}, k = \overline{1, m}$: компоненты вектора X^i $x_l^i, l \in L_i^1$ могут участвовать в замещении компонент вектора X^i с индексами из множества $L_i^2(1)$ следующим образом:

$$\Delta x_l^{ilm} = a_l^{ilm} \Delta x_{l_m}^i, l_m \in L_i^2(1), l \in L_i^1,$$

где Δx_l^{ilm} – возможное уменьшение x_l^i компоненты в целях увеличения значения $x_{l_m}^i$ компоненты; a_l^{ilm} – заданные коэффициенты пропорциональности, зависящие от сущности l и l_m компонент i -й альтернативы,

$$0 \leq \sum_{l_m \in L_i^2(1)} \Delta x_l^{ilm} \leq b_{x_l^i},$$

$b_{x_l^i}$ – заданные коэффициенты, показывающие возможную границу уменьшения компоненты $x_l^i, l \in L_i^1$.

Для упрощения во всех задачах полагаем, что для любого $m \in L_i^1$ существует по крайней мере один индекс $l \in L_i^1$, что $l_m \in L_i^2(1), l_m = m$.

Стратегии ЛПР, выбирающего наилучшую альтернативу.

1) Стратегия 1.

Выбирается та альтернатива, которая является Парето доминирующей. При этом предполагается, что изменяться могут только компоненты альтернативы X^i . Тогда компоненты вектора X^i после процедур замещения будут иметь вид:

$$\begin{aligned} \forall t \in L_i^1, \quad x_t^{i\Pi} &\geq x_t^j, j = \overline{1, n}, j \neq i, \\ x_l^{i\Pi} &= x_l^i - \sum_{l_m \in L_i^2(l)} a_l^{il_m} \Delta x_{l_m}^i, \quad \forall l \in L_i^1, \\ x_t^{i\Pi} &= x_{l_m}^i + \sum_{l \in L_i^1} \sum_{l_m \in L_i^2(l)} \Delta x_{l_m}^i, \quad t \in \overline{L_i^1}, \quad \forall l \in L_i^1, \quad \forall l_m \in L_i^2(l), \quad \forall l, m = \text{const}, \quad l_m = t, \end{aligned}$$

$X^{i\Pi}$ – преобразованная альтернатива X^i .

Построение по X^i Парето оптимальной альтернативы сводится к следующей задаче линейного программирования: $\max \left\{ \sum_{l \in L_i^1} \alpha_l + \sum_{\forall t \in \overline{L_i^1}} \alpha_t \right\}$.

Примечание. В ограничениях не участвуют компоненты альтернативы X^i , для которых $x_k^i = \text{const}$, $i = \overline{1, m}$ при следующих ограничениях:

$$\begin{aligned} \forall \Delta x_l^{il_m} &\geq 0, \\ \alpha_l &\geq 0, l \in L_i^1, \alpha_t \geq 0, t \in \overline{L_i^1}, \\ x_l^i - \sum_{l_m \in L_i^2(l)} \Delta x_{l_m}^{il_m} &\geq \max_j x_l^j + \alpha_l, \quad \forall j \in \overline{1, n}, j \neq i, l \in L_i^1, \\ x_t^i + \sum_{l \in L_i^1} \sum_{l_m \in L_i^2(l)} \frac{1}{a_l^{il_m}} \Delta x_{l_m}^{il_m} &\geq \max_j x_t^j + \alpha_t, \quad j = \overline{1, n}, j \neq i, \quad \forall t \in \overline{L_i^1}, \quad \forall l_m = t, \\ \forall t \in \overline{L_i^1}, \exists l, t &\in L_i^2(l), \\ \sum_{l_m \in L_i^2(l)} \Delta x_{l_m}^{il_m} &\leq b_{x_l^i}, \quad j \neq i, l \in L_i^1, \quad \forall l_m = t. \end{aligned}$$

В приведенной выше задаче линейного программирования переменными являются $\Delta x_{l_m}^{il_m}, \alpha_l, \alpha_t$.

2) Стратегия 2.

Предполагается, что каждая из альтернатив X^1, \dots, X^n может быть получена путем замещения на конкурсе и оперативно представлять различные варианты $X^j, j = \overline{1, n}$. В этом случае конкурсная комиссия должна для выбора наилучшей альтернативы вводить внешние критерии. Рассмотрим следующие варианты внешних критериев:

Внешний критерий (1):

Должно выполняться $x_t^j \geq c_t, t = \overline{1, p}, j = \overline{1, n}$ – заданные числа.

Лучшая альтернатива выбирается по критерию $\max \sum_{t=1}^p \beta_t x_t^j, \beta_t \geq 0$ – весовые коэффициенты.

Тогда каждая альтернатива $X^j, j = \overline{1, n}$ оперативно путем замещения критериев заменяется новой в соответствии с решением следующей задачи линейного программирования.

По альтернативе X_j имеем информацию: множество L_j^1 состоит из индексов компонент X^j , для которых выполняется $x_l^j > c_l$:

$$\max \left\{ \sum_{l \in L_j^1} \beta_l (x_l^j - \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m}) + \sum_{l \in L_j^1} \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \beta_{l_m} (x_{l_m}^j + \sum_{l \in L_j^1} \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \frac{1}{a_l^{j l_m}} \Delta x_l^{j l_m}) \right\},$$

$$\Delta x_l^{j l_m} \geq 0, \quad l \in L_j^1, l_m \in L_j^2(l), \quad (1)$$

$$\sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m} \leq b_{x_l^j}, \quad l \in L_j^1,$$

$$x_l^j - \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m} \geq c_l, \quad l \in L_j^1, \quad (2)$$

$$x_t^j + \sum_{l \in L_j^1} \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \frac{1}{a_l^{j l_m}} \Delta x_l^{j l_m} \geq c_t, \quad l \in L_j^1, \quad l_m \in L_j^2(l), \quad \forall l_m = t,$$

$$\forall t \in \bar{L}_j^1, \exists l, t \in L_j^2(l) \quad (3)$$

Внешний критерий (2):

При выполнении ограничений задачи линейного программирования (1)-(3) функционал «Минимальная компонента модернизированной альтернативы x^j » есть максимальным. Модернизированная альтернатива находится в виде решения следующей задачи линейного программирования:

$$\max y,$$

$$\Delta x_l^{j l_m} \geq 0, \quad l \in L_j^1, l_m \in L_j^2(l),$$

$$\sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m} \leq b_{x_l^j}, \quad l \in L_j^1,$$

$$x_l^j - \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m} \geq c_l, \quad l \in L_j^1,$$

$$x_t^j + \sum_{l \in L_j^1} \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \frac{1}{a_l^{j l_m}} \Delta x_l^{j l_m} \geq c_t, \quad l \in L_j^1, \quad l_m \in L_j^2(l), \quad \forall l_m = t,$$

$$\forall t \in \bar{L}_j^1, \exists l, t \in L_j^2(l),$$

$$x_l^j - \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \Delta x_l^{j l_m} \geq \alpha_l^j y, \quad l \in L_j^1,$$

$$x_t^j + \sum_{l \in L_j^1} \sum_{l_m \in L_j^2(l)} \frac{1}{a_l^{j l_m}} \Delta x_l^{j l_m} \geq \alpha_t^j y, \quad l \in L_j^1, \quad l_m \in L_j^2(l), \quad \forall l_m = t,$$

$$\forall t \in \bar{L}_j^1, \exists l, t \in L_j^2(l),$$

$$c_{l_m} \geq y, \quad l \in L_j^1, \quad l_m \in L_j^2(l),$$

где α_l^j и α_t^j – коэффициенты пропорциональности, переводящие значения критериев в заданный эквивалент.

Пример задачи многокритериального выбора, иллюстрирующий предложенный подход

Рассмотрим пример с различными критериями и оценками, которые демонстрируют изложенную выше последовательность действий. В качестве примера рассмотрим следующую задачу.

На рассмотрение конкурсной комиссии выставлены 3 проекта построения домов на одном из участков города. Конкурсной комиссией оглашено 5 критериев (характеристик),

по которым выполняется оценка каждого из проектов домов. Заранее известны характеристики каждого из трех проектов.

Задача заключается в следующем: откорректировать характеристики одного из проектов домов (в нашем случае первого), чтобы в результате конкурса именно этот проект был принят конкурсной комиссией.

Имеются следующие числовые характеристики проектов домов (табл.1).

Таблица 1

Критерий	Проект			Описание критерия
	1	2	3	
1	5	2	2	Планировка квартир
2	4	4	4	Этажность
3	3	5	6	Внешний дизайн
4	2	4	3	Качество материалов
5	4	1	2	Инфраструктура

Согласно приведенной выше постановке задачи необходимо откорректировать компоненты первой альтернативы (проект 1) таким образом, чтобы по всем критериям оценки первой альтернативы были не хуже, чем у двух остальных.

Для решения поставленной задачи применим описанную выше стратегию 1 ЛПР для построения Парето оптимальной альтернативы.

В нашем примере первая альтернатива выигрывает у двух остальных альтернатив по первому и пятому критериям. Поэтому в качестве множества L_1^1 ($\forall l \in L_1^1: x_1^i > x_1^j, j = \overline{1, n}, j \neq i$) принимаем множество $\{1, 5\}$. По третьему и четвертому критериям первая альтернатива уступает двум остальным (множество $L_1^2(1) = \{3, 4\}$). Следовательно, необходимо с помощью динамического оперативного корректирования оценок по первому и пятому критериям улучшить оценки по третьему и четвертому. Второй критерий не участвует в замещении, так как оценки по этому критерию по всем трем альтернативам совпадают.

Согласно приведенной выше стратегии 1 ЛПР целевая функция будет следующей:

$$\max z = \alpha_1 + \alpha_5 + \alpha_3 + \alpha_4.$$

Ограничения:

По первому и пятому критериям, за счет уменьшения оценок по которым происходит увеличение оценок по третьему и четвертому критериям, необходимо, чтобы в результате уменьшения оценок по этим критериям они остались не хуже, чем по двум другим альтернативам ($x_1^i - \sum_{l_m \in L_1^2(1)} \Delta x_1^{il_m} \geq \max_j x_1^j + \alpha_1, \forall j \in \overline{1, n}, j \neq i, l \in L_1^1$). При этом максимальная оценка по первому критерию по второй и третьей альтернативе 2, по пятому критерию - тоже 2.

Эти ограничения выглядят так: $5 - (\Delta x_{13} + \Delta x_{14}) \geq 2 + \alpha_1, 4 - (\Delta x_{53} + \Delta x_{54}) \geq 2 + \alpha_5$.

Необходимо, чтобы оценки по третьему и четвертому критерия, по которым происходит оперативное корректирование оценок альтернатив, были не хуже, чем по двум остальным альтернативам:

$$x_t^i + \sum_{l \in L_1^1} \sum_{l_m \in L_1^2(1)} \frac{1}{a_1^{il_m}} \Delta x_1^{il_m} \geq \max_j x_t^j + \alpha_t, j = \overline{1, n}, j \neq i, \forall t \in \overline{L_1^1}, \forall l_m = t$$

$$\forall t \in \overline{L_1^1}, \exists l, t \in L_1^2(1).$$

Максимальная оценка по третьему критерию – 6, по четвертому – 4.

Эти ограничения выглядят так:

$$3 + (1,6 \cdot \Delta x_{13} + 1,3 \cdot \Delta x_{53}) \geq 6 + \alpha_3, 3 + (1,6 \cdot \Delta x_{13} + 1,3 \cdot \Delta x_{53}) \geq 6 + \alpha_5,$$

$$2 + (2,5 \cdot \Delta x_{14} + 2 \cdot \Delta x_{54}) \geq 4 + \alpha_3, 2 + (2,5 \cdot \Delta x_{14} + 2 \cdot \Delta x_{54}) \geq 4 + \alpha_5.$$

Максимальное изменение оценки по первому критерию, чтобы оценка по этому критерию не стала хуже, чем по остальным альтернативам, равно 3, по пятой равно 2

$$\left(\sum_{l_m \in L_i^2(1)} \Delta x_1^{il_m} \leq b_{x_i}, j \neq i, l \in L_i^1, \forall l_m = t \right).$$

Эти ограничения выглядят так: $\Delta x_{13} + \Delta x_{14} \leq 3$, $\Delta x_{53} + \Delta x_{54} \leq 2$.

Условие неотрицательности переменных:

$$\Delta x_{13} \geq 0, \Delta x_{14} \geq 0, \Delta x_{53} \geq 0, \Delta x_{54} \geq 0,$$

$$\alpha_1 \geq 0, \alpha_5 \geq 0, \alpha_3 \geq 0, \alpha_5 \geq 0.$$

В результате решения описанной задачи линейного программирования известными методами получим следующие значения переменных:

$$\Delta x_{13} = 3, \alpha_1 = 0, \alpha_3 = 3,$$

$$\Delta x_{14} = 0, \alpha_5 = 0, \alpha_5 = 3,$$

$$\Delta x_{53} = 0, \Delta x_{54} = 2.$$

Следовательно, альтернатива, полученная в результате оперативного корректирования оценок по критериям, будет иметь следующий вид (табл.2).

Таблица 2

Критерий	Проект		
	1	2	3
1	2	2	2
2	4	4	4
3	6	5	6
4	4	4	3
5	2	1	2

Выводы

Несмотря на развитие науки и автоматизации методов теории принятия решений, все ответственные решения принимает человек. Повышение ответственности лиц, принимающих решения, на многих этапах управления вынуждает разрабатывать и внедрять различные компьютерные системы поддержки принятия решений. Эти системы представляют информацию в удобном обработанном виде, например, в виде готовых рекомендаций, тем самым снижая психологическую нагрузку и соответственно уменьшая вероятность ошибочных решений. Рассмотренный выше алгоритм позволяет, на основании данных о правильности предыдущих решений, наиболее простым методом повысить эффективность этих систем. Его относительная простота позволяет широко использовать алгоритм для динамического оперативного корректирования оценок альтернатив, представляемых конкурсной комиссией.

Список литературы: 1. *Тоценко В.Г.* Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. Киев: Наук. думка, 2002. 381 с. 2. *Павлов А.А., Гриша С.Н., Томашевский В.Н. и др.* Основы системного анализа и проектирования АСУ: учеб. пособие / Под общ. ред. Павлова А.А. К.: Выща шк., 1991. 367 с. 3. *Поддиновский В.В.* Многокритериальные задачи с однородными равноценными критериями // ЖВМ и МФ. 1975. № 2. С. 330 – 344. 4. *Менишкова О.Г., Поддиновский В.В.* Построение отношения предпочтения и ядра в многокритериальных задачах с упорядоченными по важности неоднородными критериями // ЖВМ и МФ. 1988. № 5. С. 647 – 659. 5. *Кини Р.Л., Райфа Х.* Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения. М.: Радио и связь, 1981. 560 с.

Поступила в редколлегию 02.06.2007

Павлов Александр Анатольевич, д-р техн. наук, проф., декан факультета информатики и вычислительной техники НТУУ «КПИ», директор НИИ Информационных процессов. Научные интересы: современная теория управления, математические методы исследования операций, статистического анализа и прогноза, труднорешаемые комбинаторные задачи и теория NP-полноты. Адрес: Украина, 03056, Киев, пр. Победы, 37, к.317/2-18, тел. (044) 236-19-70, pohilko@asu.ntu-kpi.kiev.ua

Лищук Екатерина Игоревна, ассистент кафедры АСОИУ НТУУ «КПИ». Научные интересы: теория принятия решений. Адрес: Украина, 03056, Киев, пр.Победы, 37, к.429/3-18, тел. (044) 456-68-41, kate@it.ua

ОСОБЕННОСТИ ПОСЕГМЕНТНОГО КОНТРОЛЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ПРИБЛИЖЕННЫХ ДАННЫХ

Рассматривается вопрос посегментного контроля результатов для рабочего диагностирования вычислительных устройств, выполняющих обработку приближенных данных. Определяются условия выполнения последовательного, последовательно-параллельного и параллельного контроля сегментов. Предлагаются горизонтальный и вертикальный подходы к выбору контрольных точек сегментов. Показывается, что вертикальный выбор контрольных точек обеспечивает многократно более простую реализацию средств контроля.

1. Введение

Рабочее диагностирование вычислительных устройств (ВУ) решает важную задачу оценки достоверности результатов вычислений на фактических данных. Разработаны эффективные методы обнаружения ошибок, вызываемых в вычисляемом результате характерными неисправностями современных ВУ [1, 2]. Использование этих методов для случая точных данных, т.е. целых по своей природе, демонстрирует высокую достоверность контроля результатов, поскольку любая ошибка делает его (как точное данное) недостоверным [3]. Для приближенных данных ошибки, вызываемые неисправностями, могут проявляться в старших верных или младших неверных разрядах и соответственно быть существенными или несущественными для достоверности результата [4], причем несущественные ошибки возникают значительно чаще существенных [5]. Поэтому для обработки приближенных данных методы рабочего диагностирования ВУ, имеющие традиционно высокую вероятность обнаружения ошибок, в основном, выявляют несущественные ошибки, что приводит к низкой достоверности контроля результатов вследствие отбраковки достоверных результатов [6].

2. Постановка задачи

Для повышения достоверности контроля результатов обработки приближенных данных необходимо различать существенные и несущественные ошибки, что возможно путем обнаружения существенных ошибок с большей вероятностью, чем несущественные. Такую задачу позволяет решать посегментный контроль, заключающийся в разбиении результата вычислений на сегменты разрядов, в пределах которых обеспечиваются заданные вероятности обнаружения ошибок, вызванных неисправностями цифровой схемы [7]. Для этого необходимо осуществить доступ к точкам схемы, позволяющим организовать контроль сегментов результата, что даже при наиболее экономичном последовательном во времени выборе точек требует аппаратных затрат, составляющих основную часть средств посегментного контроля. Поэтому ставится задача исследования возможности наиболее простого выбора контрольных точек цифровой схемы для выполнения проверки заданных сегментов результата с заданной вероятностью обнаружения ошибок.

3. Особенности посегментного контроля

Исходными данными для метода посегментного контроля являются:

- разбиение результата на сегменты разрядов $H_1, \dots, H_i, \dots, H_z$, где z – количество сегментов;
- вероятности P_i обнаружения ошибки в сегментах H_i , $i = 1 \div z$;
- точность m задания вероятностей P_i обнаружения ошибки, определяемая количеством значащих разрядов после запятой в представлении чисел P_i в системе счисления с основанием $q = 2$.

При задании вероятностей P_i обнаружения ошибки в системе счисления с основанием $q=10$ выполняется перевод этих чисел в двоичные с соответствующей точностью m . Одной, двум и трем десятичным цифрам после запятой соответствуют значения $m=4$, $m=7$ и $m=10$.

С учетом нумерации сегментов от первого, содержащего старшие разряды результата, до последнего, состоящего из младших разрядов, для вероятностей обнаружения ошибки устанавливается следующая последовательность неравенств: $P_1 > \dots > P_i > \dots > P_z$.

Результатом применения метода являются средства посегментного контроля, которые обеспечивают:

- заданную для каждого сегмента разрядов результата вероятность обнаружения ошибки;

- выявление собственных ошибок, вызываемых характерными неисправностями.

Возможны три вида выполнения контроля сегментов результата во времени:

- последовательный контроль, когда в каждый момент времени проверяется только один сегмент;

- последовательно-параллельный контроль, при котором организуется одновременная проверка нескольких сегментов разрядов результата, но не всех;

- параллельный контроль, заключающийся в одновременном контроле всех сегментов результата.

Разделение всего времени контроля между сегментами результата целесообразно планировать на ограниченном временном отрезке T – интервале времени контроля, который далее воспроизводится циклически на протяжении всего процесса рабочего диагностирования, т. е. до завершения вычислительной задачи, решаемой объектом диагностирования, или до обнаружения недостоверного результата.

Продолжительность интервала времени контроля определяется, исходя из точности m задания вероятностей P_i обнаружения ошибки в сегментах результата для системы счисления с основанием $q=2$, по следующей формуле: $T = q^m$.

Количество проверок N_i сегмента $i=1 \div z$, выполняемых на интервале времени T , определяет частоту контроля сегмента по формуле

$$F_i = N_i / T. \quad (1)$$

Вероятность обнаружения ошибки в сегменте результата определяется с учетом частоты F_i проверки сегмента по формуле

$$P_i = F_i P_D, \quad (2)$$

где P_D – вероятность обнаружения ошибки в разрядах сегмента при его контроле.

Тогда, согласно (1) и (2), для достижения вероятности P_i на интервале T необходимо выполнить $N_i = T P_i / P_D$ проверок сегмента i .

При этом суммарное количество проверок на интервале T составляет

$$N = \sum_{i=1}^z N_i = \frac{T}{P_D} \sum_{i=1}^z P_i = T P_{\text{SUM}} / P_D,$$

где $P_{\text{SUM}} = \sum_{i=1}^z P_i$.

Максимальное количество одновременно выполняемых проверок сегментов, которое имеет место при минимизации этого количества, определяется по формуле

$$N_T = \lceil N / T \rceil P_{\text{SUM}} / P_D,$$

где $\lceil \cdot \rceil$ – функция округления к целому числу в большую сторону.

Задаваемые вероятности обнаружения ошибок в сегментах могут регламентировать определенный вид контроля.

Утверждение 1. Последовательный во времени, т.е. поочередный контроль сегментов результата возможен только при выполнении следующего условия:

$$P_{SUM} \leq P_D. \quad (3)$$

Действительно, при выполнении неравенства (3) имеет место $N \leq T$ и $N_T = 1$, т.е. возможно обеспечение вероятности P_i для сегмента $i = 1 \div z$ результата в случае его проверки в течение P_i -й части времени. Очевидно, что при нарушении условия (3) $N_T > 1$ и найдется хотя бы один сегмент i с вероятностью меньшей, чем P_i , что не позволит обеспечить требуемый контроль всех сегментов результата последовательно.

Предельные возможности по организации последовательного контроля достигаются при $P_D = 1$, что приводит условие (3) к виду $P_{SUM} \leq 1$.

Утверждение 2. В случае выполнения условия

$$P_{SUM} > (n-1)P_D \quad (4)$$

возможен только параллельный во времени контроль сегментов результата.

Действительно, одновременная проверка всех сегментов результата позволяет обеспечить вероятности обнаружения в них ошибок с суммой P_{SUM} , удовлетворяющей условию (4). Однако при нарушении этого условия найдутся, по крайней мере, хотя бы два сегмента, для которых проверки могут быть совмещены во времени, т.е. возможен последовательно-параллельный или последовательный контроль сегментов.

При исключении условий, регламентирующих выполнение последовательного и параллельного контроля сегментов, определяется область использования последовательно-параллельного контроля сегментов результата в пределах, устанавливаемых неравенствами

$$P_D < P_{SUM} \leq (n-1)P_D.$$

Последовательно-параллельный контроль сегментов может быть применен вместо последовательного контроля, а параллельный – вместо последовательно-параллельного контроля. Однако такие подмены ведут к усложнению схемотехнических решений вследствие избыточного распараллеливания контрольных вычислений.

4. Выбор контрольных точек сегментов результата

Операцию выбора можно описать функцией МХ мультиплексора, которая определяет результат следующим образом:

$$M = MX(x_0, \dots, x_k, \dots, x_{2^r-1}, A_r),$$

где x_k – множество точек, над которым выполняется операция выбора; A_r – адрес выбираемой точки; $A_r = 0 \div 2^r - 1$, r – разрядность адреса, $k = 0 \div 2^r - 1$, $M = x_k$, если $A_r = k$.

Сложность такого мультиплексора по Квайну можно оценить по формуле $E_{MX} = r 2^r$.

Если вероятность обнаружения ошибки в методе, использованном для непосредственного контроля сегмента, $P_D < 1$, то вероятности P_i и точность их задания m (количество двоичных разрядов) корректируются, принимая соответственно значения P_i / P_D и m / P_D , и далее используются скорректированные значения P_i и m .

При точности m двоичных разрядов вероятность P_i обнаружения ошибки результата представляется m -разрядным двоичным кодом $0, P_{i1} \dots P_{ij} \dots P_{im}$.

Двоичные цифры P_{ij} составляют массив $P[1..z, 1..m]$ разрядов вероятностей P_i .

Поочередная организация проверки сегментов результата в течение интервала $T = 2^m$ времени контроля требует формировать последовательность номеров $0, \dots, 2^m - 1$, для чего может быть использован m -разрядный двоичный счетчик, вычисляющий адрес в виде двоичного кода $A_m = a_m \dots a_j \dots a_1$ с разрядностью m , $j = 1 \div m$.

Возможны два подхода к выбору контрольных точек сегментов – горизонтальный и вертикальный, определяемые направлением обработки массива $P[1..z, 1..m]$ разрядов вероятностей P_i обнаружения ошибки.

При горизонтальном подходе выбор всех сегментов результата, осуществляемый по одной контрольной точке, может быть выполнен путем ее выбора от i -го сегмента P_i раз, что требует использования P_{SUM}/P_D m -адресных мультиплексоров общей сложностью

$$E_{C1} = m 2^m P_{SUM}/P_D. \quad (5)$$

В этом случае выбор сегментов результата по всем точкам потребует $E_{CU} = E_{C1} U = m 2^m P_{SUM} U/P_D$, где U – количество контрольных точек одного сегмента.

Такое решение по выбору контрольных точек сегментов требует значительных аппаратных ресурсов, что существенно ограничивает возможности использования посегментного контроля.

Анализ решения, полученного в рамках горизонтального подхода, показывает на определенные возможности для упрощения обработки данных путем устранения или уменьшения многократного выбора одной и той же контрольной точки сегмента.

Метод, учитывающий такие возможности, реализуется в рамках вертикального подхода, обрабатывающего массив $P[1..z, 1..m]$ разрядов вероятностей P_i обнаружения ошибки по разрядным срезам.

Суть предлагаемого вертикального метода выбора сегментов состоит в преимущественно однократном выборе контрольных точек сегмента и выполнении двукратного выбора контрольной точки для задействования не полностью использованных возможностей функций выбора.

Вертикальный метод выбора сегментов по одной контрольной точке выполняется по следующему алгоритму.

1. Подсчитывается количество z_j сегментов, для которых в вероятностях P_i , $i = 1 \div z$, двоичные разряды $p_{ij} = 1$.

2. Вычисляется разрядность адреса функции выбора для обработки разрядного среза j массива $P[1..z, 1..m]$ по формуле

$$v_j = \lceil \log_2(z_j - \Delta z_{j-1}) \rceil v_j,$$

где $\Delta z_j = 0$ для $j = 0$.

3. Организуется выбор сегментов по разрядному срезу j массива $P[1..z, 1..m]$, с использованием функции MX_j выбора: $M_j = MX_j(x_0, \dots, x_k, \dots, x_{z_j^*-1}, A_{v_j})$, где x_k для $k < z_j$ – множество двоичных разрядов $p_{ij} = 1$, выбираемых однократно из текущего разрядного среза массива $P[1..z, 1..m]$; $z_j^* = 2^{v_j}$, $A_{v_j} = a_{v_j+j-1} \dots a_j$.

4. Определяются недоиспользованные позиции x_k функции выбора, находящиеся в пределах $z_j \leq k < z_j^*$.

5. Недоиспользованные позиции x_k заполняются парами двоичных разрядов $P_{ij+1} = 1$ следующего разрядного среза в пределах $z_j \leq k < z_j + \Delta z_j$, где Δz_j – количество таких пар, которое определяется с учетом ограниченного числа z_{j+1} двоичных разрядов $P_{ij+1} = 1$ следующего разрядного среза как $\Delta z_j = \text{Int}((z_j^* - z_j)/2)$ для $\Delta z_j \leq z_{j+1}$, $j < m$,

$$\Delta z_j = z_{j+1} \text{ для } \Delta z_j > z_{j+1}, j < m,$$

$$\Delta z_j = 0 \text{ для } j = m,$$

функция $\text{Int}()$ – целая часть числа.

6. Остальные $x_k = 0$ для $k \geq z_j + \Delta z_j$.

Алгоритм закончен.

В реализации выбора сегментов по предлагаемому методу используется $m \cdot z_j^*$ -адресных мультиплексоров. При $z_j^* = z/2$, что соответствует случаю равновероятного появления единицы и нуля в двоичном разряде P_{ij} вероятности P_i , выбор всех сегментов результата, осуществляемый по одной контрольной точке, может быть оценен по сложности как

$$E_{C1^*} = mz(\log_2 z - 1)/2,$$

что, согласно (5), и принимая $P_{SUM}/P_D = z/2$ с учетом $0 < P_{SUM}/P_D < z$, проще предыдущего варианта в $\delta E_{C1} = E_{C1}/E_{C1^*}$ раз: $\delta E_{C1} = 2^m / (\log_2 z - 1)$.

Например, при точности $m = 4$ двоичных разрядов и $z = 16$ средства выбора сегментов по одной контрольной точке упрощаются в 5,3 раза. При большей точности и меньшем количестве сегментов выигрыш увеличивается.

5. Заключение

Посегментный контроль результатов обработки приближенных данных предоставляет возможность различать существенные и несущественные ошибки, устанавливая заданные вероятности их обнаружения на сегментах разрядов результата. Для решения этой задачи необходимо выбирать контрольные точки сегментов, что для ВУ с матричным параллелизмом составляет основную по сложности часть средств контроля. Были рассмотрены два подхода к организации выбора контрольных точек сегментов: вертикальный и горизонтальный. Их сравнительный анализ показал, что метод с вертикальным выбором контрольных точек требует многократно меньших средств посегментного контроля.

Список литературы: 1. *Селлерс Ф.* Методы обнаружения ошибок в работе ЭЦВМ. М.: Мир, 1972. 310 с. 2. *Журавлев Ю.П., Котелюк Л.А., Циклинский М.И.* Надежность и контроль ЭВМ. М.: Сов. радио, 1978. 416 с. 3. *Согомонян Е.С., Слабаков Е.В.* Самопроверяемые устройства и отказоустойчивые системы. М.: Радио и связь, 1989. 208 с. 4. *Демидович Б.П., Марон И.А.* Основы вычислительной математики. М.: Физматгиз, 1966. 664 с. 5. *Дрозд А.В.* On-line testing of computing circuits at approximate data processing // Радиозлектроника и информатика. 2003. №3. С. 113 – 116. 6. *Drozd A., Lobachev M., Drozd J.* The problem of on-line testing methods in approximate data processing // Proc. 12th IEEE International On-Line Testing Symposium, Como, Italy, 10 – 12 July. P. 251 – 256, 2006. 7. *Реза Колахи.* Использование посегментного контроля в вычислительных устройствах с матричным параллелизмом // Холодильна техника і технологія. 2007. № 1. С. 95 – 96.

Поступила в редколлегию 15.06.2007

Дрозд Александр Валентинович, д-р техн. наук, профессор кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Научные интересы: рабочее диагностирование вычислительных устройств. Адрес: Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, тел.: (0482) 47-33-84, e-mail: Drozd@ukr.net

Реза Колахи, аспирант кафедры компьютерных интеллектуальных систем и сетей Одесского национального политехнического университета. Научные интересы: рабочее диагностирование вычислительных устройств. Адрес: Украина, 65044, Одесса, пр. Шевченко, 1, тел.: (0482) 47-33-84, e-mail: rezakolahi@yahoo.com.

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ФИНАНСОВЫМИ РЕСУРСАМИ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Систематизируются и классифицируются задачи управления многоуровневыми бизнес-структурами с точки зрения их финансово-экономической деятельности. Предлагается комплекс математических моделей, на основе которых решаются задачи мониторинга и оптимизации финансовой деятельности предприятий.

1. Введение

Одной из важнейших задач подавляющего большинства предприятий является улучшение их финансово-экономического состояния в условиях дефицита оборотных средств [1,2]. Это связано и с высокими темпами внедрения инноваций, с осторожной кредитной политикой банков и обострением конкуренции. В таком случае весьма актуальной является задача разработки эффективных механизмов управления оборотными средствами в различных бизнес-структурах. В данной статье систематизированы и формализованы типичные задачи оптимального управления финансовыми потоками в целях максимизации прибыли.

Под задачами принятия финансовых решений обычно понимаются задачи, в которых возникает проблема выбора одной альтернативы из ряда возможных. При этом выбранная альтернатива должна быть наиболее предпочтительной (выгодной) с финансовой точки зрения. Понятие «выгодности» конкретизируется при выборе цели и критериев ее достижения. В работе в качестве основных критериев финансовой выгодности рассматриваются прирост наличия (Cash) на конец периода или прирост маржинальной прибыли.

Цель работы состоит в классификации и формализации типичных задач управления финансовой деятельностью многоуровневой бизнес-структуры. Для реализации поставленной цели предложен ряд соответствующих математических моделей, на базе которых можно решать различные задачи по оптимизации бухгалтерской и управленческой деятельности предприятия.

2. Классификация задач принятия решений по финансовому мониторингу предприятия

Рассмотрим пять групп задач принятия выгодных финансовых решений.

Группа I – «Цели и финансово-экономическая стратегия». В эту группу входят следующие задачи: формулировка финансово-экономической цели и выбор системы критериев, характеризующих ее достижение; выбор целевой установки (желаемого финансового состояния, т.е. желаемых значений критериев); выбор желаемого изменения структуры капитала (баланса); выбор приоритетных направлений деятельности, обеспечивающих основной вклад в достижение целей.

Группа II – «Рынок покупателей и поставщиков». В эту группу входят следующие задачи: выбор наиболее выгодной структуры поступления платежных средств (доли денег, бартера, ценных бумаг и пр.); выбор наиболее выгодного варианта ассортиментной политики (долей продаж по позициям ассортимента продукции в динамике) и распределение оборотных средств между позициями; выбор ценовой политики; выбор рациональной структуры форм оплаты (доли предоплаты, оплаты по факту, в рассрочку); выбор экономически выгодных стратегических клиентов, поставщиков и партнеров; выбор выгодного варианта организации развития каждого из бизнесов.

Группа III – «Рынок капитала. Платежи». В эту группу входят следующие задачи: выбор внешней инвестиционной политики; выбор выгодного варианта взятия и возврата заемных средств (источники, объемы и сроки); выбор политики работы с кредиторской и дебиторской задолженностью; выбор налоговой политики.

Группа IV – «Внутренние задачи текущего управления финансами (оборотными средствами)». В эту группу входят следующие задачи: выбор выгодного уровня бюджета

фирмы в целом; выбор сроков оборачиваемости оборотных средств; выбор уровня снижения затрат; выбор уровня и системы оплаты труда; выбор механизмов экономического стимулирования подразделений; выбор правил принятия решений по распределению оборотных средств между бизнесами; выбор варианта бездефицитных (реализуемых) финансовых потоков по бизнес-единицам и фирме в целом; выбор выгодного варианта бюджетов подразделений фирмы и структуры финансовых потоков; выбор согласованной учетной политики (бухгалтерский и управленческий учет); выбор правил принятия решений при отклонении от плана (механизмов оперативного управления и корректировки).

Группа V – «Комплексное управление развитием». В эту группу входят следующие задачи: выбор потенциального максимально выгодного ассортимента; формирование проектов распределения и модификации ассортимента с оценкой затрат и результатов; проектирование новых и перепроектирование (реинжиниринг) существующих бизнес-процессов по каждой позиции ассортимента; выбор финансово наиболее выгодного варианта параметров каждого бизнес-процесса, формирование проекта его развития, оценка затрат и результатов; выделение ключевых «узких мест» фирмы и формирование проектов развития соответствующих подразделений и механизмов управления с оценкой затрат и результатов; формирование требований и программы развития персонала с оценкой затрат и результатов; выбор варианта использования собственных средств (долей потребления, оборотных средств и капитальных вложений в развитие); обоснование взятия заемных средств на развитие; принятие решений о выборе проектов программы развития для реализации; выбор правил принятия решений при оперативном управлении реализацией программы развития.

В практике управления финансами фирмы решается весь комплекс перечисленных (и других) задач. Сначала эти задачи рассматриваются и решаются применительно к элементарным и типовым БП, затем – к более сложным.

В настоящее время особое внимание уделяется решению задач по управлению оборотным капиталом (финансовыми потоками) предприятия как хозяйствующего субъекта. Оборотные средства являются одной из составных частей имущества предприятия [1]. Это активы предприятия, возобновляемые с определенной регулярностью для обеспечения текущей деятельности, вложения в которые, как минимум, однократно оборачиваются в течение года или одного производственного цикла, если последний превышает год. Состояние и эффективность их использования – одно из главных условий успешной деятельности предприятия. Высокая инфляция, неплатежи и другие кризисные явления вынуждают предприятия изменять свою политику по отношению к оборотным средствам, искать новые источники пополнения, изучать проблему эффективности их использования.

Анализ эффективности использования оборотных средств предприятий производится значительным числом хозяйствующих субъектов. Однако финансовые службы, как правило, используют для этого стандартный набор методик, которые им предоставляет финансовая наука (рейтинговая (бальная) оценка, финансовая диагностика, ревизия и аудит). Основными их достоинствами является простота расчетов на базе бухгалтерской отчетности.

В последнее время усиливается роль прогнозного анализа, например, прогнозирование будущих денежных и финансовых потоков, позволяющего составить обоснованный бизнес-план, в частности, план финансового оздоровления. Поэтому использование только традиционных методов финансовой математики не всегда позволяет всесторонне проанализировать существующие бизнес-процессы, протекающие на предприятиях, а, главное, не всегда позволяет адекватно спрогнозировать их в будущем. В то же время, прогноз бизнес-процессов и финансовых потоков является, например, одной из важнейших процедур при принятии решения о финансировании банком конкретного бизнеса. Следует отметить, что в настоящее время такой прогноз обычно строится «на основе объема реализации и цены продукции, обоснованным либо маркетинговым планом, либо схемами по контрактам типа take or pay. Кроме того, анализ денежных потоков строится на основе анализа инвестиционных и текущих затрат, а также графика их осуществления» [2].

Одним из путей решения этой проблемы является применение методов экономико-математического моделирования. Из всего многообразия методов моделирования струк-

турно-сложных экономических систем можно выделить два основных “работающих” класса: эконометрика, имитационное моделирование.

Методы эконометрики используются для поиска и проверки общих закономерностей, связывающих траекторные переменные системы и переменные внешней среды. А поскольку измерение любых величин, в особенности экономических, связано со случайными ошибками, то применение аппарата математической статистики для анализа вероятностных свойств этих величин неизбежно.

3. Виды и особенности моделей финансового анализа

В настоящее время финансовый анализ предприятий проводится с помощью различного типа моделей, которые позволяют структурировать и идентифицировать взаимосвязи между основными показателями. Можно выделить 3 основных типа моделей [2]: дескриптивные, предикативные и нормативные.

Дескриптивные модели, известные также как модели описательного характера, являются основными для оценки финансового состояния предприятия. К ним относятся: построение системы отчетных балансов, представление финансовой отчетности в различных аналитических разрезах, вертикальный и горизонтальный анализ отчетности, система аналитических коэффициентов, аналитические записки к отчетности. Все эти модели основаны на использовании информации бухгалтерской отчетности.

Предикативные модели, или модели предсказательного, прогностического характера используются для прогнозирования доходов предприятия и его будущего финансового состояния. Наиболее распространенными являются расчет точки критического объема продаж, построение прогностических финансовых отчетов, модели динамического анализа (жестко детерминированные факторные модели и регрессионные модели), модели ситуационного анализа.

Нормативные модели. Модели этого типа позволяют сравнить фактические результаты деятельности предприятий с ожидаемыми, рассчитанными по бюджету. Эти модели используются, в основном, во внутреннем финансовом анализе. Их сущность сводится к установлению нормативов по каждой статье расходов по технологическим процессам, видам изделий, центрам ответственности и к анализу отклонений фактических данных от этих нормативов. Анализ в значительной степени базируется на применении жестко детерминированных факторных моделей.

Использование эконометрических моделей предполагает представление объекта в виде “черного ящика” и формальное исследование зависимостей между переменными, например, на основе системы одновременных уравнений. Однако для прогноза динамики многофакторных процессов, таких как прибыль банка, применение эконометрики существенно ограничено.

Имитационное моделирование опирается на знание содержательных закономерностей происходящего процесса и позволяет алгоритмически описать сложные нелинейные взаимодействия внешних, управляющих и траекторных (фазовых) переменных.

Данный подход предоставляет исследователю следующие возможности: оценка последствий различных сценариев (“что будет, если...?”); моделирование показателей, по которым отсутствует ретроспективная информация или её недостаточно (например, поведение банков в ситуации системного кризиса); моделирование нелинейных воздействий и внутренних механизмов, действующих в экономике (например, регулятивных мер денежно-кредитной политики); проведение многократных модельных экспериментов, позволяющих собрать статистику о будущем поведении системы.

4. Формализация моделей управления финансами на уровне элементарных бизнес-процессов (ЭБП)

Применение данных типов моделей для анализа и управления финансовыми ресурсами и, в частности, оборотными средствами требует аналитического моделирования БП предприятия с финансовой точки зрения. Поэтому одно из направлений управления финансовыми ресурсами предприятия предполагает использование моделей выделенных выше классов для описания и анализа БП [3,4].

Рассмотрим элементарный БП производства и продажи за деньги единичного заказа (услуги). Комплексная модель такого ЭБП будет состоять из двух моделей.

Модель 1. Процессная модель, описывающая основной бизнес-процесс превращения вложенных в ЭБП денег в новые деньги, полученные в результате реализации ЭБП. Для этого используются модели, описывающие поток работ (как правило, сетевая модель работ или блок-схема информационного процесса).

Модель 2. Финансовая модель, дающая описание динамики расходов (затрат, платежей), наличия от стартового вложения оборотных средств; притока (поступлений) денежных средств и формирования доходов (наличия) по ходу реализации ЭБП. Для этого используется модель, описывающая финансовые потоки.

Предполагается, что все требуемые для реализации ресурсы и их перетоки от одного бизнес-цикла к другому (или от одного БП к другому) описываются в финансовой модели в стоимостном выражении. В качестве основной модели используется модель потока финансов (Cash flow).

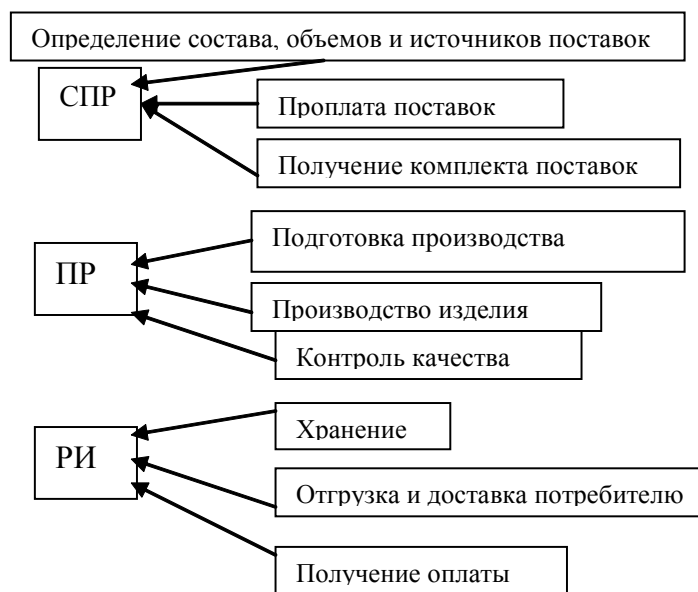
В общем случае процессная модель ЭБП описывается графом $G(U, 1)$, где $1 = \{i\}$ – множества вершин, соответствующих операциям (работам), $U = \{u_{ij}\}, i, j \in I$ – множества дуг, определяющих порядок выполнения операций.

Инструментарий сетевого планирования работ (ориентированные графы без циклов и петель) хорошо разработан. Он далее не рассматривается. Отметим только, что он дает возможность описывать комплексы работ, строить их календарные планы, определять сроки с выделением критических путей, определять в динамике запросы требуемых ресурсов, в том числе в стоимостном эквиваленте. В случае принятия финансового решения о выделяемых ресурсах эти методы дают возможность распределить полученные ресурсы по работам и контролировать ход выполнения работ.

Работа ограничивается двумя укрупненными процессными моделями жизненного цикла БП:

- модель 1а (М1а), состоящая из одной операции продолжительностью t ;
- модель 1б (М1б), состоящая из последовательности (цепочки) операций жизненного цикла (ЖЦ) ЭБП (далее модель ЖЦ ЭБП).

Модель ЖЦ ЭБП состоит минимум из трех операций, две из которых – материальное обеспечение (снабжение) и реализация продукции (сбыт) – относятся к коммерческой части БП, одна (средняя) – к производственной части (рисунок).



Минимальный жизненный цикл основного ЭБП

В свою очередь, эти три операции будем детализировать следующим образом (МЖЦ ЭБП из 9 операций):

- снабжение:

- 1) определение состава, объемов и источников поставок;
- 2) оплата поставок;
- 3) получение комплекта поставок;

- производство:

- 1) подготовка производства и компонент;
- 2) производство изделия;
- 3) контроль потребительских качеств изделия;

- реализация (сбыт):

- 1) хранение;
- 2) отгрузка и доставка потребителю;
- 3) получение оплаты.

Перейдем к модели 2 (финансовой модели).

БП в целом (и каждая операция) характеризуется продолжительностью t и минимально необходимым для его выполнения объемом ресурса C , а также получаемым финансовым результатом S .

Тогда финансовая модель ЭБП в простейшей форме в динамике в каждый момент (период) времени t (далее имеется в виду, что единичный период времени задан: час, день, неделя и т.п.) описывает:

- наличие денег S_0^H на начало периода в момент времени $t=0$, $t \in [0, \tau]$;

- поступление (приход, приток) денежных средств $\{S_t\}$, $t \in [0, \tau]$, где S_t – объем $S > 0$ поступающих денег за единичный период t , $t \in [0, \tau]$ – продолжительность ЭБП;

- платежи (расход, отток) денежных средств $\{C_t\}$, $C_t > 0$, $t \in [0, \tau]$;

- изменения (сальдо) $\{F_t\}$, $F_t = S_t - C_t$ за период t , $t \in [0, \tau]$;

- остаток средств F_t (наличие) на конец периода t , $t \in [0, \tau]$.

В общем случае модель финансового потока описывается следующими соотношениями:

$$F(t) = S_0^H + \sum_{k=1}^t f(k); \quad (1)$$

$$f(t) = S(t) - C(t); \quad (2)$$

$$S(t) = \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^n S_{lj}(t); \quad (3)$$

$$C(t_k) = \sum_{v=1}^P \sum_{p=1}^n \sum_{j=1}^m C_{pjv}(t_k); \quad (4)$$

$$F(t) \geq 0; \quad \forall t \in [0, T], \quad (5)$$

где t – интервал времени $t \in [0, T]$; T – плановый период; $F(t)$ – наличие (cash, сальдо нарастающим итогом, остаток на конец периода) в момент времени t ; S_0^H – сумма наличия на начало периода; $C(t)$ – платежи в момент времени t ; $S(t)$ – поступления в момент времени t ; $f(t)$ – сальдо (изменение наличия за период); p – статья расхода $p = 1, 2, \dots, P$; l – статья дохода (поступления) $l = 1, 2, \dots, L$; j – индекс бизнес-процесса $j = 1, 2, \dots, n$; v – индекс организационного подразделения (группы БП) $v = 1, 2, \dots, M$.

Выражение (5) является необходимым условием финансовой реализуемости БП, для которого анализируется финансовый поток.

Модель минимальной сложности для задачи максимизации наличия на конец периода включает два соотношения (1) и (2) и ограничение (5). Тогда модель сводится к виду:

$$F(T) = S_0^H + \sum_{l=1}^T (S(l) - C(l)) \rightarrow \max ; \quad (6)$$

$$F(T) = S_0^H + \sum_{l=1}^t (S(l) - C(l)) \geq 0 ; \quad \forall t' \in [0, T] . \quad (7)$$

Если хотя бы для одного $t \in [0, T]$ $F(t) < 0$, это означает, что в этом периоде имеется дефицит, БП не реализуем из-за необеспеченности финансами. Требуется или сформировать новый поток, бездефицитный по (5), из множества возможных вариантов (поля возможностей), или (если это невозможно) взять заемные средства в таких объемах, чтобы выполнялось требование (5).

Этой модели (5), (6) соответствует табличный метод расчета. Форма документа «Финансовый поток (план движения денежных средств)». Наличие на начало периода $S^H(0)$ помещается в строке 4 интервала времени 0. Эта таблица и алгоритм удобны как для ручных расчетов, так и для программирования в электронных таблицах.

В бухгалтерском исполнении часто вводится еще одно понятие «остаток (наличие) на начало периода» $\underline{F}(t)$. Эта величина совпадает с наличием $F(t-1)$ на конец предшествующего периода. Тогда, хотя сложность модели уже перестает быть минимальной, расчеты становятся автономными по каждому периоду времени (баланс на каждый период), а форма документа соответствует принятой в бухучете, что важно на практике для согласования процедур планирования финансовых потоков (составления плана движения денежных средств) и процедур учета и контроля фактических финансовых потоков [5].

В этом случае формула (1) заменяется тремя конечно-разностными уравнениями:

$$F(t) = \underline{F}(t) + f(t) ;$$

$$\underline{F}(t) = F(t-1) ;$$

$$F(0) = S_0^H .$$

Эти соотношения сводятся к следующей конечно-разностной модели:

$$F(t) = F(t-1) + f(t) ; \quad t = 1, 2, \dots, T ; \quad (8)$$

$$F(0) = S_0^H . \quad (9)$$

В табличной форме добавляется еще одна строка «остаток на начало периода», а последняя «наличие (cash)» заменяется на «остаток на конец периода».

Если не имеется исходных данных для рассмотренной самой простой модели, то производится расшифровка исходных данных (поступлений и платежей) по статьям расхода, подразделениям (группам, например, потребителей) и конкретным БП вплоть до ЭБП. Это зависит от учетной политики, принятой на фирме, и от уровня руководства, на котором проводится анализ и принятие решения. Соответственно, в самом полном виде, удобном для дальнейшего анализа, аналитическое выражение для консолидированного финансового потока (наличия, cash, остатка на конец любого периода t , $t \in [0, T]$) имеет вид:

$$F(t) = S_0^H + \sum_{k=1}^t \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} S_{kplj} - \sum_{k=1}^t \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} C_{kplj}^{\text{пер}} - \sum_{k=1}^t \sum_{p \in P} \sum_{l \in L} C_{kpl}^{\text{пост}} - \sum_{k=1}^t \sum_{p \in P} C_{kp}^{\text{но}} - \sum_{k=1}^t I_k ; \quad t = 1, 2, \dots, T.$$

Здесь полная сумма платежей разбита на группы, удобные для дальнейшего рассмотрения: переменные затраты $C^{\text{пер}}(t)$, постоянные затраты $C^{\text{пост}}$ (не зависят от индекса j), налоги и прочие отчисления $C^{\text{но}}$ по статьям p и инвестиции (меры по улучшению основных БП и развитию системы обеспечения БП).

Ниже рассматривается декомпозиция этой модели финансовых потоков в иерархической системе. Возможны различные постановки оптимизационных задач при различных ограничениях:

- на наличие денег;
- на объем кредита (кредитную линию);
- на ресурсы типа мощности (на «пропускную способность» системы, обеспечивающей БП);
- на уровень требуемых результатов и т.п.

В этом случае общая задача выбора наиболее выгодного варианта бизнеса, сформулированная как задача оптимизации финансового потока, сводится к задаче линейного программирования, для которой имеются стандартные программные средства.

Приведем пример двух вариантов модели линейного программирования [6, 7].

Модель ЛПП-1:

$$F(T) = \sum_{t=1}^T \sum_{p \in P} \sum_{j \in J_1} S_{pj}(t) - \sum_{t=1}^T \sum_p \sum_j a_{jp} S_{pj}(t) - C^{HO} - \sum_{t=1}^T I(t) \rightarrow \max ; \quad (10)$$

$$\sum_j S_{jp}(t) \leq S_{p1}^0(t) ; \quad (11)$$

$$\sum_j a_{jp}(t) S_{jp}(t) \leq C_p^{0пер} , \quad (12)$$

где $S_{p1}^0(t)$ – ограничение по емкости рынка на продукцию вида p ;

$C_p^{0пер}$ – ограничение на оборотные средства или на пропускную способность p -й обеспечивающей службы (производственной, снабжения, финансовой, кадровой и др.);

a_{jp} – удельные расходы соответствующих ресурсов (их доля в выручке S_{jp}).

Модель ЛПП-2:

$$M_T \rightarrow \max ; \quad (13)$$

$$\sum_{i=1}^n C_{0j} x_j + M_0 = S^H(0) + K(0) ; \quad (14)$$

$$\sum_{i=1}^n C_{1j} x_j + K(0)(1 + r_k) + M_1 = S(1) + (1 + r_m)M + K(1) ;$$

$$\dots \dots \dots$$

$$\sum_{i=1}^n C_{tj} x_j + K_{t-1}(1 + r_k) + M_t = S(t) + (1 + r_m)M_{t-1} , \quad (15)$$

$$\sum_{i=1}^n C_{Tj} x_j + K_{T-1}(1 + r_k) + M_T = S(T) + (1 + r_m)M_{T-1} ,$$

где M_t – остаток нераспределенных средств в периоде t , который кладется на депозит под процент r_m на период; K_t – кредит под процент r_k на период; M_T – деньги на конец периода.

5. Выводы

Научная новизна. Предложен комплекс моделей, на основе которых можно осуществлять мониторинг финансового состояния фирмы по косвенным данным.

Практическая значимость состоит в том, что предложенные модели позволяют прогнозировать и оптимизировать работу предприятия в части финансовой деятельности.

Сравнение с аналогами. Большинство современных бухгалтерских программ, таких как 1С, направлены на автоматизацию работы бухгалтерии и не решают задач финансового анализа и перспективного планирования. Предложенные в статье модели формализуют наиболее типичные ситуации, связанные с прогнозированием и моделированием финансовой деятельности.

Список литературы: 1. *Ван Хорн Дж.* Основы управления финансами: Учеб. пособ. / Пер. с англ. под ред. М.Елисеевой. М.: Финансы и статистика, 2003. 799 с. 2. *Ковалев В.В.* Финансовый анализ: методы и процедуры. М.: Финансы и статистика, 2002. 559 с. 3. *Карпинская В.* Поделим риски // Прямые инвестиции. 2004. №7. С. 62 – 65. 4. *Вендров А.М.* Методы и средства моделирования бизнес-процессов // Информационный бюллетень «Jet Info». 2004. № 10(137). С. 1–32. 5. *Минко Е.П., Слипченко Е.В.* Математические модели финансовых потоков возникающих, в процессе деятельности многоуровневых бизнес-структур // Радиоэлектроника и информатика. 2003. №1. С.140–143. 6. *Слипченко Е.В.* Исследование влияния экономических факторов на рентабельность деятельности бизнес-структур // Автоматизированные системы управления и приборы автоматизации. 2002. Вып. 119. С.16 – 21. 7. *Слипченко Е.В.* Оптимальное управление оборотными средствами с учетом специфики банка // Радиоэлектроника и информатика. 2004. № 2. С.140-144.

Поступила в редколлегию 23.05.2007

Слипченко Елена Викторовна, канд. техн. наук, с.н.с. ПНИЛ АСУ ХНУРЭ. Научные интересы: моделирование и управление бизнес-процессами. Адрес: Украина, 61166, Харьков, пр. Ленина, 14, тел: (057)702–(раб.)

РЕФЕРАТИ

УДК 519.713:681.326

Моделі та архітектура вейвлет-перетворень для стандарту JPEG 2000 / I.V. Хаханова, I.O. Побеженко, В.І. Хаханов // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.4-12.

Запропоновані архітектурні моделі конвеєрних обчислювальних пристроїв системного рівня описання, котрі суттєво зменшують цикл проектування виробів цифрової обробки сигналів. Представлена практична реалізація фільтра, яка підтверджує ефективність розробленого маршруту проектування з використанням програм Simulink із середовища Matlab та Active HDL, Aldec Inc.

Табл. 6. Іл. 11. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 519.713:681.326

System design modeling and architecture for JPEG 2000 wavelet transformation/ I.V. Hahanova, I.A. Pobezhenko, V.I. Hahanov // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.4-12.

Architectural model of pipeline digital units of system level description are offered. Such models are oriented for efficient decreasing DSP design circle. Practical filter implementation into SoC is considered as a weighted proof for the suggested design route by using Matlab and Active-HDL tools.

Tab. 6. Fig. 11. Ref.: 9 items.

УДК 537.86

Чисельний розрахунок динаміки електротеплових процесів у провідних структурах сучасних мікросхем при впливі електромагнітних полів / В.В. Старостенко, Є.П. Таран, М.П. Грибський, Г.І. Чурюмов, М.І.Трибрат // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.13-18.

Чисельно-аналітичним методом вирішене завдання динаміки розвитку електротеплових процесів у неоднорідних мідних мікроструктурних елементах інтегральних мікросхем при впливі потужних електромагнітних полів. Отримано граничні значення напруженості електромагнітного поля, що характеризують процеси “локальної деградації” у неоднорідних провідних структурах сучасних мікросхем.

Іл.6. Бібліогр.:9 назв.

UDC537.86

Numerical calculation of electrothermal processes' dynamics in conducting structures of modern microcircuits at influence of electromagnetic fields / V. V. Starostenko, Ye. P. Taran, M. P. Gribskiy, G. I. Churyumov, M.I.Tribrat // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.13-18.

In work a problem of development electrothermal processes' dynamics in non-uniform copper microstructural elements of integrated microcircuits at influence of powerful electromagnetic fields is solved by numerical-analytical the method. Threshold values of the electromagnetic field's intensity, describing processes of “local degradation” in non-uniform conducting structures of modern microcircuits are received.

Fig.6. Ref.:9 items.

УДК 004.231.3

Цифрова система для вивчення мікроконтролерів через Інтернет / Б.Г. Шеховцов, А.С. Беспалов, Д.Г. Галін // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.19-27.

Існує безліч систем розробки апаратного та програмного забезпечення для мікроконтролерів. Деякі з них застосовуються для навчання студентів. Але, незважаючи на всі переваги, які дають ці пакети, у студентів немає можливості одержати практичний досвід у розробці реального пристрою. Для того щоб заповнити цей пробіл, був розроблений універсальний лабораторний стенд. У складі стенду є кілька нових модулів, таких як модуль USB, модуль АЦП високої точності, модуль енергонезалежної пам'яті й декілька інших, які значно збагачують і розширюють можливості даного стенду.

Іл. 11. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 004.231.3

Digital system for studying microcontrollers via internet / B.G. Shehovtsov, A.S. Bepalov, D.G. Galin // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.19-27.

At present time the ensemble of the systems of the development hardware and software for microcontrollers exists. Some of them are used for learning student. But, in spite of all advantages, which give these packages, beside student of no possibility to get the practical experience in development real device. For the reason fill this gap, is designed universal laboratory stand.

There are several new modules in composition of the stand such as USB module, high precision ADC module, nonvolatile memory and several others, which vastly enrich and increase the possibility given stand.

Fig. 11. Ref.: 8 items.

УДК 004.7

Підсистема прогнозування часової характеристики сходу лавини / Д.В. Фастова // АСУ та прилади автоматички. 2007. Вип. 139. С.27-31.

Розглянута актуальна проблема створення й функціонування підсистеми прогнозування, яка є складовою частиною геоінформаційної системи, призначеної для вирішення задач, пов'язаних з попередженням лавинної небезпеки. Визначена структура інформаційного забезпечення геоінформаційної системи, показані зв'язки між елементами інформаційного забезпечення, її функціями й задачами. Виділено основні задачі підсистеми прогнозування, серед яких головною є проблема прогнозування часу сходу лавини. Наведені етапи функціонування підсистеми прогнозування. Запропоновано метод прогнозування часової характеристики сходу лавини, який базується на побудові двох видів моделей: інтерпретаційної моделі лавинного клімату й нечіткої моделі інтерпретації часової характеристики лавинного сходу.

Л. 3. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.7

Forecast subsystem of avalanching time characteristic / D. Fastova // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.27-31.

Given paper is dedicated to the important problem of the forecast subsystem developing and functioning, which is the component part of the geo-information system, designed for the solution of problems, connected with avalanche danger prevention. The dataware structure of a geo-information system is determined; the connections between the elements of dataware, its functions and tasks are shown in the paper. Also basic tasks of the forecast subsystem are chosen. The main one is the problem of the avalanching time forecast. The stages of the functioning of the forecast subsystem are given. The method of time characteristics forecast of the avalanching, which is based on developing of two kinds of models such as the interpretation model of avalanche climate and fuzzy model of the interpretation of the avalanching time characteristic forecast is proposed.

Fig. 3. Ref.: 7 items.

УДК 004.5; 004.7; 004.8

Розробка інструментальних засобів забезпечення прийняття рішень для попередження та управління в надзвичайних природних ситуаціях / О.Я. Кузьомін // АСУ та прилади автоматички. 2007. Вип. 139. С.31-37.

Пропонується комплексна об'єктно-орієнтована методика системного аналізу надзвичайних природних ситуацій для ситуаційного моделювання предметної області, що відрізняється від існуючих високою адаптивністю до складних скороминучих процесів, використовує зв'язок кількісних баз даних, що мають постійні й змінні параметри, та якісні показники (на основі логічних баз знань) для створення інформаційного простору об'єкта керування, що дає можливість підвищити надійність і швидкість обробки апріорних і контрольованих даних, а також підвищити ефективність прийняття рішень.

Л. 1. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 004.5; 004.7; 004.8

Working out of tool means of maintenance of decision-making for the prevention and management in extreme natural situations / О. Ya. Kuzemin // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.31-37.

The complex object-oriented technique of the system analysis of extreme natural situations for situational modelling of a subject domain which differs from existing high adaptability to difficult swift-flowing processes is offered uses communication of the quantitative databases having constants both variable parametres, and quality indicators (on the basis of logic knowledge bases) for creation of an information field of object of management that gives the chance to raise reliability and speed of processing of aprioristic and controllable data and also to raise efficiency of decision-making.

Fig. 1. Ref.: 5 items.

УДК 621.03/620.9.91

Чисельно-аналітична модель переносу носіїв у фотоперетворювачах на гетеропереходах a-Si:H - c-Si / М.І. Сліпченко, М.О. Биков, С.О. Зуєв, А.С. Мазінов // АСУ та прилади автоматички. 2007. Вип. 139. С.43-47.

Розроблені основні положення моделі для дослідження залежності фотопровідності гетеропереходів a-Si:H - c-Si в кінетичному наближенні. Проведено розрахунок залежності питомої провідності плівки a-Si:H, отриманої магнетронним методом, від температури. Порівняння отриманих результатів з експериментальними даними показало ефективність даного методу моделювання.

Л. 2. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 621.03/620.9.91

Numerically-analytical model of carriers carry in photoconverters on heterojunction a-Si:H - c-Si / N.I.Slipchenko, M.A.Bykov, S.A.Zuev, A.S.Mazinov // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.43-47.

The main positions of model for research of dependence of heterojunction a-Si:H - c-Si photoconductivity in kinetic approach are developed. The conductivity dependence from temperature calculation of a-Si:H fin film, that was manufactured by magnetron method, is lead. Comparison of the received results with experimental data has shown efficiency of the given method.

Fig. 2. Ref.: 8 items.

УДК 519.711

Визначення оптимальної кількості ресурсів для попередження та локалізації надзвичайних ситуацій / О.М. Олішевська // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.48-59.

Розроблена методологія вирішення задачі розподілення ресурсів (сил та засобів), що відноситься до етапу проектування інформаційно-аналітичної системи попередження, локалізації та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій.

Лл. 13. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 519.711

Determining an optimum amount of resources in the purpose of warning and localization of extraordinary situations / O.N.Olshchivskaja // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.48-59.

The methodology of task solving regarding distributing of resources (forces and facilities), that covers a designing stage of information-analytical system of warning, localization and liquidation of consequences of extraordinary situations is developed.

Fig 13. Ref.: 4 items.

УДК 004.8 : 004.932.2

Вибір ефективного методу опрацювання зображень на основі еталону для ідентифікації елементів жестової мови / М.В. Давидов, Ю.В. Нікольський, В.В. Пасічник // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.59-68.

Описана якість та швидкодія методу піксельного порівняння зображень, методу порівняння зображень з спотвореннями та методу порівняння зображень із зсувами, який запропоновано авторами, з метою ідентифікації жесту української жестової мови. Досліджено різні функції порівняння пікселів зображень. Запропонований метод порівняння зображень із зсувами показав кращу якість ідентифікації жестів від відомих методів. Введені функції порівняння окремих пікселів зображення підвищили якість розпізнавання за новим та за існуючими методами.

Табл. 8. Лл. 2. Бібліогр.: 4 назви.

UDC 004.8 : 004.932.2

Effective Sample Based Image Processing Method Choice for Sign Language Elements Identification / M.V.Davydov, I.V.Nikolskiy, V.V.Pasichnyk // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.59-68.

The quality and processing speed of pixel-based image comparison methods are compared for a sign language elements identification purpose. Per-pixel method, distortion-based method and shift-invariant image comparison method are compared. The shift-invariant image comparison method is proposed by authors. Several pixel comparison functions are compared. The shift-invariant image comparison method shows the best quality for hand pose identification compare to other methods. Proposed pixel comparison functions increase the identification quality for all methods.

Tab. 8. Fig. 2. Ref.: 4 items.

УДК 004:681.5

Математична модель технології формування навчального плану відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу / І.С. Ясенова // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.68-73.

Показана доцільність створення інформаційних технологій формування навчальних планів, сформульовано мету та задачу дослідження. Визначено та формалізовано елементи навчального плану. Представлені формули, що визначають навантаження студентів за видами навчальної діяльності. Розглянуті способи розміщення навчальних модулів у часі, причини їх виникнення та відмінності між ними. Введені поняття модуль-предок, модуль-нащадок та резерв часу. Сформульована задача генерації навчального плану, визначена цільова функція, розроблена математична модель технології формування навчального плану відповідно до кредитно-модульної системи організації навчального процесу.

Лл. 3. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 004:681.5

The Mathematical model to technologies of the creation the education plan in ECTS. / I.S.Yasenova // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.68-73.

Need of the creation information technology of the creation the education plan was described. Purpose and problem of the research are designed. They were determined and formalized elements of the education plan. Formulas, which define volume of the work a student on type of scholastic activity, are presented. Ways to organizations of the modules at time and differences between them were described. Terms module-ancestor, module-descendant, reserve hour are created. Task of the creation the education plan and the target function and the mathematical model is worked out.

Fig. 3. Ref.: 12 items.

УДК 658.52.011.56

Алгоритми рішення задач теорії розкладів на основі прогнозу. Частина 1 / М.В.Костікова, В.О.П'яніда // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.74-78.

Дана постановка загальної задачі теорії розкладів, її математична модель, презентована в термінах теорії графів, наведені основні характеристики похибок наближених алгоритмів певного класу, вирішуючих задачу.

Л. 4. Бібліогр.: 2 назви.

UDC 658.52.011.56

Algorithms of scheduling theory problem solutions on the basis of prediction. Part 1 / M.V.Kostikova, V.A.Pyanida // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.74-78.

A problem statement submitted of the general scheduling theory problem, its mathematical model presented in the terms of graph theory, basic characteristics specified for errors of certain class approximated algorithms able to solve the problem.

Fig. 4. Ref.: 2 items.

УДК 004.93

Застосування апарату нейронних мереж для реалізації моделі системи підтримки прийняття рішень в області сервісного обслуговування банкоматів / Н.В.Головій // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.79-83.

При проведенні досліджень, що розглянуто у статті, було розроблено набір вхідних параметрів для предметної області, також проведена порівняльна характеристика методів аналізу та оцінки розподілення ресурсів. Особливу увагу було приділено дослідженню методів, основаних на нейронних мережах.

Бібліогр.: 6 назв.

UDC 004.93

The apparatus application of the neuronics nets for realization of the model of make-decision system in the service operation field of automatic cash terminal / N.V.Goloviy // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.79-83.

During investigations, wich viewed in article, was worked up set of input characteristics for data domain. Also was conducted comparative description of methods of analysis and evaluation of the resourced allocation. Particularly attention devoted for the research of the methods, which based on neuronics nets.

Ref.: 6 items.

УДК 004.942:621.6:622.691

Математична модель та метод розрахунку несталої режиму транспортування природного газу однопітковим магістральним газопроводом / А.Д. Тевяшев, І.Г. Гусарова, Ю.В. Буданцева // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.84-92.

Розглянута задача математичного моделювання та розрахунку несталих режимів транспортування газу в однопітковому магістральному газопроводі. Досліджені нестационарні неізотермічні режими транспортування газу в однопітковому магістральному газопроводі: розглянута математична модель, а також запропоновано чисельний метод та алгоритм розрахунку рівнянь математичної моделі. На базі цього методу та алгоритму було розроблено програмний продукт та проведено ряд чисельних експериментів, які продемонстрували ефективність методу для розрахунку нестационарних неізотермічних режимів транспортування газу в однопітковому магістральному газопроводі. Запропонований метод та алгоритм є основою для розробки відповідного розрахунку нестационарних неізотермічних режимів транспортування газу в багатопітковому магістральному газопроводі.

Табл. 2. Л. 6. Бібліогр.: 2 назви.

UDC 004.942:621.6:622.691

Mathematical model and method of calculation of unsteady mode of transport of natural gas on unifilar gasmain pipeline/ A. D. Tevyashev, I.G. Gusarova, Y. V. Budantseva // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.84-92.

In article is considered problem of mathematical modeling and calculation unsteady mode of gas transport on unifilar gas main pipeline. In work were an explored unsteady nonisothermic modes of gas transport on unifilar gas main pipeline: is considered mathematical model, as well as is offered numerical method and algorithm of calculation of the equations of mathematical model. On the base given method was designed software product and is organized row of numerical experiments, which demonstrated efficiency of the method for calculation unsteady nonisothermic modes of gas transport on unifilar gas main pipeline. The offered method and algorithm are a central to development corresponding to algorithm of calculation of unsteady nonisothermic modes of gas transport on multistrand gas main pipeline.

Tab. 2. Fig. 6. Ref.: 2 items.

УДК 519.5:681:513

Оперативне коректування в задачі багатокритеріального вибору/ О.А.Павлов, К.І.Ліщук // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.92-97.

Розглянуто задачу оперативного коректування оцінок одної з альтернатив для того, щоб в результаті розгляду альтернатив конкурсною комісією конкурс виграла саме ця альтернатива. Запропоновано та обгрунтовано декілька стратегій особи, яка приймає рішення, залежно від інформації, яку надає конкурсна комісія. Наведено приклад з декількома критеріями, який ілюструє запропонований підхід.

Табл. 2. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 519.854.2

Operative correction in the task of multicriteria choice / A.A.Pavlov, K.I.Lischuk // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.92-97.

This article considers the task of operative correction of ratings of one of alternatives that as a result of reviewing alternatives by a competitive commission, the competition was won by this alternative. It is offered and some strategies of the person accepting solution are justified depending on the information, which is offered by a competitive commission. In article the example with several criteria illustrating offered approach is reduced.

Tab. 2. Ref.: 5 items.

УДК 681.325

Особливості посегментного контролю обчислювальних пристроїв для обробки наближених даних / О.В. Дрозд, Реза Колахи // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.98-102.

Розглянуто питання посегментного контролю результатів для робочого діагностування обчислювальних пристроїв, виконуючих обробку наближених даних. Визначені умови виконання послідовного, послідовно-паралельного та паралельного контролю сегментів. Запропоновано горизонтальний та вертикальний підходи до вибору контрольних точок сегментів. Показано, що вертикальний вибір контрольних точок забезпечує багаторазово більш просту реалізацію засобів контролю.

Бібліограф.: 7 назв.

UDC 681.325

Features of segment checking in computing circuits for the approximated data processing/ A.V. Drozd, Reza Kolahi // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.98-102.

The question of result segment checking for on-line testing of computing circuits executing approximated data processing is considered. The condition of executing the serial, serial-parallel, and parallel checking of segments is defined. Horizontal and vertical approaches to select the checkpoints of segments are offered. It is shown that vertical selection of checkpoints provides much more simple check means.

Ref: 7 items.

УДК 519.711.3:519.68

Аналіз моделей та методів управління фінансовими ресурсами сучасних підприємств/ О.В. Сліпченко // АСУ та прилади автоматики. 2007. Вип. 139. С.103-109.

Наведено класифікацію завдань управління багаторівневими бізнес-структурами с точки зору їх фінансово-економічної діяльності. Запропоновано низку формальних моделей, які пов'язані з оптимізацією фінансової діяльності підприємств.

Л.: 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.711.3:519.68

Analysis of models and methods of management financial resources of modern enterprises / Slipchenko E. V. // Management Information System and Devises. 2007. N 139. P.103-109.

A classification of the multilevel business structure management problems is considered from the point of view of their financial economic activities. The complex of formal models which is connected with optimization of financial activity is offered.

Fig. 1. Ref.: 7 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.

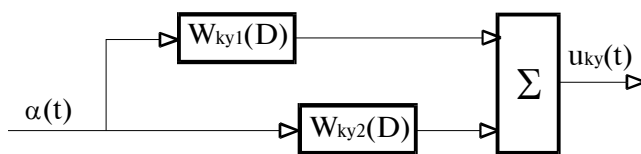


Рисунок 1. Двухзвенная система

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:

Таблица 1

Шагя	1	2	3	4	5	6
$\Phi_1(1,3)$	1	2	2	4	6	1
$\Phi_1(1,4)$	1	2	2	4	4	8

ра: 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 27.06.2007. Формат 60x84¹/₈. Умов. друк. арк. .
Обл.-вид. арк. 11,8. 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.