

ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

**АВТОМАТИКА**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ**

**КОМПЛЕКСЫ И**

**СИСТЕМЫ**

**№ 1(15) 2005**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ  
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ  
**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ**

**АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ.  
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

*Издание Херсонского Национального технического университета*

**№ 1(15)**

**ХЕРСОН**

**2005**

*Основан в июле 1997 г.*

*Выходит два раза в год*

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

*Главный редактор:* Тодорцев Ю.К.

*Члены редколлегии:* Аркадьев В.Ю., Бардачев Ю.Н., Бойко В.И., Большевцев А.Д., Бондарь В.М., Бражник А.М. (зам. главного редактора), Гаврилюк В.И., Герасимьяк Р.П., Григоровский Е.П., Гринавцев В.Н., Демченко В.А., Дудюк Д.Л., Дубинец Л.В., Живица В.И., Карпинский М.П., Кондратенко Ю.П., Кузнецов Б.И., Ладанюк А.П., Лут М.Т., Лубяный В.З., Максимов М.В., Марасанов В.В., Мартиненко И.И., Мережко Ю.И., Михайлик В.Д., Мишин В.И., Павлов А.А., Праховник А.В., Радимов С.Н., Рогальский Ф.Б., Садовой А.В., Сарибеков Г.С., Смолин Ю.А., Ткаченко А.Н., Тришкин В.Я, Труш В.Е., Ходаков В.Е., Хомченко А.Н. (зам. главного редактора), Червяков В.Д., Шарко А.В., Шикалов В.С., Эриванцев И.Н., Яськив В.И., Лебеденко Ю.А. (технический редактор)  
*Корректор:* Лебеденко Н.О.

**ОРГАНИЗАЦИИ - ОСНОВАТЕЛИ ЖУРНАЛА**

Херсонский Национальный технический университет  
Одесский Национальный политехнический университет  
Национальный технический университет Украины «КПИ»  
Международный университет гражданской авиации  
Одесская государственная академия холода  
Днепродзержинский государственный технический университет  
Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры  
Национальный аграрный университет  
Украинский государственный химико-технологический университет  
Украинский государственный университет пищевых технологий  
Украинская инженерно-педагогическая академия  
Национальный университет кораблестроения им. Ад. Макарова  
Украинский государственный лесотехнический университет  
Сумской государственной университет  
Киевский национальный университет строительства и архитектуры  
Киевский национальный университет технологий и дизайна  
Тернопольский государственный технический университет им. Ивана Пулюя  
Тернопольская академия народного хозяйства  
Днепропетровский государственный технический университет железнодорожного транспорта  
Херсонский государственный аграрный университет

Усл. печ. листов 13,1      Тираж - 200 экз.      Формат 60x84 1/8

Свидетельство о регистрации КВ № 2997 от 10.12.1997 г.

Офсетная печать

Цена договорная

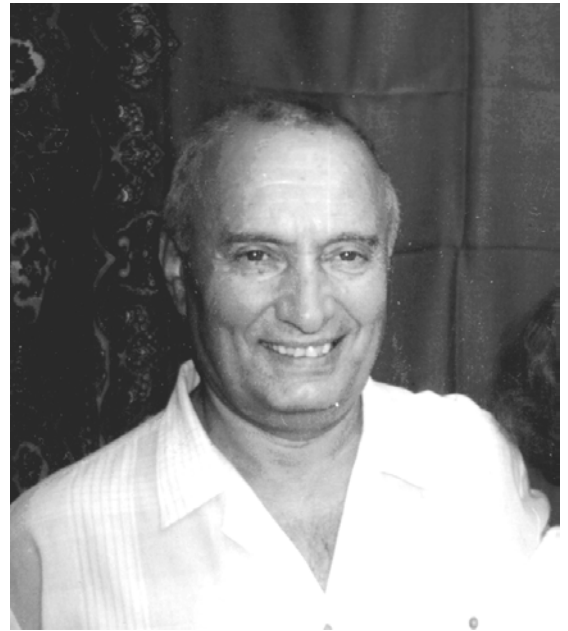
© Херсонский государственный технический университет

**Профессору**

***Хомченко***

***Анатолию Никифоровичу –***

**65**



7 сентября 2005 года исполняется 65 лет Анатолию Никифоровичу Хомченко, заведующему кафедрой прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета, доктору физико-математических наук, профессору, действительному члену международной академии наук высшей школы, председателю Херсонского отделения Украинской ассоциации по прикладной геометрии, заслуженному деятелю науки и техники Украины.

Уважаемый Анатолий Никифорович, присоединяясь к поздравлениям Ваших друзей, коллег и учеников, мы желаем Вам крепкого здоровья, новых творческих достижений и удач!

*Ректорат ХНТУ*

*Редколлегия журнала „ААЭКС”*

*Президиум Санкт-Петербургского отделения МАН ВШ*

*Оргкомитет МКММ’2005*

*Президиум УАПГ*

# СОДЕРЖАНИЕ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Хомченко А.Н., Моисеенко С.В.</u> Лагранжева модель потенциального поля.....	6
<u>Бабичева И.Ф., Бабичев С.А., Шарко А.В.</u> Компьютерная модель автоматизированной системы технической диагностики механических характеристик металлов на основе вейвлет-анализа и нейросетевых технологий.....	10
<u>Багашов И. И.</u> Математическое моделирование работы горнорудного предприятия, функционирующего в различных рыночных условиях.....	16
<u>Баранов Ю.В., Гречухин А.В., Гагарин В.В.</u> Об одном методе построения нелинейной модели прогнозируемого процесса.....	22
<u>Болычевцев А.Д., Болычевцева Л.А., Быстрицкая Л.Б.</u> Оценка качества числового многопараметрического контроля.....	26
<u>Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Поляков Н.В.</u> Исследование устойчивости вихревых структур путем численного эксперимента.....	31
<u>Волков Д.А., Донец Л.Ю., Мирошниченко А.С.</u> Характеристика комплексной специализированной информационной системы управления инженерными сетями на примере СПРВ.....	37
<u>Гнатушенко В.В.</u> Моделирование процессу формования цифровых сканерных изображений дистанционного зондирования.....	42
<u>Дуравкин Е.В., Амер Таксин Каламех Абу Джаккар</u> Использование аппарата E-сетей для анализа распределенных программных систем.....	47
<u>Корчинский В.М.</u> Информативность многоспектральных проекционных изображений.....	52
<u>Деревянко А.И., Михалев А.И., Власова Т.Е.</u> Определение контуров на скейлинговых растровых изображениях.....	56
<u>Олейник Ю.Т.</u> Моделирование инновационных рыночных стратегий.....	60
<u>Подмогильный С.Н., Бараненко Р.В.</u> Информационная система территориального управления земельными ресурсами.....	67
<u>Песчанский А.И., Приходько Р.А.</u> Модель последовательно - параллельной технологической системы с учётом частичного календарного технического обслуживания.....	75
<u>Рымша В.В., Радимов И.Н., Меркулов И.В.</u> Математическое моделирование индукторных линейных двигателей постоянного тока.....	80
<u>Рябченко И.Н., Свиридов С.А., Белик Р.А.</u> Математическое моделирование физических процессов, протекающих в системах подачи и распределения воды в нештатных ситуациях.....	85
<u>Ахметшин А.М., Степаненко А.А.</u> Повышение чувствительности ультразвуковой диагностики на основе псевдоэллипсометрических параметров аналитических импульсных характеристик.....	90
<u>Юхимчук С.В., Шаригін О.А.</u> Механізм виведення в системах підтримки прийняття рішень керівника ліквідації надзвичайних ситуацій при нечітких вхідних даних.....	95

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<u>Борковська Л.О.</u> Інформаційно-керуючий програмний комплекс координатно-вимірювальних машин.....	99
<u>Булкин В.И., Шаронова Н.В.</u> О некоторых вопросах идентификации знаний в интеллектуальных системах.....	106

<b><u>Рогальський Ф.Б., Корніловська Н.В., Рогальський О.Ф., Лур'є І.А.</u></b> Високочутливий активний LRC-фільтр нижніх частот з малим вхідним опором .....	113
<b><u>Шибицька Н.М.</u></b> Експертне оцінювання знань в системі дистанційного навчання .....	117
<b><u>Теленик С.Ф., Гришко В.Ф., Долина В.Г.</u></b> Моделі первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів .....	124

### **ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ**

<b><u>Кондратенко Г. В., Кондратенко Ю. П., Мухортова К. В.</u></b> Синтез нечетких регуляторов на основе объектно-ориентированных технологий.....	140
<b><u>Луцька Н.М.</u></b> Синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу .....	148

### **МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

<b><u>Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Полищук И.А.</u></b> Метод построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения.....	152
<b><u>Ладанюк А.П., Заець Н.А., Луцька Н.М.</u></b> Застосування адаптивних систем керування для нестационарних об'єктів технологічних комплексів неперервного типу .....	158

### **ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА**

<b><u>Соколова Н.А., Ходаков Д.В., Ходаков В.Е.</u></b> Организация координации в системах управления объектами хозяйственной деятельности.....	163
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<b><u>РЕФЕРАТЫ</u></b> .....	169
------------------------------	-----

<b><u>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</u></b> .....	173
-----------------------------------------	-----

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.6

## ЛАГРАНЖЕВА МОДЕЛЬ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПОЛЯ

Хомченко А.Н., Моисеенко С.В.

**Постановка проблемы.** Основная проблема алгебраизации задач теории потенциала связана с обеспечением достаточной точности и вычислительной устойчивости дискретных аналогов уравнения Лапласа. Конечно-разностные аналоги рассматриваются здесь с точки зрения конечно-элементной техники интерполяции. Это позволяет изучить зависимость структуры интерполянта от схемы расположения расчетных узлов в шаблоне. Подходящий интерполянт используется для исследования характера интерполирующей поверхности в окрестности контрольного узла (в центре шаблона). Такой анализ дает возможность установить причины возникновения невязок в межузловых промежутках.

**Анализ предшествующих публикаций и цели статьи.** Одно из первых применений МКР для решения уравнения Лапласа с граничными условиями Дирихле связывают с появлением вычислительного шаблона «крест» (Л.Ричардсон, 1910). Ключевые идеи метода, а также вопросы устойчивости разностных схем изложены в [1-4]. Обычно КР-аналоги производных конструируют с помощью тейлоровских разложений искомой функции в окрестности контрольного узла с последующим усечением ряда. Наша цель – аппроксимировать потенциальное поле путем прямого построения на шаблоне МКР интерполяционного полинома в форме Лагранжа, как это принято делать в методе конечных элементов (МКЭ). В зависимости от расположения расчетных узлов мы рассматриваем стандартный «крест», жестко вмонтированный в декартову систему прямоугольных координат, и ортогональный «крест», повернутый на  $45^\circ$ .

**Основная часть.** Пусть контрольный узел  $O$  помещен в начало координат (рис.1).

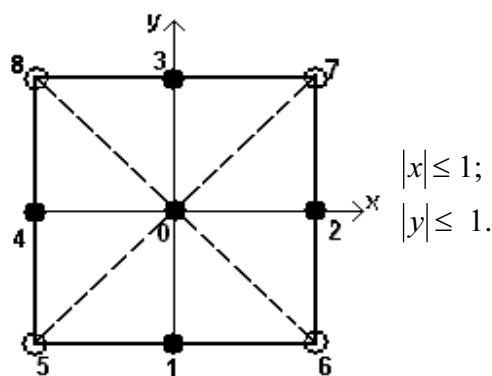


Рис.1. Две основные схемы МКР.

Не уменьшая общности рассуждений, будем считать, что ячейки сетки имеют форму квадрата с единичной стороной. Сплошными линиями изображен стандартный «крест», пунктиром – повернутый. Конечный носитель гармонической функции – квадрат 5678.

Начнем с построения интерполяционного полинома на стандартном «кресте». Учитывая число расчетных узлов, будем строить полином в виде

$$P(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 y^2 \quad (1)$$

Наш выбор продиктован естественным стремлением сохранить геометрическую изотропию поля. В решении (1) мы реализуем нетрадиционный вариант разделения переменных. Традиционно разделение переменных достигается представлением решения в виде произведения функций, каждая из которых зависит от меньшего числа переменных, чем в исходном уравнении  $f''_{xx} + f''_{yy} = 0$ . Однако, для ряда задач проблема разделения переменных решается другим способом. Например, представление решения в виде суммы функций, каждая из которых зависит от меньшего числа переменных. Такой метод используют в классической механике при решении дифференциальных уравнений [5]. Поверхность (1) образуется перемещением (трансляцией) образующей параболы второй степени по направляющей параболе второй степени. В теории оболочек такие поверхности называют трансляционными. Очевидно, что эти параболы имеют различные направления выпуклости, так как  $f''_{xx} \cdot f''_{yy} < 0$ .

Использование интерполяционной гипотезы Лагранжа

$$P(x_i, y_i) = f_i \quad (i = 0, 1, 2, 3, 4)$$

приводит к системе линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных параметров  $\alpha_i$ . Подставляя коэффициенты  $\alpha_i$  в (1), путем несложных преобразований приведем полином к форме Лагранжа:

$$P(x, y) = \sum_{i=0}^4 L_i(x, y) \cdot f_i, \quad (2)$$

где  $f_i$  – узловые значения функции на стандартном шаблоне;  $L_i(x, y)$  – коэффициенты Лагранжа, обладающие свойствами:

$$\begin{cases} 1, & i=k, \\ L_i(x_k, y_k) = \\ 0, & i \neq k, \end{cases}$$

$$\sum_{i=0}^4 L_i = 1.$$

Приведем явные выражения коэффициентов Лагранжа на стандартном «кресте»:

$$L_0(x, y) = 1 - x^2 - y^2; \quad L_{1,3}(x, y) = \frac{1}{2}(y^2 \mp y); \quad L_{2,4}(x, y) = \frac{1}{2}(x^2 \pm x).$$

Перейдем к построению интерполяционного полинома на повернутом «кресте». Очевидно, что и в этом случае полином должен содержать пять параметров. Однако, попытки воспользоваться формой (1), наталкиваются на непреодолимые трудности, так как матрица СЛАУ вырождается. Попытаемся использовать полином

$$P(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 xy + \alpha_5 x^2 y^2. \quad (3)$$

Как видим, интерполяционный полином зависит от ориентации шаблона на конечном носителе. Теперь для аппроксимации потенциального поля мы имеем следующий полином в форме Лагранжа:

$$P(x, y) = \sum_i L_i(x, y) \cdot f_i, \quad (i = 0, 5, 6, 7, 8), \quad (4)$$

$$\text{где } L_0(x, y) = 1 - x^2 y^2; \quad L_{5,7}(x, y) = \frac{1}{4}(x^2 y^2 + xy \mp x \pm y);$$

$$L_{6,8}(x, y) = \frac{1}{4}(x^2 y^2 - xy \pm x \mp y)$$

На рис.2 и 3 изображены функции формы (коэффициенты Лагранжа) в центральном и периферийном узлах для стандартного и повернутого шаблонов соответственно.

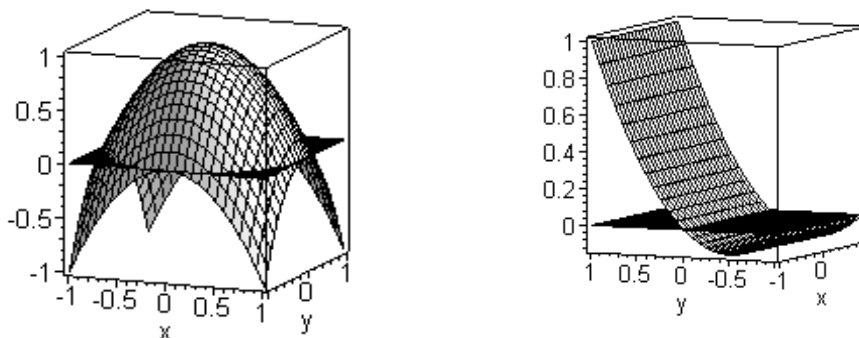


Рис.2 Функции формы  $L_0(x,y)$  и  $L_3(x,y)$  на стандартном шаблоне.

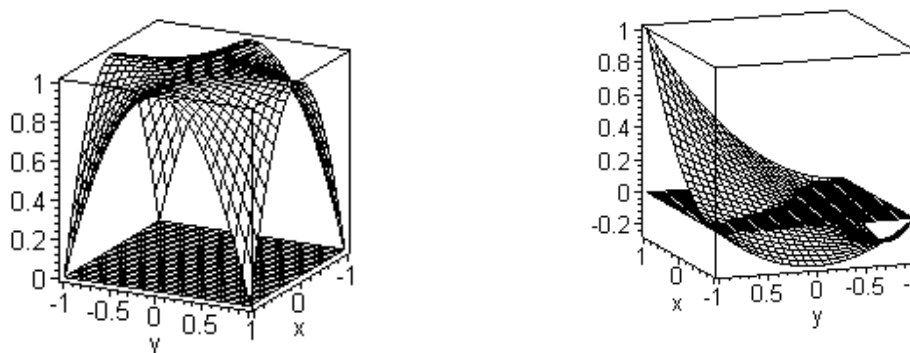
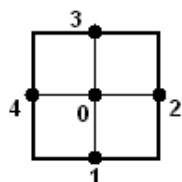
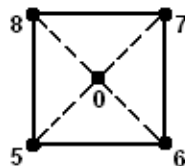


Рис.3 Функции формы  $L_0(x,y)$  и  $L_7(x,y)$  на повернутом шаблоне.

Как и следовало ожидать, независимо от ориентации шаблона обращение лапласиана в нуль дает одинаковые КР-аналоги уравнения:



$$f_0 = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 f_i, \quad (5)$$



$$f_0 = \frac{1}{4} \sum_{i=5}^8 f_i, \quad (6)$$

Заметим, что подстановка (4) в уравнение Лапласа дает невязку

$$\delta = 0.5(x^2 + y^2) \left( \sum_{i=5}^8 f_i - 4f_0 \right),$$

которая зависит от координат произвольной точки в носителе. Возможно, именно эта зависимость – одна из причин вычислительной неустойчивости на повернутом шаблоне [6].



Чтобы получить вычислительную формулу повышенной точности (на 9 узлов), достаточно наложить один шаблон на другой, а формулу (5) и (6) взвесить по правилу Симпсона с коэффициентами  $\frac{4}{5}$  и  $\frac{1}{5}$  соответственно:

$$f_0 = \frac{1}{20} \left( 4 \sum_{i=1}^4 f_i + \sum_{i=5}^8 f_i \right).$$

**Выводы.** Для построения КР-аналогов уравнения Лапласа вместо тейлоровских разложений в окрестности контрольного узла можно использовать специальные полиномы в форме Лагранжа, как это принято в МКЭ. Представляет интерес прямое построение девятипараметрического полинома Лагранжа на шаблоне повышенной точности с целью получения соответствующего КР-аналога.

In the article the possibility of construction of a polynomial in the shape of the Lagrange for interpolation of a potential field for the first and second the basic plans of method of finite differences from the point of view of a finite element method is described. It is shown, that the boosted exactitude of finite-difference of the equation of the Laplace is reached by weighing of two basic plans with Simpson's rule (1:4).

1. Канторович Л.В., Крылов В.И. Приближенные методы высшего анализа. - М.: Гостехиздат, 1949.- С.179-258.
2. Гавурин М.К. Лекции по методам вычислений. - М.: Наука, 1971.-С.131-187.
3. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. - М.: Наука, 1967.- С.257-269.
4. Филин А.П. Приближенные методы математического анализа, используемые в механике деформируемых тел. - Л.: Стройиздат,1971.- С.127-140.
5. Метьюз Дж., Уокер Р. Математические методы физики. - М.: Атомиздат, 1972.- 392с.
6. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов. - М.: Мир, 1977.- 349с.

## КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТАЛЛОВ НА ОСНОВЕ ВЕЙВЛЕТ–АНАЛИЗА И НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Бабичева И.Ф., Бабичев С.А., Шарко А.В.

**Постановка проблемы.** В настоящее время при разработке различных диагностических систем широкое применение находят новые компьютерные технологии, основанные на современных методах обработки эмпирических данных. Их внедрение способствует повышению скорости и точности обработки информации, автоматизации процесса контроля, что существенно снижает трудоёмкость и стоимость диагностических исследований. Экспертный контроль промышленного оборудования предусматривает наличие следующих этапов: 1) визуальный осмотр объекта с целью обнаружения дефектов, видимых невооруженным глазом; 2) диагностирование опасных участков методами неразрушающего контроля с целью выявления скрытых дефектов; 3) при необходимости проведение выборочных разрывных испытаний, которые подтверждают или не подтверждают предположение эксперта о негодности испытуемого оборудования. Однако количество разрывных испытаний можно существенно сократить, повышая эффективности неразрушающего контроля путём использования современных методов обработки эмпирических данных. К таким методам относятся вейвлет–анализ и нейросетевые технологии. При этом на раннем этапе разработки полезным является создание компьютерной модели системы с целью оценки влияния параметров настройки на точность её работы. Решение этой проблемы соответствует государственным научно–техническим программам, которые сформулированы в законе Украины «Про научную и научно–техническую деятельность» и в законе Украины «Про национальную программу информатизации».

**Анализ последних публикаций. Не решенные части общей проблемы.** В настоящее время существуют системы контроля, основанные на нескольких методах неразрушающих испытаний[1;2]. Основной целью любой системы обработки эмпирических данных является нахождение оптимальной аппроксимирующей зависимости между входными измеряемыми характеристиками и выходными требуемыми данными. На смену статистическим методам обработки данных приходят нейросетевые технологии[3], которые при условии правильной настройки обладают большой скоростью обработки данных и высокой точностью прогноза. Для обучения нейронной сети необходимо предварительно создать базу данных, включающей в себя результаты испытаний неразрушающими методами контроля (входные характеристики) и прочностные (выходные) характеристики изделия, определяемые по результатам разрывных испытаний. Очевидно, что точность прогноза будет выше при увеличении количества входных информативных характеристик. Однако при этом усложняется процесс настройки системы, что повышает трудоёмкость диагностических исследований. В работе [4] авторами разработана методика, позволяющая определить рациональную комбинацию методов неразрушающего контроля прочностных свойств стали, основанная на использовании функции желательности Харрингтона и системы нечеткого вывода. Но в условиях проведения реального эксперимента на точность измерений оказывают влияние различные сторонние факторы, создающие шумовую составляющую эмпирического сигнала. Один из путей понижения уровня шума – уменьшение чувствительности используемого прибора. Однако при этом теряется способность прибора к регистрации мелких дефектов или некоторых локальных особенностей сигнала, несущих информацию об исследуемом объекте.

**Целью статьи** является разработка компьютерной модели автоматизированной системы дефектоскопии механических характеристик металлов акустическим методом не-

разрушающего контроля, в которой очистка сигнала от шумовой составляющей осуществляется при помощи вейвлет–анализа, а окончательное заключение о механических характеристиках объекта производится посредством использования нейросетевых технологий.

**Изложение основного материала.** Создание компьютерной модели предусматривает наличие следующих этапов:

- генерирование сигнала, вид и форма которого максимально приближены к реальному сигналу;
- создание шумовой составляющей и её синтез с сигналом генератора;
- разработка вейвлет–фильтра, включающая в себя подбор типа вейвлета, уровня вейвлет–разложения и выбор порога для удаления шума;
- создание базы данных для обучения нейронной сети;
- выбор типа и структуры нейронной сети, подбор коэффициентов весов и смещений сети, её обучение и тестирование.

Структурная схема компьютерной модели представлена на рисунке 1.

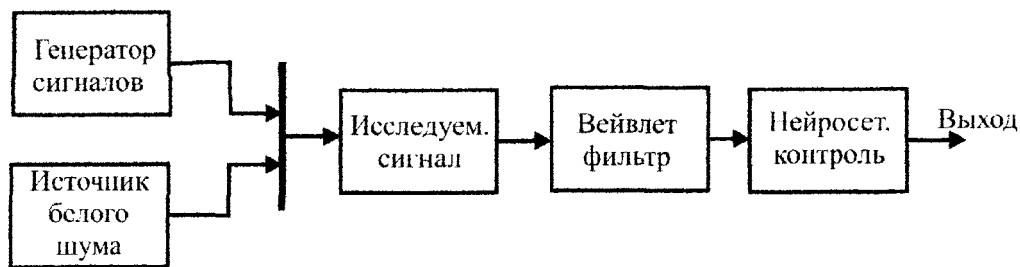


Рис.1. Структурная блок–схема компьютерной модели системы контроля механических характеристик металлов.

При ультразвуковом контроле образца длины  $\ell$  продольными волнами резонансная частота определяется из условия:

$$f = \frac{nC}{2\ell}, \quad (1)$$

где  $n$  – число длин полуволн, укладываемых на длине изделия при резонансе,  $C$  – скорость распространения ультразвука в изделии. Из формулы (1) следует, что значение резонансной частоты зависит от длины изделия в направлении прозвучивания, измерить которую в реальных условиях с высокой точностью не всегда возможно. Однако можно показать, что относительное изменение резонансной частоты  $\Delta f/f$  не зависит ни от размеров изделия, ни от частоты прозвучивания. Действительно,

$$\Delta f = \frac{n\Delta C}{2\ell}. \quad (2)$$

Разделив (2) на (1), получаем:  $\Delta f/f = \frac{\Delta C}{C}$ , т.е. относительное изменение резонансной частоты определяется только изменением скорости ультразвука в изделии и не зависит от его размеров. Таким образом, в качестве первой входной акустической характеристики при прозвучивании продольными волнами предлагается использовать относительное изменение резонансной частоты  $\Delta f/f$ . Второй входной характеристикой являлся логарифмический декремент затухания  $\lambda$ :

$$\lambda = \ln \frac{A(t)}{A(t+T)}, \quad (3)$$

где  $T$  – период затухающих колебаний,  $A(t)$  – амплитуда колебаний в заданный момент времени.

Очевидно, что точность контроля возрастает при повышении чувствительности используемого дефектоскопа. Однако повышение чувствительности вызывает появление мешающих шумов, являющихся следствием аппаратурной погрешности используемого оборудования. Полученный на выходе дефектоскопа сигнал может быть представлен следующим образом:

$$s(t) = f(t) + \delta e(t), \quad (4)$$

где  $s(t)$  – исследуемый сигнал,  $f(t)$  – полезный сигнал,  $e(t)$  – шумовая составляющая сигнала,  $\delta$  – коэффициент, определяющий уровень шумовой составляющей исследуемого сигнала.

Для выделения шумовой составляющей использовался вейвлет–анализ[5]. В соответствии с пирамидальным алгоритмом Малла, исходный сигнал подаётся на фильтры декомпозиции низких (L) и высоких (H) частот, после чего с помощью операции децимации  $\downarrow 2$  получаем коэффициенты аппроксимации ( $cA$ ) на выходе фильтра низких частот и детализирующие коэффициенты ( $cD$ ) на выходе фильтра высоких частот. Далее этот алгоритм продолжается по предложенной схеме до уровня декомпозиции  $k+1$ . На уровне вейвлет–коэффициентов вейвлет разложение сигнала представляется следующим образом:

$$P_j(f) = cA_0 \rightarrow \{cA_1, cD_1\} \rightarrow \{cA_2, cD_2, cD_1\} \rightarrow \dots \rightarrow \{cA_N, cD_N, cD_{N-1}, \dots, cD_1\} \quad (5)$$

Решение задачи выполнялось в четыре этапа:

1. исходный сигнал разлагался по базису вейвлетов.
2. выбиралось пороговое значение шума для каждого уровня разложения;
3. производилась пороговая фильтрация коэффициентов детализации;
4. реконструкция сигнала.

Выбор используемого вейвлета и глубины разложения зависит от свойств конкретного сигнала. Более гладкие вейвлеты создают более гладкую аппроксимацию сигнала, и наоборот, «короткие» вейвлеты лучше отслеживают пики аппроксимируемой функции. Глубина разложения влияет на масштаб отсеиваемых деталей. При увеличении глубины разложения модель вычитает шум все большего уровня, при этом возможно сглаживание не только шума, но и некоторых локальных особенностей сигнала. Для вейвлет преобразования необходимо вычислить серию аппроксимирующих и детализирующих вейвлет–коэффициентов  $\{cA_N, cD_N, cD_{N-1}, \dots, cD_1\}$ . Каждый коэффициент находится следующим образом:

$$a_{j-N,k} = \int_R f(x) \overline{\varphi_{j-N,k}(x)} dx \quad (6)$$

$$d_{j-m,k} = \int_R f(x) \overline{\psi_{j-m,k}(x)} dx, \quad m = 1, 2, \dots, N. \quad (7)$$

Восстановление функции  $f(x)$  производится с использованием изменённых вейвлет–коэффициентов разложения сигнала:

$$f(x) = \sum_{k \in Z} a_{j-N,k} \varphi_{j-N,k}(x) + \sum_{k \in Z} d_{j-N,k} \psi_{j-N,k}(x) + \dots + \sum_{k \in Z} d_{j-1,k} \psi_{j-1,k}(x) \quad (8)$$

Шумовая компонента сигнала в большинстве случаев отражается в детализирующих коэффициентах  $cD_j$ , вследствие чего именно они подвергаются обработке. Кроме того, шумовая компонента представляет собой сигнал, меньший по модулю, чем основной. Поэтому для удаления шума необходимо сделать нулевыми значения коэффициентов, меньшие некоторого порогового значения. От выбора порогового уровня фона зависит качество шумоподавления сигнала, оцениваемое в виде отношения сигнал/шум. Задание малого значения порога сохраняет фон в коэффициентах детализации и поэтому приводит лишь к незначительному увеличению отношения сигнал/шум. При больших значениях порога можно потерять коэффициенты, которые несут существенную информацию. Поиск оптимального значения порога сводится к нахождению наибольшего значения отношения сигнал/шум при наименьшем смещении восстановленного сигнала.

Поставленная задача авторами решалась в СКМ MATLAB с использованием пакета для обработки сигналов и изображений Wavelet Toolbox. Для выбора оптимального вейвлет–разложения использовался критерий энтропия – логарифм энергии:

$$E = \sum \log(s_i^2) \quad (9)$$

Энтропия исходного сигнала принимает максимальное значение по причине его зашумленности. При увеличении уровня вейвлет–разложения энтропия уменьшается до минимального значения, которое соответствует наиболее оптимальному уровню вейвлет–декомпозиции исходного сигнала. Для удаления шума использовался метод Бирге–Массарта, в соответствии с которым определялось пороговое значение критерия  $\tau$  для обработки детализирующих вейвлет–коэффициентов. Значения коэффициентов, меньшие выбранного порогового значения, делались нулевыми, а значения остальных коэффициентов уменьшались на величину  $\tau$ . Оптимальное значение критерия  $\tau$  выбиралось по принципу минимальной энтропии – логарифма энергии. Для выбора оптимального вейвлета, позволяющего получить наилучший уровень вейвлет–очистки сигнала от шума использовался критерий: отношение энтропий оригинального и очищенного от шума сигналов:

$$\eta = \frac{E_0}{E} \quad (10)$$

На первом этапе отбиралось для каждого типа вейвлетов наилучшее дерево по критерию: энтропия – логарифм энергии. Использовались ортогональные вейвлеты с компактным носителем: Добеши (db), Симплета (sym), Койфлетса (coif). Энтропия рассчитывалась для каждого уровня вейвлет–разложения сигнала при различных значениях порогового критерия  $\tau$ . На рисунке 2 представлены графики исходного сигнала (а), зашумленного (b) и очищенного от шума (с), а также графики зависимости энтропии – логарифм энергии от уровня декомпозиции сигнала (d) и значения порогового критерия  $\tau$  (е). Обработка производилась вейвлетом Симплета (sym5).

На втором этапе по формуле (10) для каждого типа вейвлетов и на различном уровне вейвлет–декомпозиции сигнала рассчитывался критерий  $\eta$  – отношение энтропий. График зависимости критерия  $\eta$  от типа используемого вейвлета представлен на рисунке 2(f).

Анализ графиков позволяет сделать вывод, что наименьшая энтропия сигнала наблюдается при использовании вейвлета Симплета–5, глубине разложения, равной 6 и значении порогового критерия  $\tau = 9$ . Полученные результаты подтвердились визуальным сопоставлением графика вейвлет обработанного сигнала с графиком оригинального сигнала при использовании различных вейвлетов, разных уровней вейвлет–разложения и различных значениях порогового критерия очистки от шума.

Прочностные характеристики металлов определялись с использованием нейросетевых технологий. Применение нейронных сетей предусматривает выполнение следующих этапов:

- определить входной вектор нейронной сети. Входным вектором является набор эмпирических данных, полученных в процессе неразрушающего контроля. Размерность вектора определяется количеством измеряемых параметров, в данном случае она равна двум;
- определить выходной вектор сети, в качестве которых используются требуемые механические характеристики исследуемого металла;
- определить тип и структуру сети: число слоёв, связи между слоями, задать начальные весовые коэффициенты и смещения, функцию ошибки системы, и т.д.;
- определить критерий качества и функционал её оптимизации, зависящий от ошибки;
- обучить сеть, в процессе чего определяются смещения и весовые коэффициенты до получения требуемой точности прогноза.

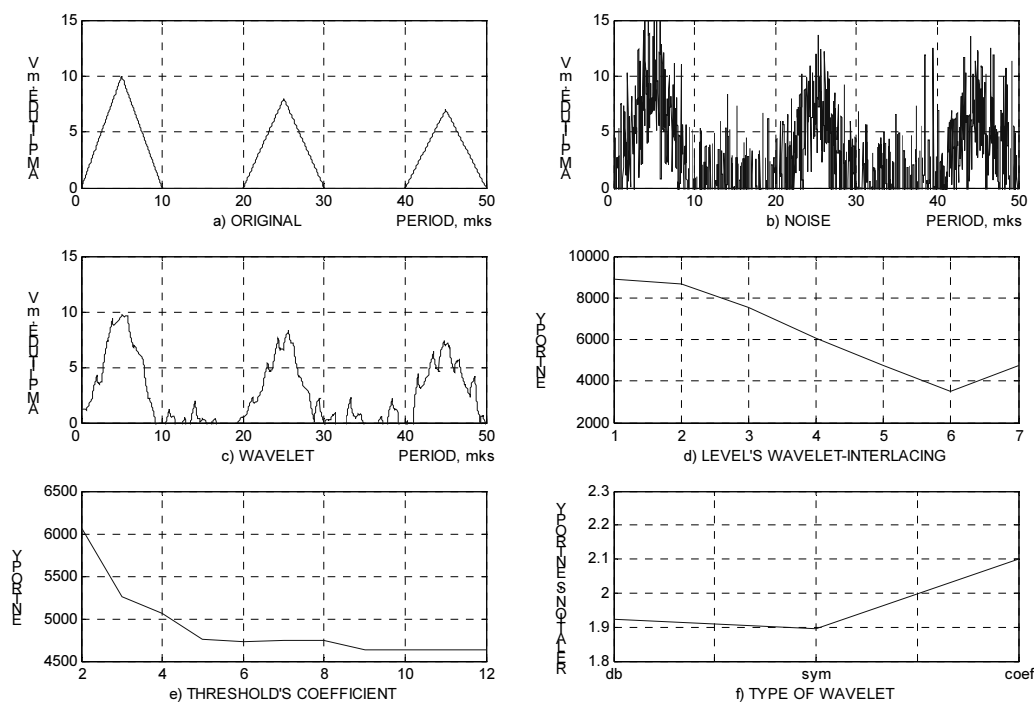


Рис.2. Графики моделей оригинального (а), зашумленного (b) и очищенного от шума (с) сигналов, зависимости энтропии от уровня вейвлет–разложения (d) и энтропии от значения порогового критерия очистки от шума (е), зависимости коэффициента отношения энтропий  $\eta$  от типа вейвлетов (f).

В результате обучения нейронная сеть становится способной в момент времени  $t$  вычислять упрежденные значения функции на временном интервале  $[t+1, t+\alpha]$  при подаче на её вход значений функции  $F$  из интервала  $[t-T+1, t]$ , где  $\alpha$  – длина интервала упреждения,  $T$  – длина интервала наблюдения. Входной сигнал нейронной сети – это вектор значений функции  $F$  на интервале  $[t-T+1, t]$ :

$$\bar{\xi}_2(t) = \{F(t-T+1), F(t-T+2), \dots, F(t-1), F(t)\}. \quad (11)$$

Выходной сигнал нейронной сети в момент времени  $t$  – это вектор аппроксимированных нейронной сетью упрежденных на интервале  $[t+1, t+\alpha]$  значений функции  $F$ :

$$\bar{e}(t) = \{\bar{e}_1(t), \bar{e}_2(t), \dots, \bar{e}_n(t)\} \quad (12)$$

Желаемый выходной сигнал нейронной сети в момент времени  $t$  – это вектор значений функции  $F$  на интервале  $[t+1, t+\alpha]$ . Ошибка решения определяется как разность между желаемым и действительным выходными сигналами в дискретный момент времени  $t$ , т.е. ошибка решения показывает расстояние до правильного значения. При настройке весов целью является минимизация значений вектора ошибки на каждом  $n$ -м примере.

Для решения поставленной задачи авторами использовалась персептронная трехслойная нейронная сеть с двумя нейронами в первом слое, четырьмя во втором и одним – в третьем.

**Выводы:** Анализ проведенных исследований показал перспективность использования вейвлет–анализа и нейросетевых технологий для создания автоматизированных систем технической диагностики. Применение современных компьютерных технологий позволило при высокой точности определения механических характеристик автоматизировать процесс контроля, что способствует повышению скорости и уменьшению трудоёмкости диагностических исследований. В перспективе авторы планируют на основе предложенной модели разработать автоматизированную систему технической диагностики меха-

нических характеристик металлов с использованием нескольких методов неразрушающих испытаний.

The opportunities of the wavelet analysis and neural networks use in the automated systems of technical diagnostics of metal mechanical characteristics are considered in the article. The methods of wavelet processing of the one-dimensional signal, which allows to receive the optimal level of wavelet of the decomposition is developed.

1. Шарко А.В. Бабичев С.А. К вопросу о возможности построения комплексных акустических систем технической диагностики металлопродукции. – Автоматика, Автоматизация, Электротехнические комплексы и системы.–1997г. №1.– С. 184–190.
2. Ключев В.В. Неразрушающий контроль и диагностика безопасности.– Завод. лабор. Диагностика материалов.– 1998, №1– С. 16.
3. Круглов В. В. Борисов В. В. Искусственные нейронные сети.– М.: Горячая линия – Телеком. 2001 г.
4. Бабичев С.А. Разработка автоматизированной системы технической диагностики прочностных характеристик металлов.– Вестник ХГТУ, 2003, №18.– С. 154–162
5. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB.–М.: ДМК,2005.– 298с.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ГОРНОРУДНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ, ФУНКЦИОНИРУЮЩЕГО В РАЗЛИЧНЫХ РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ.

Багашов И. И.

Повсеместное использование компьютерной техники для решения задач экономики, как ни парадоксально, резко снизило актуальность и приоритетность решения оптимизационных задач управления экономическими процессами, и в первую очередь, на уровне конкретного предприятия. Наша славянская привязанность к «громким и умным» фразам, всевозможным советам и здесь сделала свое дело. Тысячи компьютеров на наших предприятиях заменили нам работу печатающих машинок, калькуляторов и прочих устройств. Но, в своей основе, они стали быстрее решать те традиционные задачи, которые до этого решались и без них. Практически нет применения дорогостоящей техники для решения новых задач оптимизационного плана.

И здесь свое слово должна сказать наша наука, которая должна «привязать» уже имеющиеся математические методы оптимизации к конкретным предприятиям и к условиям их работы с разработкой и внедрением соответствующего программного обеспечения.

Одной из таких проблем, а именно математическому моделированию функционирования горнорудного предприятия в различных рыночных условиях и посвящена эта статья.

Прежде всего, об определениях. Под математическим моделированием будем понимать по [1] процесс исследования системы (в данном случае предприятия) на основе использования математических моделей. В качестве рыночных условий, в которых может работать предприятие, рассмотрим две основные ситуации [2]:

- совершенная конкуренция;
- монополия.

Данное предприятие осуществляет свою деятельность в условиях совершенной конкуренции, если [2]:

- цена на производимую продукцию предприятия является фиксированной;
- цены на используемые ресурсы также являются фиксированными;
- предприятие имеет возможность сбыть всю производимую продукцию;
- предприятие имеет возможность приобретать любое количество необходимых для производства ресурсов;
- цены на производимую продукцию и на используемые ресурсы не зависят от принимаемых другими предприятиями, производящими аналогичную продукцию, решений.

Это означает, что данное предприятие производит такое количество продукции, что изменение объемов выпуска этой продукции предприятием не сказывается на цене ее на рынке продукции. То же касается и ресурсов.

Напротив, предприятие функционирует в условиях монополии, если оно является единственным поставщиком этой продукции на рынке. Ясно, что изменение объемов выпуска продукции на этом предприятии прямо влияет на цену продукции. Можно даже сказать больше, цена продукции предприятия на рынке зависит от объема выпуска продукции.

Обозначим через  $y$  – выпуск продукции предприятия, а через  $x_1, x_2, \dots, x_n$  – объемы используемых ресурсов. Тогда математическая модель производственной функции:



$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

Значение объемов используемых ресурсов  $x_1, x_2, \dots, x_n$  удовлетворяет системе неравенств:

$$\begin{aligned} x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial f}{\partial x_i} &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (2)$$

Эти неравенства определяют экономическую область определения  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Пусть в условиях совершенной конкуренции предприятие работает и реализует свою продукцию по цене  $p$ , а приобретает ресурсы по ценам:  $q_1, q_2, \dots, q_n$ . Тогда задачей оптимального функционирования предприятия в этих условиях является выпуск такого количества продукции  $y$  и приобретение такого количества ресурсов  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , которые максимизируют прибыль предприятия:

$$\Pi = p \cdot y - \sum_{i=1}^n q_i x_i \quad (3)$$

Тогда задача максимизации прибыли:

$$\max \left\{ p f(x_1, x_2, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n q_i x_i \right\} \quad (4)$$

при ограничениях:

$$\begin{aligned} x_i &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial \Pi}{\partial x_i} &\geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (5)$$

Поскольку, по определению, производственная функция является функцией вогнутой, а ограничения (5) в практических задачах определяют выпуклое множество, то вышестоящую задачу можно решить исходя из условий Куна-Таккера для задач на условный экстремум [3]. Суть этих условий – это сведение задачи на условный экстремум с условиями типа неравенства к задаче на условный экстремум с условиями типа равенства. Для этих целей вводятся дополнительные неизвестные  $k_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) и  $l_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) такие что:

$$\begin{aligned} -x_i + k_i^2 &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ -\frac{\partial f}{\partial x_i} + l_i^2 &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \end{aligned} \quad (6)$$

Тогда функция Лагранжа:

$$\begin{aligned} L(x_1, \dots, x_n, k_1, \dots, k_n, l_1, \dots, l_n, \lambda_1, \dots, \lambda_{2n}) = & p f(x_1, \dots, x_n) - \sum_{i=1}^n q_i x_i + \sum_{i=1}^n \lambda_i (-x_i + k_i^2) + \\ & + \sum_{i=1}^n \lambda_{n+i} \left( -\frac{\partial f}{\partial x_i} + l_i^2 \right). \end{aligned} \quad (7)$$

Необходимые условия для отыскания экстремума:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial L}{\partial k_i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 \frac{\partial L}{\partial k_i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 \frac{\partial L}{\partial l_i} &= 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} &= 0, \quad \lambda = 1, 2, \dots, 2n;
 \end{aligned} \tag{8}$$

Эти условия определяют следующие соотношения:

$$\begin{cases}
 \rho \frac{\partial f}{\partial x_i} - q_i - \lambda_i - \lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 2k_i \lambda_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 2l_i \lambda_{n+i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\
 -x_i + k_i^2 = 0, \quad -\frac{\partial f}{\partial x_i} + l_i^2 = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n.
 \end{cases} \tag{9}$$

Будем предполагать, что при достижении максимума прибыли не может быть таких условий, при которых потребление хотя бы одного ресурса было равно нулю, что соответствует реальному положению работы большинства предприятий, т.е.  $x_i \neq 0, i = 1, 2, \dots, n$ . Тогда  $k_i \neq 0$  и  $l_i = 0$  для  $i = 1, 2, \dots, n$ . Значит, система первых  $n$  уравнений из (9) будет выглядеть так:

$$\rho \frac{\partial f}{\partial x_i} - q_i - \lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \tag{10}$$

Пусть  $n$ -мерная точка  $\bar{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  является точкой, где достигается максимум прибыли предприятия. Если в этой точке для некоторого  $i$ :

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0, \tag{11}$$

$$\text{то тогда: } l_i = 0 \quad \text{и} \quad -\lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} = q_i. \tag{12}$$

Тогда по этому ресурсу:

$$-\lambda_{n+i} = \frac{q_i}{\frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2}}. \tag{13}$$

Если же в точке  $\bar{x}^*$  для ресурса  $j$  выполняется условие:

$$\frac{\partial f}{\partial x_j} > 0, \tag{14}$$

$$\text{то:} \quad l_j = 0 \quad \text{и} \quad \lambda_{n+j} = 0. \tag{15}$$

$$\text{Тогда:} \quad \rho \frac{\partial f}{\partial x_j} - q_j = 0, \tag{16}$$

т.е. предельная производительность ресурса  $j$  равна частному от деления цены на ресурс на цену продукции:

$$\frac{\partial f}{\partial x_j} = \frac{q_j}{\rho}. \tag{17}$$

В условиях монополии цена на продукцию является функцией от выпуска продукции:

$$p(y) . \quad (18)$$

Более того, эта функция является убывающей:

$$\frac{dp}{dy} < 0 . \quad (19)$$

Тогда прибыль предприятия:

$$\Pi = p(y) \cdot y - \sum_{i=1}^n q_i x_i . \quad (20)$$

Используя те же ограничения (5) и введя неизвестные  $k_i$  и  $l_i$  аналогично (6) получаем функцию Лагранжа:

$$L(x_1, x_2, \dots, x_n, k_1, \dots, k_n, l_1, \dots, l_n, y, \lambda_1, \dots, \lambda_{2n}, r) = p(y) \cdot y - \sum_{i=1}^n q_i x_i + \sum_{i=1}^n \lambda_i (-x_i + k_i^2) + \sum_{i=1}^n \lambda_{n+i} \left( -\frac{\partial f}{\partial x_i} + l_i^2 \right) + r[y - f(x_1, \dots, x_n)] . \quad (21)$$

В состав неизвестных уже включена и переменная  $y$ , обозначающая объем выпуска продукции. Необходимые условия экстремума задаются системой уравнений:

$$\begin{aligned} \frac{\partial L}{\partial x_i} &= -q_i - \lambda_i - \lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} - r \frac{\partial f}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial L}{\partial k_i} &= 2\lambda_i k_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial L}{\partial l_i} &= 2\lambda_{n+i} l_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial L}{\partial y} &= \frac{dp}{dy} y + p(y) + r = 0; \\ \frac{\partial L}{\partial \lambda_i} &= -x_i + k_i^2, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad \frac{\partial L}{\partial \lambda_{n+i}} = -\frac{\partial f}{\partial x_i} + l_i^2 = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \\ \frac{\partial L}{\partial r} &= y - f(x_1, x_2, \dots, x_n) = 0. \end{aligned} \quad (22)$$

Как и раньше, предполагаем, что в  $n$ -мерной точке  $\bar{x}^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$  в которой достигается максимум прибыли, для всех ресурсов  $x_i > 0$ . Тогда:

$$k_i \neq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad \text{и} \quad \lambda_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (23)$$

Тогда первые  $n$  уравнений (22) можно переписать в виде:

$$-q_i - \lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} + \left[ \frac{dp}{dy} \cdot y + p(y) \right] \frac{\partial f}{\partial x_i} = 0, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (24)$$

Если в точке  $\bar{x}^*$  для некоторого ресурса:

$$\frac{\partial f}{\partial x_i} = 0 , \quad (25)$$

то как и для условий совершенной конкуренции:

$$-\lambda_{n+i} \frac{\partial^2 f}{\partial x_i^2} = q_i . \quad (26)$$

В противном случае:

$$\left[ \frac{dp}{dy} \cdot y + \rho(y) \right] \frac{\partial f}{\partial x_i} = q_i. \quad (27)$$

Соотношения (17) и (27) являются основными для определения тактики принятия решений руководством предприятий в условиях работы этих предприятий в различных экономических условиях.

Важнейшим вопросом для применения изложенных выше соотношений в практической деятельности предприятий является определение вида функции  $s(y)$  и производственной функции предприятия  $y = f(x_1, \dots, x_n)$ . Для этих целей может быть применен широко используемый на практике аппарат нелинейного регрессионного анализа с использованием статистических данных работы предприятий. Причем, в качестве ресурсов можно взять важнейшие из них, а их не так много. Например, для горно-обогатительных комбинатов в качестве основных ресурсов могут быть взяты расходы электроэнергии, технической и оборотной воды.

Рассмотрим модель производственной функции:

$$y = \frac{ax_1 x_2 \dots x_n}{(k_1 1/1)(k_2 1/2) \dots (k_n + 1/4)}, \quad (28)$$

где:  $a, k_1, k_2, \dots, k_n$  - параметры.

Используя статистические данные (среднечасовые значения) работы горнорудного предприятия методом Брандона вычисляем значения параметров. Для практических целей в качестве зависимости цены на продукцию от ее выпуска удобнее всего, как показала практика, взять одну из трех основных зависимостей:

$$\rho(y) = \begin{cases} \rho_0, & y \leq y_0; \\ \rho_0 - \lambda(y - y_0), & y > y_0; \end{cases} \quad (29)$$

$$\rho(y) = \begin{cases} \rho_0, & y \leq y_0; \\ \rho_0 - \lambda\sqrt{y - y_0}, & y > y_0; \end{cases} \quad (30)$$

$$r = \begin{cases} 1, & x \in N, \\ 0, & x \notin N, \end{cases} \quad (31)$$

где:  $\rho_0, y_0, \lambda$  - параметры, которые задаются.

В такой постановке, учитывая точность определения выпуска продукции  $\Delta y$ , достаточно просто возложить функцию определения оптимальных значений ресурсов  $x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*$  на компьютер с использованием соответствующего программного обеспечения.

**Выводы.** В данной статье рассмотрены основные соотношения, позволяющие оптимизировать работу горнорудного предприятия в различных экономических условиях его функционирования. Несмотря на сложность применяемого математического аппарата, данная работа имеет прямой практический результат: предприятие должно работать с максимальной прибылью. Для практической реализации разработок, изложенных в данной статье, в конце статьи намечены дальнейшие перспективные направления развития этих работ.

This article considers the problems of modeling mining enterprise to function on are enrichment under the circumstances of tough competition and monopolies in modern market to maximize income. Means of production functions and methods of conventional optimization are used to reach this goal.

1. Ситник В.Ф., Карагодова Е.Л. Математические модели в планировании и управлении предприятиями. – К.: Вища школа, 1985.
2. Гамецкий А.Ф., Соломон Д.И. Математическое моделирование микроэкономических процессов. – Кишинев: Штиница, 1996.
3. Табак Д., Куо Б. Оптимальное управление и математическое программирование. – М.: 1975.

## ОБ ОДНОМ МЕТОДЕ ПОСТРОЕНИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ПРОГНОЗИРУЕМОГО ПРОЦЕССА

Баранов Ю.В., Гречухин А.В., Гагарин В.В.

**Введение.** Синтез систем обработки реальных сигналов в условиях неопределенности требует решения задач фильтрации, сглаживания и прогнозирования. Все эти задачи заключаются в нахождении наилучшей в определенном смысле оценки исследуемого процесса и сводятся к минимизации некоторого наперед выбранного критерия оценивания. Таким образом, указанные задачи сводятся к построению математической модели исследуемого процесса, вид и параметры которой определяются в процессе решения задачи идентификации.

Простота и удобство использования линейных моделей обеспечили их довольно широкое применение на практике. Однако зачастую такие модели недостаточно адекватно отражают свойства исследуемого процесса, что обуславливает необходимость построения более сложных, нелинейных, моделей. Отсутствие общих рекомендаций для построения подобных моделей существенно усложняет решение задачи получения адекватного математического описания.

Целью данной работы является решение задачи построения нелинейной математической модели, описываемой уравнением Гаммерштейна и достаточно адекватно отражающей свойства довольно широкого круга нелинейных динамических процессов.

**Постановка задачи.** Рассмотрим задачу текущего прогнозирования стохастического процесса по данным о его предыстории. Проблема сводится к нахождению оценки данного процесса в реальном времени по мере поступления данных.

В линейном случае эта задача достаточно хорошо исследована и может быть успешно решена с помощью адекватных прогнозирующих регрессионных моделей [1]. Для построения же нелинейной модели прогнозируемого процесса необходимо выбрать структуру модели и определить ее параметры. Достаточно общей и в то же время эффективной является нелинейная модель Гаммерштейна, представляющая собой последовательное соединение нелинейной статической и линейной динамической частей и предложенная для решения задачи идентификации в работе [2].

В момент времени  $t$  в нелинейной части модели входной сигнал  $x(t)$  преобразовывается в выходной  $u(t)$  с помощью нелинейного преобразования  $f[x(t)] = u(t)$ , а выходной сигнал модели получается пропуском сигнала  $u(t)$  через линейную часть. Таким образом, модель Гаммерштейна имеет вид

$$u(t) = f[x(t)]; \quad (1)$$

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1})u(t), \quad (2)$$

где  $A(q^{-1}) = 1 + a_1q^{-1} + \dots + a_mq^{-m}$ ;  $B(q^{-1}) = b_0 + b_1q^{-1} + \dots + b_nq^{-n}$ .

Задача построения модели (идентификации) заключается в оценивании нелинейной функции  $f[\bullet]$  и параметров линейной части модели  $a_i, b_j, i = \overline{1, m}; j = \overline{0, n}$ .

**Решение задачи.** Пусть  $f[x(t)]$  представляет собой асимметричную кусочно-непрерывную нелинейность [3]

$$u(t) = \begin{cases} f[x(t)], & \text{если } x(t) > 0, \\ g[x(t)], & \text{если } x(t) < 0, \\ 0, & \text{если } x(t) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Введем последовательность  $\{h(t)\}$ , определяемую как

$$h(t) = h[x(t)] = \begin{cases} 0, & \text{если } x(t) \geq 0, \\ 1, & \text{если } x(t) < 0. \end{cases} \quad (4)$$

Тогда зависимость выхода нелинейного элемента  $u(t)$  от входного сигнала  $x(t)$  может быть записана так

$$u(t) = f[x(t)] + \{g[x(t)] - f[x(t)]\}h(t). \quad (5)$$

Аппроксимируем нелинейные функции  $f[\bullet]$  и  $g[\bullet]$  следующим образом:

$$\begin{aligned} f[x(t)] &= \sum_{i=1}^r f_i x^i(t), \\ g[x(t)] &= \sum_{i=1}^r g_i x^i(t), \end{aligned} \quad (6)$$

где  $f_i, g_i$  – коэффициенты разложения, подлежащие определению ( $i=1,2,\dots,r$ ).  
В этом случае соотношение (5) принимает вид:

$$u(t) = \sum_{i=1}^r f_i x^i(t) + \sum_{i=1}^r [g_i - f_i] x^i(t) h(t) = \sum_{i=1}^r f_i x^i(t) + \sum_{i=1}^r l_i x^i(t) h(t), \quad (7)$$

Где  $l_i = g_i - f_i$ .

Данное уравнение является линейным относительно неизвестных коэффициентов  $g_i$  и  $f_i$ .

Пусть линейная часть модели описывается уравнением (2).

Уравнение (2) также является линейным относительно неизвестных параметров  $a_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ),  $b_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ).

Так как входным сигналом линейной части модели является выходной сигнал нелинейной части, то подставляя (7) в (2), получаем

$$A(q^{-1})y(t) = B(q^{-1}) \left[ \sum_{i=1}^r f_i x^i(t) + \sum_{i=1}^r l_i x^i(t) h(t) \right]. \quad (8)$$

Как следует из (8), полученное уравнение является нелинейным относительно искомых параметров  $a_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ),  $b_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ),  $f_k$  и  $g_k$  ( $k=1,2,\dots,r$ ). Эти параметры могут быть определены с помощью какого-либо метода нелинейной оптимизации [4].

Однако решение данной задачи существенно упрощается, если воспользоваться принципом разделения [5]. Предположим, что  $b_0=1$ , (это не ограничивает общности данного подхода). С этой целью перепишем уравнение (2) следующим образом:

$$y(t) = u(t) + \left[ B(q^{-1}) - 1 \right] u(t) + \left[ 1 - A(q^{-1}) \right] y(t) + \xi(t). \quad (9)$$

Подставив вместо отдельно выделенного сигнала  $u(t)$  в (9) его выражение (7), получим

$$y(t) = \sum_{i=1}^r f_i x^i(t) + \sum_{i=1}^r l_i x^i(t) h(t) + \left[ B(q^{-1}) - 1 \right] u(t) + \left[ 1 - A(q^{-1}) \right] y(t) + \xi(t). \quad (10)$$

Данное уравнение представляет собой одну из разновидностей модели Гаммерштейна, определяемую через входные, выходные и внутренние ее сигналы и использующую в качестве статической нелинейности асимметрическую кусочно-непрерывную функцию вида (3). Следует, однако, подчеркнуть что данная модель уже является линейной относительно искомых параметров  $a_i$  ( $i=1,2,\dots,m$ ),  $b_j$  ( $j=1,2,\dots,n$ ),  $f_k$  и  $g_k$  ( $k=1,2,\dots,r$ ).

Уравнение модели Гаммерштейна (10), содержащее асимметрическую кусочно-непрерывную статическую нелинейность, может быть переписано в виде уравнения псевдолинейной регрессии

$$y(t) = \Theta^{*T} q(t) + \xi(t), \quad (11)$$

где  $\Theta^* = [f_1, f_2, \dots, f_r, l_1, l_2, \dots, l_r, b_1, b_2, \dots, b_n, a_1, a_2, \dots, a_m]^T$  - вектор параметров размерности  $(2r+n+m) \times 1$ ;

$$q(t) = [x(t), x^2(t), \dots, x^r(t), x(t)h(t), x^2(t)h(t), \dots, x^r(t)h(t),$$

$u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n), -y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-m)]^T$  - обобщенный вектор сигналов размерности  $(2r+n+m) \times 1$ .

Как видно из приведенных формул, обобщенный вектор сигналов модели содержит вектор неизменяемых внутренних сигналов модели, компонентами которого являются  $u(t-1), u(t-2), \dots, u(t-n)$ . Поэтому непосредственно воспользоваться каким-либо методом оценивания параметров модели (11) не представляется возможным. С другой стороны можно получить некоторую оценку ненаблюдаемого сигнала  $u(t)$ , используя информацию о входных, выходных переменных и оценках искомых параметров, а затем итерационно уточнять эту оценку, одновременно используя ее при нахождении оценок параметров модели.

Обозначим рассогласование выходных сигналов модели и объекта после  $k$  тактов оценивания

$$e(t) = y(t) - \hat{\Theta}_k^T \hat{q}_k(t), \quad (12)$$

где  $\hat{\Theta}_k, \hat{q}_k(t)$  - оценки векторов  $\Theta$  и  $q(t)$  соответственно.

Выбор в качестве критерия оценивания квадратичного

$$I(t) = \sum_{i=1}^t e^2(i) \quad (13)$$

приводит к получению оценки МНК

$$\hat{\Theta}_k = \left[ \hat{\Theta}_k(t) \hat{\Theta}_k^T \right]^{-1} \hat{\Theta}_k(t) Y(t), \quad (14)$$



где  $\hat{\Theta}_k(t) = \left[ \hat{q}_k^T(1), \hat{q}_k^T(2), \dots, \hat{q}_k^T(t) \right]^T$  - оценка обобщенной матрицы наблюдений размерности  $(2r+n+m) \times t$ ;  $Y(t) = [y(1), y(2), \dots, y(t)]^T$  - вектор выходных сигналов  $t \times 1$ .

Учитывая, что нелинейность имеет вид (7), запишем оценку ненаблюдаемого сигнала  $u(t)$  после  $k$  тактов

$$\hat{u}(t) = \sum_{i=1}^r \hat{f}_i x^i(t) + \sum_{i=1}^r \hat{l}_i x^i(t)h(t). \quad (15)$$

Тогда используемая в (15) оценка обобщенного вектора сигналов запишется в виде

$$\hat{q}(t) = [x(t), x^2(t), \dots, x^r(t), x(t)h(t), x^2(t)h(t), \dots, x^r(t)h(t), \hat{u}(t-1), \hat{u}(t-2), \dots, \hat{u}(t-n), -y(t-1), -y(t-2), \dots, -y(t-m)]^T. \quad (16)$$

Таким образом, итерационный алгоритм оценивания параметров модели может быть записан так

Шаг 1. На основе выбранного критерия (13) с использованием оценки обобщенного вектора сигналов вычисляется оценка МНК параметров модели линейной и нелинейной частей.

Шаг 2. Вычисляется новая оценка в соответствии с (15).

Шаг 3. Вычисляется значение критерия (13). Если критерий удовлетворен, то останов, если нет – повторяются шаги 2 и 3.

**Выводы.** В статье рассмотрен метод построения нелинейной модели Гаммерштейна, в которой используется асимметричная кусочно-непрерывная нелинейность. Аппроксимация данной нелинейности степенными рядами приводит к нелинейной относительно искомым параметрам системе уравнений, решение которой может быть осуществлено с помощью известных методов нелинейной оптимизации.

Несколько упростить решение поставленной задачи позволяет применение принципа разделения. Однако и получаемая при этом модель псевдолинейной регрессии содержит неизвестные внутренние сигналы, для оценивания которых следует применять итерационные схемы.

The problem of nonlinear Hammerstein model synthesis for forecasting is considered. Estimation algorithm for linear and non-symmetric nonlinear parts of the model is proposed.

1. Montgomery D.C., Johnson L.A., Gardiner J.S. Forecasting and time series analysis. – N.Y.: Mc Graw-Hill, 1990. – 394 p.
2. Narendra K., Gallman P.G. An iterative method for the identification of nonlinear system using a Hammerstein model // IEEE Trans. Aut. Control. – 1966. – Vol. 11, №3. – P. 546-550.
3. Kung M.C., Wormack B.F. Discrete time adaptive control of linear dynamic systems with preload nonlinearity // Automatica. – 1984. – Vol. 20, №2. – P. 477-479.
4. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. – М.: Наука, 1983. – 384 с.
5. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. – М.: Наука, 1991. – 432 с.

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЧИСЛОВОГО МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ

Болычевцев А.Д., Болычевцева Л.А., Быстрицкая Л.Б.

Проблема качества актуальна во все времена. Гарантом качества выпускаемой предприятием продукции был и остается производственный контроль [1]. Чтобы выполнять свою миссию гаранта, контроль сам должен быть качественным.

Еще сравнительно недавно понятие «качество контроля» не имело четкого толкования и лишь изредка проскальзывало в периодической печати как синоним достоверности контроля. Между тем это понятие имеет самостоятельную расшифровку, опирающуюся на общую дефиницию качества любого объекта познания, независимо от его физической природы. Впервые оно определено и строго аргументировано в работе [2]. В ней же найдены и проанализированы показатели качества числового однопараметрического контроля. При определенных условиях они могут быть распространены и на многопараметрический контроль.

Цель данной работы – установить эти условия и конкретизировать структуру соответствующих показателей качества.

Исходные сведения. Согласно [2], качество контроля есть его свойство соответствовать своему назначению. Количественно его (качество) можно оценить показателем, именуемым потерями качества и представляющим собой математическое ожидание так называемой функции потерь  $l(r, r')$  [3]. Аргументы последней суть требуемые (идеальные) и действительные (реальные) выходные параметры системы контроля

$$\Delta L = Ml(r, r'). \quad (1)$$

При этом под системой контроля понимается совокупность контролируемого объекта и контролирующего устройства, а под ее выходными параметрами – двоичные сигналы, отражающие результаты контроля: «да» или «нет» («0» или «1»)

$$r = \begin{cases} 1, & x \in N, \\ 0, & x \notin N, \end{cases} \quad r' = \begin{cases} 1, & x' \in N, \\ 0, & x' \notin N, \end{cases} \quad (2)$$

$x$  и  $x'$  – истинное и измеренное значение контролируемого параметра объекта,  $N$  – его норма (область его допустимых значений).

Общий принцип конструирования функции потерь – штраф за ошибку [3]. При его реализации для однопараметрического контроля каждой ошибке первого рода ставится в соответствие некоторый штраф  $c_1$ , каждой ошибке второго рода – штраф  $c_2$ , отсутствие ошибки не штрафуются (штраф  $c_0 = 0$ ).

Специфика многопараметрического контроля. Многопараметрические объекты контроля имеют несколько контролируемых параметров, описываемых векторной величиной  $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ . Результаты их измерения представляются вектором  $\vec{x}' = (x'_1, x'_2, \dots, x'_n)$ , не совпадающим с вектором контролируемых параметров  $\vec{x}$ . Измерения по каждой компоненте вектора несвязанны и проводятся независимо друг от друга, так что случайные величины  $x'_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$  независимы.

Норма  $N$  вектора контролируемых параметров есть  $n$ -мерный параллелепипед с длиной сторон, равной ширине поля допуска по каждому из параметров. Попадание точки  $\vec{x}'$  внутрь параллелепипеда

$$\vec{x}' \in N \quad (3)$$

равносильно положительному исходу контроля объекта, непопадание – отрицательному исходу. Иначе говоря, объект считается годным тогда и только тогда, когда результат измерения каждого контролируемого параметра попадает внутрь соответствующего интервала

$$x'_i \in [x_{ni}, x_{vi}], \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (4)$$

$x_{ni}$  и  $x_{vi}$  – нижняя и верхняя границы поля допуска по  $i$ -му контролируемому параметру. Если хотя бы один результат измерения  $x'_i$  не удовлетворяет (4), исход контроля отрицателен.

Многопараметрический контроль обычно строится по такой схеме.

В той или иной заранее установленной последовательности проверяются контролируемые параметры объекта на их соответствие допуску (4).

Как только для какого-то, например  $k$ -го ( $k \leq n$ ) контролируемого параметра, условие (4) не выполняется

$$x'_k \notin [x_{ni}, x_{vi}], \quad (5)$$

цепочка их проверок прерывается, исход контроля считается отрицательным и объект бракуется.

– Если по результатам проверок все контролируемых параметров оказались в допуске, исход контроля считается положительным, а объект годным, т.е. принимается к использованию по назначению.

Изложенное показывает, что идеальный  $r$  и реальный  $r'$  исходы многопараметрического контроля предстают в форме конъюнкции (произведения) соответствующих идеальных  $r_i$  и реальных  $r'_i$  исходов однопараметрического контроля (контроля по каждому контролируемому параметру):

$$r = \bigcap_{i=1}^k r_i, \quad r' = \bigcap_{i=1}^k r'_i, \quad (6)$$

где

$$r_i = \begin{cases} 1, & x_i \in [x_{ni}, x_{vi}], \\ 0, & x_i \notin [x_{ni}, x_{vi}], \end{cases} \quad r'_i = \begin{cases} 1, & x \in [x_{ni}, x_{vi}], \\ 0, & x \notin [x_{ni}, x_{vi}]. \end{cases} \quad (7)$$

Из-за несовершенства методики контроля и неточности используемых технических средств его исходы могут оказаться ошибочными ( $r \neq r'$ ): годный объект бракуется и, наоборот, негодный объект принимается за качественный. Это так называемые ошибки первого и второго рода. Их вероятности участвуют в формировании качества исхода контроля.

Качество положительного исхода. При многопараметрическом контроле наибольший интерес представляет оценка качества контроля принятого к использованию объекта. Очевидно, в этом случае исход контроля полагается положительным

$$r' = 1 \quad (8)$$

и, как следствие,  $k = n$ .

При составлении функции потерь возможны разные подходы, соответствующие разным влияниям ошибок контроля на экономические последствия функционирования контролируемого объекта. Выделим два из них.

Первый подход исходит из того, что любая ошибка второго рода одинаково нежелательна. В этом случае каждой ошибке естественно приписывать одинаковый штраф  $c$ . Функция потерь приобретает вид двоичной случайной величины

$$l(r) = \begin{cases} c_0 = 0, & r = 1, \\ c, & r = 0. \end{cases} \quad (9)$$

В символической записи функции потерь аргумент  $r/$  опущен, поскольку он принимает постоянное значение  $r/ = 1$ .

Второй подход исходит из того, что разные контролируемые параметры  $x_i$  имеют разный вес в формировании качества объекта. В этом случае ошибкам контроля будем приписывать разные штрафы  $c_i$ . Функцию потерь представим в виде

$$l(r=r_1 \cap r_2 \cap \dots \cap r_n) = \begin{cases} c_0 = 0, & r = 1, \\ c_1, & r = 0, \\ c_2 & r = 0, \\ \dots\dots\dots \\ c_n, & r_n = 0, \end{cases} \quad (10)$$

тем самым расшифровав, какой именно контролируемый параметр стал первопричиной ошибки контроля объекта в целом.

В записи (10) событие  $r = 1$  означает, что положительный исход контроля (8) верен. Вероятность этого события характеризует степень доверия к исходу, т.е. его достоверность

$$p_0 = P \{ r = 1 \}. \quad (11)$$

Каждое из событий  $r_i = 0$  представляет собой ошибку второго рода по  $i$ -му параметру. Именно ей мы и приписываем штраф  $c_i$ . Ее вероятность есть апостериорно-условный риск заказчика [4]

$$p_{2i} = P \{ r_i = 0 | r_i' = 1 \}. \quad (12)$$

Покажем, что для реальных условий контроля запись (10) можно рассматривать как некую дискретную случайную величину  $C$ , принимающую значения  $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$  с соответствующими вероятностями  $p_0, p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2i}$ . Действительно.

Достоверность  $p_0$  контроля объекта в целом равна произведению достоверностей  $p_{0i}$  исходов контроля по каждой компоненте (контролируемому параметру)  $x_i, i = 1, \dots, n$ .

$$p_0 = \prod_{i=1}^n p_{0i} = \prod_{i=1}^n (1 - p_{2i}) \quad (13)$$

Раскроем последнее произведение

$$p_0 = 1 - \sum_{i=1}^n p_{2i} + \sum_{i,j=1, i \neq j}^n p_{2i} p_{2j} - \sum_{i \neq j \neq l}^n p_{2i} p_{2j} p_{2l} + \dots + (-1)^n p_{21} p_{22} \dots p_{2n}. \quad (14)$$

При правильной организации многопараметрического контроля вероятности  $p_{2i}, i = 1, 2, \dots, n$  малы (в противном случае контроль был бы неэффективен). Поэтому определяющий вклад в достоверность  $p_0$  вносят первые два члена записи (14), так что

$$p_0 \approx 1 - \sum_{i=1}^n p_{2i}. \quad (15)$$

Отсюда следует

$$p_0 + p_{21} + p_{22} + \dots + p_{2n} \approx 1. \quad (16)$$

Составим таблицу из двух строк и  $n + 1$  столбца

$c_0$	$c_1$	$c_2$	$\dots$	$c_n$
$p_0$	$p_{21}$	$p_{22}$		$p_{2n}$

(17)

Учитывая приближение (16), ее можно рассматривать как ряд распределения дискретной случайной величины  $C$ , принимающей значения  $c_0, c_1, c_2, \dots, c_n$  с вероятностями  $p_0, p_1, p_2, \dots, p_n$ .

Теперь нетрудно найти потери качества контроля  $\Delta L$  как математическое ожидание функции потерь  $l(r)$  (дискретной случайной величины  $C$ ), определяемой ее первой (9) и второй (10) структурами. Для первой структуры

$$\Delta L = M l(r) = c p_2, \quad (18)$$

где  $p_2$  – апостериорно-условный риск заказчика при многопараметрическом контроле, любые ошибки второго рода которого одинаково нежелательны. Пропорциональная зависимость  $\Delta L$  от  $p_2$  показывает, что в этом случае сам риск  $p_2$  может выступать в роли потери качества контроля. Для второй структуры

$$\Delta L = M l(r) = \sum_{i=1}^n c_i p_{2i} = \langle c_i, p_{2i} \rangle, \quad (19)$$

где  $\langle \cdot, \cdot \rangle$  – символ скалярного произведения двух векторов

$$\bar{c} = (c_1, c_2, \dots, c_n), \quad \bar{p} = (p_{21}, p_{22}, \dots, p_{2n}). \quad (20)$$

Итак, потери качества многопараметрического контроля при его положительном исходе равны скалярному произведению вектора штрафов на вектор апостериорно-условных рисков заказчика. В частном случае, когда влияние ошибок контроля на экономические последствия функционирования объекта одинаковы ( $c_i = c, i = 1, 2, \dots, n$ ),

$$\Delta L = c \sum_{i=1}^n p_{2i}. \quad (21)$$

Из сравнения (21) и (18) следует, что сумма апостериорно-условных рисков заказчика выступает в качестве апостериорно-условного риска контроля в целом

$$p_2 = \sum_{i=1}^n p_{2i}. \quad (22)$$

Качество отрицательного исхода. Как следует из сказанного выше, объект бракуется при первом же отрицательном исходе проверок контролируемых параметров (5). Это значит, что он возвращается поставщику, который его (объект) после его дополнительных проверок либо ликвидирует (отправит на свалку, демонтирует на запчасти и т.п.), либо восстанавливает (ремонтирует), либо вновь передает заказчику как ошибочно забракованный. Издержки на дополнительные проверки в двух первых случаях – по вине самого изготовителя, в последнем – по вине заказчика. Они и определяют цену ошибки (а следовательно, и штраф за ошибку) первого рода.

Размер штрафа, очевидно, зависит от той информации, которой сопровождается возвращение изготовителю забракованного объекта. Возможны два варианта такого возвращения: а) с указанием контролируемого параметра, ставшего причиной отрицательного исхода контроля; б) без какой-либо информации.

При первом варианте автоматически оказываются известными и все предшествующие контролируемые параметры, подвергшиеся проверке и подтвердившие свою «благонадежность» (соответствие допуску). Этот вариант связан с большими, чем второй вариант, издержками контроля. Поэтому он практикуется реже. Тем более, что, независимо от того, указан «виновник» брака или нет, поставщику все равно придется проверять все контролируемые параметры заново. Ведь часть параметров оказывается непроверенной вообще, а в проверенную часть параметров могли вкратиться ошибки.

Из сказанного следует, что, независимо от того, какой контролируемый параметр явился причиной бракования объекта, в качестве штрафа за ошибку первого рода следует взять стоимость дополнительных проверок всей совокупности контролируемых параметров. Именно эта стоимость и служит ценой ошибки контроля.

В некоторых случаях может оказаться, что дополнительные проверки стоят дороже, чем сам объект контроля. В этом случае его проще изъять (демонтировать), не подвергая проверкам. Тогда роль штрафа за ошибку первого рода возьмет на себя стоимость объекта.

Таким образом, при отрицательном исходе контроля, т.е. при выполнении

$$r = 0 \quad (23)$$

функция потерь  $l(r)$  имеет такой же вид, как и при положительном исходе контроля в случае одинаковой нежелательности любой ошибки

$$l(r) = \begin{cases} c_0 = 0 & r=0, \\ c, & r=1, \end{cases} \quad (24)$$

и, значит, потери качества контроля опишутся аналогичной (18) зависимостью

$$\Delta L = M l(r) = c p_1, \quad (25)$$

в которой  $p_1$  – риск изготовителя при многопараметрическом контроле. Он определяется соотношением, аналогичным риску заказчика (22)

$$p_1 = \sum_{i=1}^n p_{1i}, \quad (26)$$

$p_{1i}$  – вероятность ошибки первого рода по  $i$ -му контролируемому параметру.

Полученные результаты раскрывают структуру показателей качества многопараметрического контроля, позволяя продвинуться в решении задачи его анализа.

Peculiarities of the structure of multiparameter control quality indices are considered. An expression given for quality loss of its positive and negative results.

1. Большевцев А.Д. Контроль как гарантия качества продукции и требования к точности его измерительных средств // Метрология. – 2000. - № 11. – С. 20-32.
2. Большевцев А.Д., Цапенко М.П., Шенброт И.М. Качество контроля // Измерительная техника. – 1984. - № 11. – С. 3-5.
3. Основы автоматического управления / Под редакцией В.С. Пугачева. – М.: Наука, 1968. – 680 с.
4. Пономаренко М.Ф. Методы достоверности контроля. – К.: КПИ, 1983. –162 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВИХРЕВЫХ СТРУКТУР ПУТЕМ  
ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Поляков Н.В.

**Введение.** Разработка и совершенствование методов расчета вихревых течений жидкости является одним из магистральных направлений развития современной гидродинамики. Широкое распространение вихревых течений в природе и технике, важность их правильного и эффективного расчета для самых разнообразных отраслей деятельности человека определяют актуальность настоящей работы.

**Современное состояние вопроса.** Фундаментальной проблемой динамики вихревых течений является эволюция вихревых структур. Данному вопросу посвящена обширная литература, сколько-нибудь полный анализ которой не может быть приведен в ограниченных рамках настоящей статьи, отметим только, что достаточно полные обзоры литературы содержатся в фундаментальных монографиях по данному вопросу [1 – 5]. Определяющим фактором характера эволюции вихревой структуры является ее устойчивость, что и обусловило значительный интерес к этому вопросу, отраженный в упоминавшихся уже монографиях [1 – 5]. Трактовка понятия устойчивость в гидродинамике обычно несколько шире, нежели традиционная асимптотическая устойчивость по Ляпунову, используемая в теории дифференциальных уравнений. Гидродинамически устойчивой будем называть систему, которая сохраняет свои параметры в пределах определенных интервалов в течение некоторого конечного промежутка времени.

К сожалению, задачи об эволюции вихревой структуры имеет аналитическое решение только в очень ограниченном числе случаев [6]. В общем случае она может быть решена только численно. Как эйлеровы, так и лагранжевы подходы могут быть использованы при численном расчете, однако с ростом числа Рейнольдса применение эйлеровых подходов, например, метода конечных разностей, вызывает все больше затруднений, в результате чего в [2] высказана мысль о возможной неэффективности метода конечных разностей для численного решения подобных задач. Отметим, что большинство попыток численного анализа подобных задач было выполнено при помощи лагранжевых методов [1, 2, 4, 6 – 15]. Традиционно рассматривают плоские вихревые структуры, поскольку пространственный анализ в подобных задачах затруднен большим расходом ресурсов ЭВМ и сложностью визуализации, хотя принципиально пространственный анализ вполне возможен. В настоящей работе рассмотрение также будет ограничено плоским случаем.

По результатам вычислительного эксперимента можно судить не о собственно гидродинамической устойчивости, а о вычислительной устойчивости вихревой структуры, то есть, помимо гидродинамической неустойчивости может иметь место и неустойчивость вычислительного процесса. Неустойчивость вычислительного процесса, как правило, является следствием использования конкретной аппроксимации, например, дискретных вихрей. Хотя в работах [2, 3, 5, 6, 13, 14] и делались попытки ввести в схемы метода дискретных вихрей вязкую диссипацию, проблема эквивалентности расчетных схем в целом остается далекой от полного разрешения. Однако для конечных и относительно небольших промежутков времени и при достаточно больших числах Рейнольдса расчет эволюции вихревых структур методом дискретных вихрей дает результаты достаточно близкие реальным течениям, то есть, можно надеяться, что для таких случаев понятие гидродинамической устойчивости и вычислительной устойчивости также будут соответствовать друг другу.

Следует отметить, что существует известное расхождение во взглядах на проблему устойчивости. Дело в том, что системы, включающие 4 и более дискретных вихрей, начиная с некоторого момента времени, демонстрируют хаотическое поведение [2, 16], то

есть, асимптотически неустойчивы по Ляпунову. Однако многие системы дискретных вихрей, будучи неустойчивыми по Ляпунову, демонстрируют явно выраженную вычислительную устойчивость, которая, как отмечалось выше, как правило, соответствует гидродинамической устойчивости.

**Нерешенные задачи и цели настоящей работы.** Принципиальным недостатком метода дискретных вихрей является некорректное представление скоростей вихря при межвихревом взаимодействии на малом расстоянии. Для преодоления этой трудности используются различные схемы регуляризации [3, 17], которые, однако, решают проблему лишь частично. В работах [7, 17] предложен другой путь разрешения указанной проблемы – замена пары близкодействующих вихрей комбинацией вихря и вихревого диполя. Исходя из вышесказанного, первой целью настоящей работы является анализ устойчивости дипольно-вихревых структур путем численного эксперимента методом дискретных особенностей (дискретных вихрей и диполей), в отличие от предыдущих работ, где на устойчивость исследовались чисто вихревые структуры. Второй целью настоящей работы является исследование влияния дискретно-вихревой аппроксимации на потерю симметрии и последующую потерю устойчивости «больших» вихревых структур. В целом, следует отметить, что количество работ, в которых исследовались свойства «больших» вихревых структур, получающихся в результате дискретно-вихревой аппроксимации распределенной области завихренности, весьма ограничено [2, 3, 6, 13, 14].

**Постановка задачи.** В отличие от классических работ по методу дискретных вихрей, где были даны формулировки задачи в терминах завихренность - скорость, в настоящей работе задача будет сформулирована в терминах завихренность - функция тока, следуя работе [17]. Функция тока плоского течения несжимаемой жидкости удовлетворяет следующему интегральному соотношению [17]:

$$\begin{aligned} \chi(x_0, y_0) \Psi(x_0, y_0) = \oint_{\Gamma} P(x, y, x_0, y_0) \frac{\partial \Psi}{\partial n} dS - \\ - \oint_{\Gamma} \Psi \frac{\partial P}{\partial n}(x, y, x_0, y_0) dS + \iint_D \omega(x, y) P(x, y, x_0, y_0) dx dy, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\omega$  – распределенная завихренность,  $D$  – область течения (в нашем случае  $D = R^2$ ),  $\Gamma$  – граница области  $D$ , поскольку область бесконечная, то первые два интеграла в (1) выпадают, функции

$$\chi(x_0, y_0) = \begin{cases} 0, & (x_0, y_0) \notin D, (x_0, y_0) \notin \Gamma, \\ 1/2, & (x_0, y_0) \in \Gamma, \\ 1, & (x_0, y_0) \in D, \end{cases} \quad P = \frac{1}{2\pi} \ln \left( \frac{1}{\sqrt{(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2}} \right).$$

Метод дискретных вихрей предполагает представления завихренности в виде

$$\omega = \sum_{j=1}^M \omega_j \delta(x - x_j, y - y_j), \quad (2)$$

где  $M$  – количество дискретных вихрей,  $\omega_j$  – их интенсивности. Тогда

$$\Psi(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^M \omega_i P(x_i, y_i, x_0, y_0). \quad (3)$$

Формально для комбинированного представления дискретных вихрей и дискретных диполей представление (2) должно быть заменено следующим представлением:

$$\omega = \sum_{j=1}^M \omega_j \delta(x - x_j, y - y_j) + \sum_{k=1}^K d_k \frac{\partial \delta(x - x_k, y - y_k)}{\partial a_k}, \quad (4)$$



где  $a_k$  – ось соответствующего диполя,  $d_k$  – его интенсивность. Однако представление (4) лишено физического смысла, поэтому, следуя работам [7, 17], примем в качестве исходного следующее представление для функции тока

$$\Psi(x_0, y_0) = \sum_{i=1}^M \omega_i P(x_i, y_i, x_0, y_0) + \sum_{k=1}^K d_k \frac{\partial P(x_k, y_k, x_0, y_0)}{\partial a_k}, \quad (5)$$

опустив для краткости его вывод, который полностью соответствует приведенному в работах [7, 17]. Тогда поля скоростей

$$u = \frac{\partial \Psi}{\partial y_0} = \sum_{i=1}^M \omega_i \frac{\partial P(x_i, y_i, x_0, y_0)}{\partial y_0} + \sum_{k=1}^K d_k \frac{\partial^2 P(x_i, y_i, x_0, y_0)}{\partial y_0 \partial a_k}, \quad (6a)$$

$$v = -\frac{\partial \Psi}{\partial x_0} = -\sum_{i=1}^M \omega_i \frac{\partial P}{\partial x_0}(x_i, y_i, x_0, y_0) - \sum_{k=1}^K d_k \frac{\partial^2 P(x_i, y_i, x_0, y_0)}{\partial x_0 \partial a_k}. \quad (6b)$$

Как обычно, предполагаем, что вихри и диполи не влияют на величину скорости в точках, где они расположены. На вопросах регуляризации поля скоростей останавливаться не будем, поскольку они подробно изложены в работах [2, 3, 17].

Движение дискретных вихрей и диполей описывается системой

$$\dot{x}_i = u(x_i, y_i), \quad \dot{y}_i = v(x_i, y_i), \quad i = \overline{1, M+K} \quad (7)$$

Подставляя в (7) представления для скоростей (6), получим систему из  $M+K$  обыкновенных дифференциальных уравнений, которую дополним следующими начальными условиями:

$$x_i(\tau = 0) = x_{i0}, \quad y_i(\tau = 0) = y_{i0}. \quad (8)$$

**Метод решения.** Задача Коши (7), (8) может быть решена любым из существующих методов численного решения систем обыкновенных дифференциальных уравнений. Приведенные ниже расчеты проведены при помощи метода Эйлера, то есть, использовалась следующая схема:

$$x_i(\tau + \Delta\tau) = x_i(\tau) + \Delta\tau u(x_i, y_i), \quad y_i(\tau + \Delta\tau) = y_i(\tau) + \Delta\tau v(x_i, y_i). \quad (9)$$

**Результаты расчетов.** На основании приведенных выше формулировок задач (6) – (8) и численного алгоритма (9) были проведены несколько серий расчетов эволюции вихревых структур, аппроксимированных дискретными вихревыми и дипольно-вихревыми системами. Контроль устойчивости вихревых структур производился визуально на основании анализа траекторий дискретных особенностей. Каждый расчет проверялся контрольным расчетом с половинным шагом по времени, для ряда расчетов были проведены контрольные с более подробной аппроксимацией.

На качественном уровне можно выделить три состояния вихревых структур: устойчивая структура, неустойчивая структура и структура, устойчивая «как облако», то есть сохраняющая свою форму, но изменяющая размеры (термин заимствован в зарубежной литературе [5] и, возможно, является не совсем удачным).

Все рассмотренные в расчетах вихревые и дипольно-вихревые структуры имели первоначальную центральную симметрию, что обеспечивало их устойчивость для начальных моментов времени.

**Выводы.** По результатам проведенных расчетов можно сделать следующие выводы

1. Потеря устойчивости симметричной структуры происходит по следующей схеме: устойчивая структура; структура, устойчивая «как облако»; неустойчивые структуры. Причем в течение достаточно долгого времени неустойчивость проявляется в том, что отдельные вихри покидают структуру, остальная же часть структуры сохраняет устойчивость «как облако».

2. Более интенсивные (с большей плотностью завихренности) структуры разрушаются быстрее.

3. Мощный центральный вихрь ухудшает устойчивость структуры, но структура с концентрированным центральным вихрем более устойчива, чем структура с распределенной эквивалентной завихренностью.

4. Даже относительно слабый центральный диполь резко ухудшает устойчивость вихревой структуры.

5. Дипольно-вихревые структуры теряют устойчивость намного быстрее аналогичных вихревых, даже при слабых диполях. Следует отметить, что влияние диполей является важным и часто определяющим механизмом потери устойчивости.

6. Из всех исследованных структур наиболее устойчивой оказалось вихревое кольцо, это дает основание считать, что вихревое кольцо является наиболее устойчивой вихревой структурой вообще.

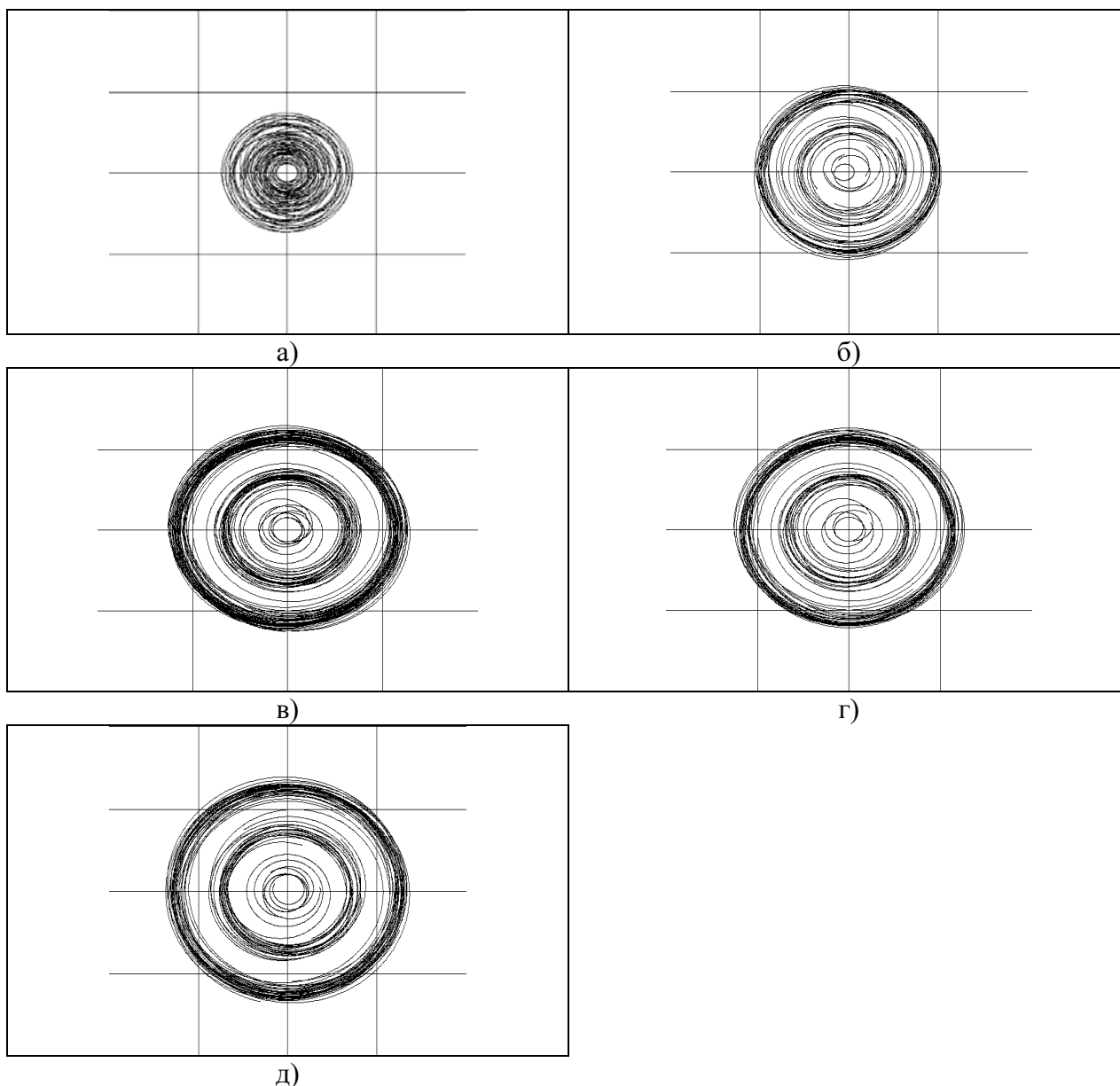
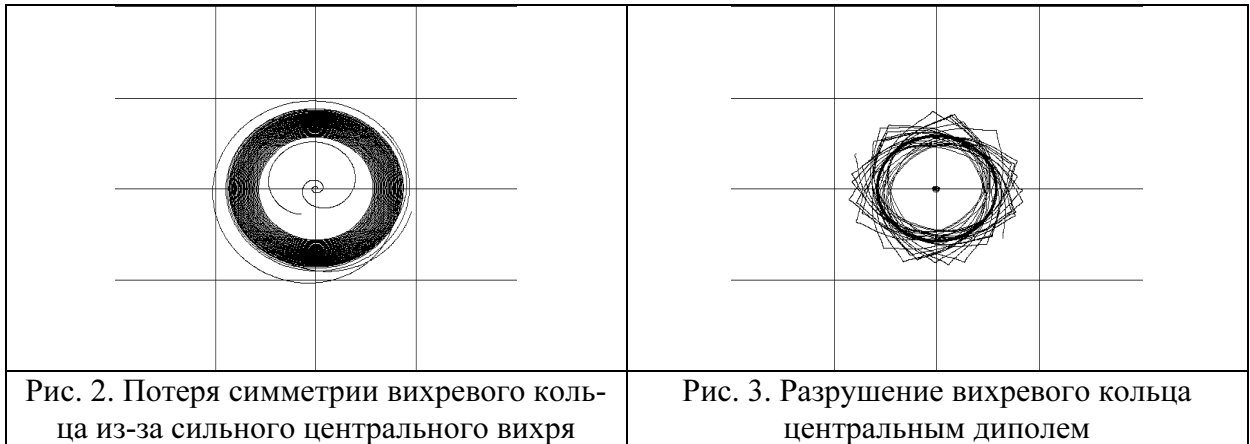


Рис. 1. Эволюция круговой вихревой структуры, устойчивой «как облако». На рисунках г) и д) отчетливо видно, что завихренность образует вихревые кольца, которые являются более устойчивыми вихревыми структурами



Полученные в настоящей статье результаты имеют существенное методологическое значения для гидродинамики вихревых течений, поскольку здесь рассмотрена фундаментальная задача эволюции и устойчивости вихревых структур. Результаты работы могут быть использованы для разработки эффективных методик расчета вихревых течений, например, выявления когерентных структур в турбулентных течениях.

Разумеется, проблема устойчивости вихревых структур не исчерпывается настоящей работой. Остаются нерешенными многочисленные вопросы, связанные с взаимодействием вихревых структур между собой, образованием в результате взаимодействия новых устойчивых вихревых структур, взаимодействием вихревых структур с другими объектами в потоке и т.д. Остались недостаточно исследованными ряд задач, связанных с внутренними проблемами эволюции вихревых и дипольно-вихревых структур, например, проблема эквивалентности эффектов схемной вязкости эффектам вязкой диссипации, проблема эволюции диполей. Однако развитый в настоящей работе подход позволяет надеяться на эффективное разрешение указанных задач в будущих исследованиях.

The article is devoted to research of stability of vortical structures by the numeral experiment

1. Вилля Г. Теория вихрей. – Л.; М.: ОНТИ, 1936. – 268 с.
2. Белоцерковский С.М., Гиневский А.С. Моделирование турбулентных струй и следов на основе метода дискретных вихрей. – М.: Издательская фирма «Физико-математическая литература», 1995. – 368 с.
3. Белоцерковский С.М., Котовский В.Н., Ништ М.И., Федоров П.М. Математическое моделирование плоскопараллельного отрывного обтекания тел. – М.: Наука, 1988. – 309 с.
4. Салтанов Н.В., Горбань В.А. Вихревые структуры в жидкости: аналитические и численные решения. – К.: Наукова думка, 1993. – 244 с.
5. Chorin, A.J. Vorticity and Turbulence. – Springer-Verlag, Berlin, New York, 1994.
6. Евдокимов Д.В., Найденова М.А., Поляков Н.В. К вопросу о моделировании диффузии завихренности в граничноинтегральных методах вычислительной гидродинамики // Труды института прикладной математики и механики НАН Украины – Донецк, 2001. - Т. 6. - С. 39-43.
7. Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Поляков Н.В. Применение комбинированного метода граничных элементов и дискретных вихрей для решения некоторых задач гидродинамического взаимодействия в плоских потоках // Вестник Харьковского национального университета. Сер. «Математическое моделирование. Информационные технологии. Автоматизированные системы управления». – 2003. - Вып. 1, № 590. – С. 55-60.

8. Веретенцев А.Н., Гешев П.И., Рудяк В.Я. О развитии метода вихревых частиц применительно к описанию отрывных течений // Журн. вычисл. математики и мат.физики.. – 1989.. – Т. 29, № 6. – С. 878-887.
9. Веретенцев А.Н., Рудяк В.Я. О процессах образования и эволюции вихревых структур в сдвиговых слоях // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. – 1987. – №1. – С.31-37.
10. Веретенцев А.Н., Рудяк В.Я., Яненко Н.Н. Построение дискретных вихревых моделей течений идеальной несжимаемой жидкости // Журн. вычисл. математики и мат. физики. – 1986. – Т. 26, № 1. – С. 103-113.
11. Белоцерковский С.М., Лифанов И.К. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях. – М.: Наука, 1985. – 253 с.
12. Белоцерковский С.М., Ништ М.И. Отрывное и безотрывное обтекание тонких крыльев идеальной жидкостью. – М.:Наука, 1978.–351 с.
13. Сарпкаяя Т. Вычислительные методы вихрей // Тр. Американского об-ва инженеров механиков. Сер. А. – 1989. – № 10. – С. 1-60.
14. Сарпкаяя Т., Шоафф Р.Л. Невязкая модель образования двухмерных вихрей за круговым цилиндром // Ракет. техника и космонавтика. – 1979. – Т. 17, № 11. – С. 51–60.
15. Chorin A.J., Bernard P.S. Discretization of Vortex Sheet with an Example of Roll-up // J. Computational. Physic. – 1973. – V. 13. – P. 423-429.
16. Aref H. Integrable, chaotic and turbulent vortex motion in two-dimensional flows // Ann. rev. fluid mech. – 1983. – V. 15. – P. 345-389.
17. Yevdokymov D. V. Boundary element and discrete vortices method for ideal fluid flow calculations. // D. Durban and A. R. J. Pearson (Eds.) Non-linear singularities in deformation and flow. Proceeding of IUTAM Symposium held in Haifa, Israel, 17-21 March, 1997. Kluwer Academic Publisher. – P. 217-230.

## ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЛЕКСНОЙ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫМИ СЕТЯМИ НА ПРИМЕРЕ СПРВ

Волков Д.А., Донец Л.Ю., Мирошниченко А.С.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** На современном уровне развития производства, когда все большую опасность представляет выход из строя крупных промышленных объектов, который приводит к значительным потерям и разрушениям, на первый план выходят проблемы контроля и управления сложными системами. Наиболее серьезным по последствиям фактором таких аварий зачастую является их неожиданность. Необходимость принятия решений в сжатые сроки, когда трудно одновременно проанализировать все имеющиеся данные, может привести к непродуманным действиям, которые повлекут за собой тяжелые последствия.

Если заблаговременно предусмотреть, проанализировать возможные "узкие" места в функционировании таких объектов, наметить меры оперативного реагирования на возникшую аварийную ситуацию, разработать методы эффективного ее устранения, то ущерб от такой аварии может быть сведен к минимуму.

Системы подачи и распределения воды (СПРВ) являются достаточно ярким примером промышленного объекта, выход из строя которого может негативно отразиться на функционировании целого ряда хозяйственных объектов и жизнедеятельности населения. Разработка методов оперативного реагирования на аварийные ситуации, исследование их особенностей становится особенно актуальным с ростом городов, увеличением размеров сетей, а также в связи с необходимостью повышения экономичности, надежности их функционирования. Одной из актуальных на сегодня является проблема определения наиболее опасных участков сети с точки зрения ущерба, который может быть нанесен аварией на данных участках, с целью разработки мероприятий по профилактике и предотвращению аварийных ситуаций на самых опасных участках водораспределительной сети.

**Анализ достижений и публикаций по теме исследования данной проблемы. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья.** С развитием современных информационных технологий появилась возможность создавать комплексы, способные помогать задачам управления такими крупными системами, как инженерные сети. Такие комплексы выполняют функции проектирования, инвентаризации, моделирования, а также информационной поддержки экспертных оценок и принятия решений. Разработчиками и исследователями предлагается большое число различных решений. В настоящее время сложился определенный круг базовых систем, используемых для инженерных сетей. Исторически первыми здесь были системы автоматизированного проектирования (САПР), при помощи которых разрабатывались проекты отдельных элементов сетей, и базы данных, призванные обслуживать инвентаризационные запросы, работу с потребителями и другие задачи. Однако оторванность таких систем от оперативной инженерной информации делала их ограниченно пригодными [1]. Сегодня наиболее распространенными и применяемыми на предприятиях водопроводно-канализационного хозяйства являются специализированные системы и геоинформационные системы (ГИС).

Для решения задач, связанных с расчетом параметров функционирования, расчета режимов и поведения сети в исключительных случаях были созданы специализированные системы. Они имеют встроенные средства создания принципиальных схем и внутренние базы данных, содержащие только информацию, необходимую для расчетов. Примером

такой системы может служить система принятия решения при авариях на водораспределительной сети, предназначенная для выбора наиболее рационального варианта действий по устранению аварий на водораспределительной сети в зависимости от сложившейся ситуации [2]. Несмотря на большую значимость получаемых результатов, специализированные системы остаются зачастую оторванными от реальной информации о том, что представляет собой сеть, и решают задачи расчета на довольно грубом приближении к ней.

Следующим независимым классом систем, применяемых для инженерных сетей, являются геоинформационные системы. Эти системы отвечают потребностям пространственного моделирования инженерных сетей, их взаимной увязке с объектами окружающего мира. Однако при использовании ГИС встает ряд проблем. Инструментальные ГИС в чистом виде не могут решать специфические задачи моделирования и расчета. Для решения этих задач требуются дополнительные модели, алгоритмы и встроенные процедуры.

Все вышесказанное указывает на то, что в отдельности данные классы систем не могут комплексно решить задачу информационной поддержки инженерных сетей. Одним из вариантов решения данной проблемы может быть интеграция ГИС и специализированных систем и, как следствие, создание комплексной специализированной информационной системы управления инженерными сетями.

**Формулирование целей статьи.** Цель статьи состоит в выборе оптимальной архитектуры комплексной специализированной информационной системы управления инженерными сетями (в штатных и аварийных режимах работы) основанной на интерфейсе ГИС и обладающей всеми преимуществами специализированных информационных систем.

**Изложение основного материала с полным обоснованием полученных научных результатов.**

В качестве общей структуры ИС управления инженерными сетями предлагается структура, состоящая из трех разделов, каждый из которых представляет собой электронную векторную карту и служит для решения различных задач.

Первый раздел – *трассы трубопроводов на плане местности* – содержит несколько групп слоев данных:

1) *Топографический план местности.* Данная группа слоев содержит полигональные слои рельефа местности, объектов гидрографии, кварталов, зданий, улиц и линейные слои осей улиц, транспортных сетей и других коммунальных сетей (электроснабжение, теплоснабжение, газоснабжение и т.п.).

2) *Объекты – источники предоставляемых услуг* (водозаборы, насосные станции и др.). Данная группа слоев содержит полигональные слои данных объектов и слои, содержащие привязки данных объектов к объектам местности.

3) *Объекты, образующие трубопроводную сеть*, образованные участками трубопровода, колодцами и запорной арматурой. Данная группа слоев представлена линейными слоями водоводов, точечными слоями колодцев и запорной арматуры и слоями, содержащими привязки объектов к объектам местности.

4) *Объекты, обеспечивающие подключение потребителей к трубопроводной сети.* К ним относятся вводы в здания и узлы управления вводами водопроводной сети. Эта группа слоев также представлена контурами объектов и необходимыми привязками.

На данную электронную карту объекты трубопроводной сети наносятся с максимальной точностью, допускаемой масштабом, чтобы избежать ошибок при привязке объектов сети к объектам местности.

Второй раздел – *оперативные схемы трубопроводов на плане местности* – содержит аналогичные группы слоев (топографический план местности, объекты – источники предоставляемых услуг, объекты, образующие трубопроводную сеть и объекты подключения потребителей к трубопроводной сети). Данная карта имеет следующий ряд существенных отличий от карты трасс трубопроводов.

1. Объекты трубопроводной сети представляются схематично, что более удобно для диспетчерских служб, например, участки трубопроводов изображаются линиями, параллельными вертикальным и горизонтальным направлениям по отношению к ориентации карты на экране компьютера.

2. Кроме осевых линий участков трубопровода имеются отрезки труб, причем точно в том же количестве и расположенные в той же последовательности, что и реальные отрезки труб на местности.

3. Основным отличием второго раздела от первого является отсутствие слоев привязок объектов сети к местности и наличие слоев принципиальных схем объектов, образующих трубопроводную систему, к которым относятся источники предоставляемых услуг, колодцы, запорная арматура, а также устройства подключения потребителей. Принципиальные схемы объектов формируются в виде масштабируемых условных знаков оборудования, располагаемых так же, как на бумажных чертежах принципиальных схем объектов. В отличие от бумажных носителей, элементы принципиальных схем оборудования могут отображаться не в одном, а в нескольких состояниях, соответствующих текущему состоянию оборудования (например, задвижки могут быть открыты или закрыты и т.п.).

Третий раздел ИС – *оперативная схема без привязки к местности* – предназначен для гидравлического расчета трубопроводной сети, эксплуатируемой предприятием. Он содержит только трубопроводы, контуры объектов сети и принципиальные схемы, расположенные на карте так, чтобы предоставить максимальную обзорность и наглядность всей системы трубопроводных сетей.

ИС управления сетями, кроме электронных карт, имеет реляционную базу данных (БД), хранящуюся на SQL-сервере, в которой содержатся атрибуты большинства объектов, нанесенных на карты ИС, и атрибутивные описания основных элементов технологического процесса предприятия. Структура атрибутивных описаний объектов и оборудования трубопроводной системы является объектно-ориентированной моделью инженерной сети. Каждый объект относится к некоторому классу, который наследуется от некоторого более абстрактного класса объектов. Каждому классу соответствует отдельная таблица в БД, записи в которой характеризуют отдельные объекты данного класса.

ИС управления сетями обладает широкими возможностями получения аналитической информации с помощью запросов. Все информационные запросы в ИС могут быть разделены на два класса.

Первый класс – запросы по определению подсетей, подключенных в данное время к источникам воды, на основе состояний коммутирующих элементов всей сети коммуникаций. Варианты такой постановки задачи – запрос по определению подсетей, отключенных в данное время от источника, или запрос на вычисление некоторого общего параметра такой сети (например, суммарное потребление).

Второй класс – запросы выбора из ИС информации по объектам, имеющим определенную характеристику (например, способ прокладки), или выбор объектов, на которых произошло заданное событие, выполнена указанная работа или обнаружена неисправность указанного вида.

Запросы обоих классов должны предоставлять результат пользователю как выделением объектов на карте, так и формированием форматированного списка объектов с заданным набором атрибутов. Этим обусловлены следующие отличия подсистемы запросов ИС от традиционных способов реализации запросов к БД.

Внутренний механизм выполнения запросов первого класса основан на формировании графовой модели трубопроводной сети и выделении связных областей на ней. Далее на графе сети находится та связанная область, которая удовлетворяет заданным параметрам. Затем от выделенной связной области выполняется переход к исходным элементам графовой модели, которые возвращаются пользователю как результат выполнения за-

проса. Более подробная информация по особенностям применения графовых моделей в ИС инженерных сетей приведена в [3].

Выполнение запросов второго класса активно использует возможности базовой SQL-ориентированной СУБД, в которой хранятся атрибутивные данные. Возможность выполнения запросов на языке SQL позволяет программно сформировать по заданным пользователем критериям предложение на SQL, возвращающее результат в виде набора идентификаторов объектов. Далее по этому набору формируется результирующая выборка объектов и выделяется на карте, либо формируется отчет.

**Таким образом, с помощью специализированной информационной системы управления инженерными сетями могут быть решены следующие задачи:**

1. Формирование кадастра трубопроводов и объектов инженерной сети, эксплуатируемой предприятием. Решение этой важной задачи становится возможным только при переходе от хранения информации на традиционных бумажных носителях в графический формат геоинформационной системы. Кроме того, при наличии согласованных (выполненных в одной системе координат с заданной точностью) кадастров всех городских коммуникаций (сетей электропередачи, тепло-, водо- и газопроводов, сетей водоотведения) упрощается межведомственная работа по согласованию ремонтных работ. Она сводится только к распечатке плана участка и согласованию необходимых отключений.

2. Основное применение данных, нанесенных на кадастровый раздел и оперативную схему плана местности – инвентаризация установленных труб и оборудования. Это позволяет оценить степень износа системы трубопроводов с использованием встроенных в систему запросов и спрогнозировать наиболее вероятные места и время аварий. На основе данного прогноза можно провести упреждающие ремонты, что снизит суммарные расходы предприятия на ликвидацию последствий аварий на трубопроводах.

3. На основе анализа частоты ремонтных работ на различных типах оборудования с помощью встроенных в систему отчетов производится выявление наименее качественных сортов труб и марок оборудования, что является важной информацией для службы снабжения.

4. Наличие оперативных схем с возможностью оперативного изменения состояния коммутирующих элементов (задвижек, затворов и др.) и встроенных в ИС запросов по определению абонентов, подключенных (отключенных) к системе трубопровода в зависимости от ее текущего состояния, позволяет диспетчерской службе оперативно реагировать на возможные аварийные ситуации и принимать правильные решения по управлению трубопроводной сетью.

5. Наличие оперативных схем с привязкой к местности и без нее позволяет программно, с помощью встроенных в ИС средств расчета режимов, выполнять гидравлический и тепловой расчет всей трубопроводной сети или ее отдельных участков, автоматизировать работу службы режимов и принимать обоснованные решения по проектированию или ремонту источников водоснабжения (водозаборов, насосных станций и др.).

**Выводы по данному исследованию и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.**

Проведенный обзор позволяет сделать следующие выводы. В настоящее время существует два подхода к созданию информационных систем управления инженерными сетями – это использование неспециализированных базовых программных комплексов – ГИС и САПР – для построения на их основе систем информационного моделирования инженерных сетей и разработка и последующее применение узкоспециализированных систем для расчета и моделирования параметров функционирования сети.

В то же время современные настольные системы ГИС имеют все необходимые средства для интеграции в информационные комплексы. Все это позволяет сделать вывод о целесообразности и эффективности построения систем информационного моделирования с использованием универсальной ГИС, имеющей средства интеграции и предназна-



ченной для выполнения таких подзадач, как отображение данных и пространственный анализ.

Дальнейшие исследования в данном направлении заключаются в разработке интерфейса взаимодействия ГИС и специализированных систем, который будет обеспечивать эффективный обмен данными и их анализ, как средствами ГИС, так и средствами специализированной системы.

Possibility and expedience of creation of the complex special-purpose informational system of the engineering networks management based on GIS interface and possessing all advantages of the special-purpose informational systems is examined in the article. In the article the structure of such system is offered and the list of tasks which can be decided is resulted.

1. <http://www.gisa.ru/publicat.html> // Сарычев Д.С. Современные информационные системы для инженерных сетей. – Томск, 2003.
2. Холодная Т.А. Разработка методов анализа аварийных ситуаций в инженерных сетях: Дис. ... канд. техн. наук: 05.13.03. – Харьков, 1997. – 162 с.
3. Вайсфельд В.А., Ексаев А.Р. Принципиальные основы применения ГИС-технологий для городских инженерных коммуникаций // Инженерные коммуникации и геоинформационные системы: материалы первого учебно-практического семинара, «ГИС-Ассоциация», 14-17 октября 1997 г. – М., 1997. - С. 3-9.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ЦИФРОВИХ СКАНЕРНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ

Гнатушенко В.В.

**Постановка проблеми.** Як відомо, у загальному вигляді в залежності від геометрії побудови знімка можна виділити три види зйомки: кадрова, щілинна, скануюча. При кадровій зйомці усі точки кадру фіксуються в один момент часу (при спрацюванні затвора). Такий знімок має єдиний центр проєкціонування та строгу геометрію побудови зображення. При щілинній фотозйомці зображення точок місцевості проєктуються об'єктивом фотокамери на фотоплівку через вузьку щілину, що забезпечує печатку одного рядка кадру. Розгорнення зображення здійснюється за рахунок руху або плівки щодо щілини з одночасним переміщенням фотокамери відносно об'єкта зйомки, або щілини уздовж плівки. У скануючих камерах побудова зображення як по рядку так і по кадру відбувається по піксельно, тобто кожна точка фіксується в окремий момент часу та має свій центр проєкціонування. Очевидні переваги цифрової зйомки обумовили проведення в даний час активних робіт зі створення цифрових сканерних камер з фотоприймачами на базі матричних і лінійних приладів зарядового зв'язку (ПЗЗ). Особливості сканерних знімків, що відрізняють їх від фотографій або кадрових зображень, обумовлені як геометрією пучка променів, що реєструються нерухомим сенсором, так і рухом сенсора в процесі формування знімка по рядкам. Сканерне зображення суттєво відрізняється від центральної проєкції тим, що воно миттєво отримується в межах смуги (рис.1), перпендикулярної до напрямку польоту [1]. Космічний апарат (КА) переміщається в польоті — фіксується наступна смуга (рис.2). Зображення якби “склеєне” з окремих смуг, кожна з яких має свій миттєвий центр проєкціонування, і внаслідок нестабільностей сенсорів суцільне зображення є спотвореним.

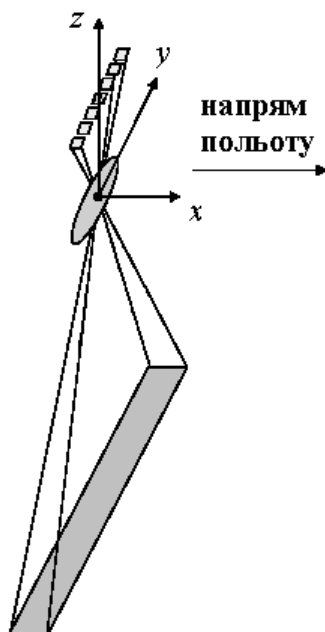


Рис. 1. Одержання знімка окремої смуги ПЗЗ-лінійкою

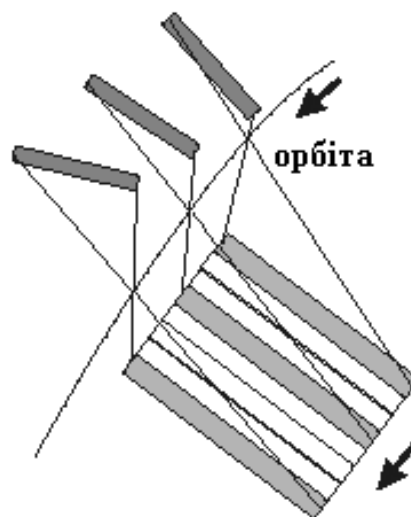


Рис. 2. Одержання знімка сцени в результаті руху КА

Існуючі моделі і методи попередньої обробки кадрових зображень не дозволяють ефективно компенсувати такі перекручування з урахуванням динаміки їхнього формування внаслідок відсутності адекватної фізичної моделі формування сканерних зобра-

жень. Це приводить до зниження рівня вірогідності дешифрування об'єктів на цифровому знімку. Зазначені особливості вимагають застосування специфічних алгоритмів для фотографічної обробки сканерних знімків.

**Аналіз останніх досліджень.** Існує два основних підходи до побудови таких алгоритмів: перший пов'язаний з геометричним моделюванням процесу зйомки (внутрішньої геометрії сенсора, орбіти й орієнтації носія) [2], другий — з використанням параметризованих алгебраїчних співвідношень [3, 4]. Алгоритми першої групи звичайно забезпечують кращу точність, хоча існують приклади досить точних методів другої групи, у яких використовуються досить складні співвідношення (наближені значення вхідних параметрів поставляються разом зі знімком). Вибір підходу до обробки визначається складом даних, що супроводжують знімок. У будь-якому випадку для уточнення параметрів знімка використовуються опорні точки (GCP), тобто точки з відомими геодезичними координатами, розпізнані на знімку [5].

Строге моделювання лінійних матричних сканерів вимагає знання параметрів внутрішньої орієнтації (ІОР) і параметрів зовнішньої орієнтації (ЕОР) сканера для кожного зображення в сцені. Компенсувати недостачу такої інформації покликані альтернативні моделі [3, 6], серед яких слід виділити паралельно-проекційну модель, що має певні переваги для наступної обробки сканерних зображень.

**Формулювання цілей статті (постановка завдання).** Ці обставини ставлять задачу розробки та дослідження властивостей паралельно-проекційної моделі формування цифрових сканерних зображень з урахуванням специфіки їхнього формоутворення.

**Основна частина.** Спочатку дамо визначення використовуваним термінам “сцена” і “зображення”. Під *зображенням* будемо розуміти зареєстровані сенсорні дані, пов'язані з одним станом експозиції. Як було зазначено вище, у випадку кадрового зображення існує тільки один такий стан, і, отже, результат - одне повне зображення. У випадку лінійного ПЗЗ-сканера є багато 1-D зображень, кожне з яких пов'язане з різними моментами експозиції. Під *сценою* будемо розуміти зареєстровані сенсорні дані, пов'язані з одним (як у кадрових зображеннях) чи більшою кількістю станів експозиції (як у лінійних ПЗЗ-сканерів), що відображають майже безупинний простір об'єкта в окремому дискретному переміщенні датчика. Тому, для випадку кадрових зображень, зображення і сцена - ідентичні поняття, у той час як, для лінійних ПЗЗ-сканерів, сцена - множина послідовних 1-D зображень. Отже, важливо розрізнити координати сцени і координати зображення.

Далі наведемо ті міркування, якими був обумовлений наш вибір паралельно-проекційної моделі. По-перше, це той факт, що переважна більшість космічних сканерів мають вузьку смугу огляду (наприклад, для супутника IKONOS — 0.92°). Зрозуміло, що в такому разі, промені проєціювання в межах сцени можна вважати паралельними. По-друге, космічні сцени фіксуються у стислий час (для IKONOS — менше 1 сек.). Тому можна припустити, що під час експозиції усієї сцени сканер має незмінні елементи зовнішнього орієнтування і, як результат, що площини окремих зображень (смуг) та їх центри проєціювання паралельні. І нарешті, через дуже стислий час фіксації можна вважати, що сканер рухається з постійною швидкістю, в результаті чого однакові відстані у предметній площині відображуються в рівнозначні відстані у картинній площині.

Зв'язок між просторовими характеристиками реального об'єкта (X, Y, Z) і координатами об'єкта на знімку (x, y) для нелінійної форми паралельно-проекційної моделі має наступний вигляд:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 0 \end{bmatrix} = \lambda s A^T \begin{bmatrix} L \\ M \\ N \end{bmatrix} + s A^T \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (1)$$

де  $\mathbf{A}$  — матриця переходу від системи координат об'єкта до картинної системи координат;  $\lambda$  — відстань між відповідними точками об'єкта і зображення;  $\mathbf{N}$  —  $Z$ -компонента одиничного проєкційного вектора, тобто  $\mathbf{N} = \sqrt{1 - L^2 - M^2}$ .

Лінійна форма даної моделі набуває наступного афінного вигляду [2, 3]:

$$\begin{aligned} x &= A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4, \\ y &= A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8. \end{aligned} \quad (2)$$

Слід зазначити, що дана форма використовується, коли “доступні” GCP. З іншого боку, при наявності навігаційних даних сканера (елементів зовнішнього орієнтування) краще користатися співвідношенням (1).

Перехід від форми (1) до лінійної форми (2) здійснюється з проміжним обчисленням параметрів  $(U, V)$  та наступним знаходженням афінних параметрів [7]:

$$\begin{aligned} U &= \frac{a_{11}L + a_{21}M + a_{31}N}{a_{13}L + a_{23}M + a_{33}N}, \\ V &= \frac{a_{12}L + a_{22}M + a_{32}N}{a_{13}L + a_{23}M + a_{33}N}. \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} A_1 &= s(a_{11} - a_{13}U); & A_2 &= s(a_{21} - a_{23}U); & A_3 &= s(a_{31} - a_{33}U); & A_4 &= \Delta x; \\ A_5 &= s(a_{12} - a_{13}V); & A_6 &= s(a_{22} - a_{23}V); & A_7 &= s(a_{32} - a_{33}V); & A_8 &= \Delta y, \end{aligned}$$

де  $a_{11} \dots a_{33}$  — елементи поворотної матриці  $\mathbf{A}$ .

Зворотній перехід та отримання паралельно-проєкційних параметрів сцени можуть бути здійснені наступним чином. Спочатку знаходимо компоненти проєкційного вектора:

$$\begin{aligned} L' &= \frac{A_3}{\sqrt{(A_2^2 + A_3^2)P^2 + 2A_1A_2P + A_1^2 + A_3^2}}; & M' &= PL'; & N' &= \frac{-L'A_1 - M'A_2}{A_3}; \\ L &= L' \frac{N'}{|N'|}; & M &= M' \frac{N'}{|N'|}; & N &= |N'|, \end{aligned} \quad (4)$$

де  $P = \frac{A_1A_7 - A_3A_5}{A_3A_6 - A_2A_7}$ . Далі знаходимо коефіцієнт масштабування:

$$s = \sqrt{K_1 / (1 + W^2)}, \quad (5)$$

де  $K_1 = A_1^2 + A_2^2 + A_3^2$ ;  $K_2 = A_5^2 + A_6^2 + A_7^2$ ;  $K_3 = A_1A_5 + A_2A_6 + A_3A_7$ ;  $T = K_3^2 - K_1K_2$ ;

$$B = 2K_3^2 + K_1^2 - K_1K_2; \quad C = K_3^2; \quad W = \sqrt{\frac{-B - \sqrt{B^2 - 4TC}}{2T}} \frac{L}{|L|}; \quad Q = \frac{K_3(1 + W^2)}{K_1W}.$$

Нарешті, знаходимо кути орієнтування сцени:

$$\begin{aligned} \varphi &= \arcsin \left( \frac{\frac{L}{|L|} \sqrt{E^2 - 4DF} - E}{2D} \right); & k &= \arctan \left( \frac{\frac{A_5}{s} - Q \sin \varphi}{\frac{A_1}{s} + W \sin \varphi} \right); \\ \omega &= \arcsin \left( \frac{A_2 \sin \varphi \cos k + A_2 W \cos \varphi + A_3 \sin k}{s(\sin^2 k + (\sin \varphi \cos k + W \cos \varphi)^2)} \right), \end{aligned} \quad (6)$$

$$\text{де } E = \frac{2}{S}(WA_1 + QA_5); D = 1 + W^2 + Q^2; F = \frac{1}{S^2}(A_1^2 + A_5^2) - 1.$$

Знаючи кут крена  $\psi$ , здійснюємо перехід від перспективної до паралельно-проекційної моделі [7]:

$$\begin{aligned} x &= A_1X + A_2Y + A_3Z + A_4, \\ y &= \frac{A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8}{1 + \frac{\tan(\psi)}{c}(A_5X + A_6Y + A_7Z + A_8)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Дана форма використовується для безпосередньої оцінки 2-D афінних параметрів і кута крена сканера. Далі розглянемо альтернативний підхід, що дозволяє одержати паралельно-проекційні параметри сцени, коли доступні елементи зовнішнього орієнтування сканера.

Як було доведено вище, можна припустити, що під час фіксації сцени космічні сканери рухаються з постійною швидкістю  $V_T(\Delta X, \Delta Y, \Delta Z)$  та збереженням параметрів орієнтування  $(\omega_T, \varphi_T, \kappa_T)$ . Тоді відповідний проекційний вектор моделі визначається як:

$$[L \quad M \quad N] = [a_{T13} \quad a_{T23} \quad a_{T33}], \quad (8)$$

де  $a_{T11} \dots a_{T33}$  — елементи поворотної сканерної матриці.

Матриця переходу  $A$ , яка фігурує у співвідношенні (1), у загальному випадку не співпадає зі сканерною матрицею та може бути знайдена наступним чином:

$$A = [x \quad y \quad z], \quad (9)$$

де  $x, y, z$  — одиничні вектори по координатним осям сцени:

$$x = y \times z; \quad y^T = [a_{T12} \quad a_{T22} \quad a_{T32}]; \quad z = \frac{V_T \times y}{|V_T \times y|}.$$

Коефіцієнт масштабування сцени дорівнює:

$$s = c \frac{a_{T33}}{Z_{0T} - Z_{cp}}, \quad (10)$$

де  $Z_{cp}$  — середнє значення висот місцевості сцени.

Нарешті зсув двох сцен визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} \Delta x &= s(a_{13}U - a_{11})X_{0T} + s(a_{23}U - a_{21})Y_{0T} + s(a_{33}U - a_{31})Z_{0T}, \\ \Delta y &= s(a_{13}V - a_{12})X_{0T} + s(a_{23}V - a_{22})Y_{0T} + s(a_{33}V - a_{32})Z_{0T}, \end{aligned} \quad (11)$$

де  $U, V$  можуть бути знайдені за допомогою співвідношення (3).

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Розроблене спеціалізоване програмне забезпечення, яке реалізує запропоновану паралельно-проекційну модель формування сканерних зображень, дозволяє на наступних етапах автоматично коректувати спотворення, викликані кутовими коливаннями по крену, тангажу і рисканню, що істотно спрощує процедури автоматичної інтерпретації одержуваних зображень та ідентифікації окремих об'єктів на них. Приклади тестування на реальних даних, одержаних зі супутни-

ків Spot-5 і Ikonos, підтверджують адекватність та ефективність розробленої моделі і дозволяють оцінити геометричну точність результатів корекції, яка підвищується при застосуванні допоміжного перспективно-паралельного перетворення (7).

Наші подальші дослідження будуть присвячені питанням залежності точності відновлення елементів орієнтування сцени від кількості опорних точок та наступній автоматичній триангуляції цифрових знімків.

The work is devoted to development and research of properties and capabilities of parallel-projection model of formation digital scanner remote sensing images of in view of their specificity formation.

1. Корчинський В.М. Реконструкція просторових розподілів яскравості багатоспектральних растрових зображень на основі інформаційних критеріїв // Праці VII Всеукраїнської міжн. конференції з оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів “УкрОбраз-2004”. - Київ: Інститут кібернетики НАН України, 2004. – С. 53-56.

2. Zhang J., Zhang X. Strict geometric model based on affine transformation for remote sensing image with high resolution // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 34 (B3), - 2003. - P 309-312.

3. Гнатушенко В.В. Альтернативні геометричні моделі одержання супутникових зображень високого розрізнення // Геометричне та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004. – Вип. 8. – С. 48-53.

4. Гнатушенко В.В. Геометричні методи формування зображень високого розрізнення зі супутника IKONOS // Праці Таврійської державної агротехнічної академії. – Мелітополь: ТДАТА, 2004. – Вип. 4, Т.27. – С. 35-39.

5. Гнатушенко В.В., Реута О.В. Геометрія пошуку опорних точок при обробці зображень // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К.: КНУБА, 2003. – Вип. 73. – С. 184-189.

6. Wang Y. Automated triangulation of linear scanner imagery // Joint workshop of ISPRS WG I/1, I/3, IV/4 on sensors and mapping from space. – Hanover, 1999.

7. Morgan M., Kim K., Jeong S., Habib A. Parallel projection modelling for linear array scanner scenes // XXth Congress of ISPRS, 12-23 July, 2004.

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА Е-СЕТЕЙ ДЛЯ АНАЛИЗА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ

Дуравкин Е.В., Амер Таксин Каламех Абу Джаккар

**Постановка задачи и актуальность.** Анализ распределенных программных систем, как правило, сводится к выявлению состояний взаимоблокировок и тупиков [1]. Одним из средств, позволяющих проводить такой анализ, являются Е-сети. К основным достоинствам данного аппарата можно отнести возможность описания параллельных взаимодействующих асинхронных процессов; возможность различной трактовки своих элементов по уровню абстракции (детализации), что позволяет строить иерархические модели, в которых переход может транслироваться в подсеть более низкого уровня детализации. Применение данного аппарата так же позволит оценить временные характеристики анализируемой системы (время реакции, пропускная способность). Одной из особенностей данного аппарата является способность анализа систем не только посредством имитационного моделирования (количественный анализ), но и аналитическими средствами (качественный анализ). Использование средств качественного анализа позволяет выявить последовательности разметок, приводящие к тупиковым и конфликтным, что и есть основным объектом исследования в данной предметной области. Имитационное моделирование, как правило, применяется для получения характеристик производительности системы.

**Обзор литературы.** В работах [2,3] рассматривались способы анализа сетей Петри методами качественного анализа. Однако Е-сети в своей топологии и логике работы имеют существенные отличия от сетей Петри (наличие переходов и мест нескольких типов, ненулевое время срабатывания переходов, взаимодействие со внешней средой и т.п.). В [4] показано, что наличие у Е-сетей свойств безопасности, непротиворечивости (детерминированность) и живости позволит говорить о корректности работы анализируемой системы.

Данная статья посвящена оценке возможности использования некоторых методов качественного анализа сетей Петри применительно к Е-сетям.

**Основная часть.** Формально Е-сеть задается как двудольный ориентированный граф, описываемый множеством:

$$E = (P, H, L, D, A, M_0),$$

где  $P$  – конечное множество мест, включающее подмножества  $B$  и  $R$  ( $B$  – конечное множество периферийных мест,  $R$  – конечное множество решающих мест);  $H$  – конечное множество переходов, включающее множества  $T, F, J, X, Y$  (различные типы переходов),  $L$  – прямая функция инцидентности,  $D$  – обратная функция инцидентности,  $A$  – конечное множество характеристик переходов, включающее  $a = (\tau(a_i), q)$ , ( $\tau(a_i)$  – время срабатывания перехода,  $q$  – процедура перехода),  $M_0$  – начальная разметка сети.

Множества  $P, H$  удовлетворяют следующим условиям:

$P \neq \emptyset, H \neq \emptyset, P \cap H = \emptyset$  (граф Е-сети должен содержать хотя бы один переход и одно место, причем вершина графа не может быть одновременно элементом множеств  $P$  и  $H$ ).

Функции прямой и обратной инцидентности  $L, D$ , задавая следующие правила:  $L : B \times H \rightarrow \{0, 1\}, D : H \times R \rightarrow \{0, 1\}$ , определяют то, что элементы одного множества дугами соединены быть не могут, а также описывают наборы входных и выходных элементов.

Одним из методов, позволяющем описывать работу сети Петри последовательностью различных состояний с помощью рекуррентных уравнений является метод уравнений состояний сети. Данный метод позволяет связать векторы разметок с матрицами инцидентности и управляющим вектором, отражающим правило возбуждения переходов. Применительно к аппарату Е-сетей данный метод необходимо дополнить возможностью учета средств взаимодействия модели с внешней средой (места-поглотители и места-генераторы), наличие управляемых переходов (переходы  $MX$  и  $MY$ ) и ненулевое время срабатывания переходов.

Для обычной сети Петри такое уравнение имеет вид

$$\mathbf{M}_k = \mathbf{M}_{k-1} + \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_k, \quad (1)$$

где  $k$  – номер такта работы,  $\mathbf{M}_k$  – разметка после  $k$  тактов работы,  $\mathbf{A}^*$  – транспонированная матрица добавления меток в места

$$\mathbf{A} = \mathbf{V} - \mathbf{O}^*, \quad (2)$$

при этом  $\mathbf{V}$  – матрица обратных инцидентностей,  $\mathbf{O}^*$  – транспонированная матрица прямых инцидентностей,  $\mathbf{U}_k$  – управляющий вектор, компоненты которого равны 1, если условия возбуждения данного перехода выполняются в  $k$ -м такте работы сети:

$$\left( \forall i \mid m(p_i) \geq L(p_i, h_j) \right) u_j = 1, \quad (3)$$

где  $m(p_i)$  – разметка места  $p_i$ ,  $L(p_i, h_j)$  – прямая функция инцидентности.

Применительно к Е-сетям рекуррентные уравнения должны позволять описывать сети, взаимодействующие со внешней средой (имеющие источник поступления и поглощения меток). В этом случае уравнение (1) необходимо дополнить вектором поступающих меток  $\mathbf{W}_k$  и поглощаемых меток  $\mathbf{S}_k$ :

$$\mathbf{M}_k = \mathbf{M}_{k-1} + \mathbf{A} \cdot \mathbf{U}_k + \mathbf{W}_k - \mathbf{S}_k. \quad (4)$$

Для получения возможности учета временных параметров срабатывания переходов в условие (3) необходимо ввести дополнительную переменную:

$$\left( \forall i \mid m(p_i) \geq L(p_i, h_j) \vee \rho(h_j) \right) u_j = 1, \quad (5)$$

где  $\rho(h_j)$  – функция срабатывания перехода инцидентного рассматриваемому месту.

Полученные рекурсивные уравнения, описывающие функционирование Е-сети, позволяют использовать методы линейной алгебры для оценки основных алгоритмических свойств. Например, можно вычислить р-инвариант  $\mathbf{X}$  сети как решение матричного уравнения

$$\mathbf{A} \cdot \mathbf{X} = \mathbf{0}. \quad (6)$$

Из уравнений состояния можно получить соотношение

$$\mathbf{X} \cdot \mathbf{M} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{M}_0, \quad (7)$$

где  $\mathbf{M}$  – любая достижимая разметка.

Отсюда вытекает смысл компонент вектора р-инварианта – это «весовые» коэффициенты меток в местах, характеризующие их распределение в сети. Доказано, что если все компоненты р-инварианта положительны, то Е-сеть ограничена. Такой р-инвариант называется р-цепью, а Е-сеть – инвариантной. Кроме того, можно определить t-инвариант  $\mathbf{Y}$  как решение матричного уравнения:

$$\mathbf{A}^* \cdot \mathbf{Y} = \mathbf{0}. \quad (8)$$

Для t-инварианта верно соотношение

$$\mathbf{M}_0 = \mathbf{M}_0 + \mathbf{A}^* \cdot \mathbf{Y}, \quad (9)$$



из которого видно, что он характеризует свойство сети неизбежно возвращаться в исходное состояние  $\mathbf{M}_0$ , то есть при  $\mathbf{Y} = \mathbf{O}$  Е-сеть устойчива. Аналогично р-цепи определяется t-цепь. Ее наличие является достаточным условием живости Е-сети при любой ненулевой начальной разметке.

Одним из результатов рассмотрения уравнений состояния Е-сеть является возможность достижимости из начальной разметки  $\mathbf{M}$ , как решения системы матричных уравнений:

$$\begin{cases} \mathbf{B} \cdot \mathbf{M} = \mathbf{B} \cdot \mathbf{M}_0 \\ \mathbf{O}^* \cdot \mathbf{M} = \mathbf{O}^* \cdot \mathbf{e} - \mathbf{e} \end{cases} \quad (10)$$

где  $\mathbf{O}^*$  – транспонированная матрица обратных инцидентностей,  $\mathbf{e}$  – единичный вектор,  $\mathbf{B}$  – матрица инвариантов, получающаяся объединением векторов-строк фундаментальной системы решений уравнений (7). Решениями системы (10) являются тупиковые разметки. Рассмотренный метод целесообразно использовать с целью анализа на ограниченность (7) и на наличие тупиковых разметок (8). Преимуществами метода являются универсальность, то есть применимость к обычным Е-сетям без топологических ограничений, а также удобная, компактная математическая формулировка, облегчающая практическую реализацию. Однако возможности данного метода ограничиваются тем, что в нем сформулированы лишь достаточные условия, например, не для всякой ограниченной Е-сети существует полная р-цепь и т. д. Таким образом, данный метод предлагается использовать как проверочный на наличие свойства ограниченности и тупиковых разметок.

Другим методом, позволяющим проводить качественный анализ сетей Петри, является метод разложения на инвариантные и состоятельные подсети.

При использовании Е-сетей данный метод предполагает следующие ограничения:

1. Сеть должна относиться к подклассу ординарных, то есть:

$$L : P \times H \rightarrow \{0,1\}, D : H \times P \rightarrow \{0,1\}, (\forall h_j \in H) L(h_j) \cap D(h_j) = \emptyset. \quad (11)$$

В данной сети нет дуг с кратностью больше 1, и переход не может иметь циклических дуг.

2. Сеть имеет циклическую структуру – каждый элемент входит в некоторый цикл.

Разметка в терминах данного метода называется переменной заряда сети:

$$\mathbf{Q}(t) = \begin{bmatrix} q_1(t) \\ \vdots \\ q_n(t) \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где  $q_i(t)$  – разметка  $i$ -го места в момент времени  $t$ , а  $n$  – число мест в сети.

В методе рассматривается так называемый вектор тока сети:

$$\mathbf{I}(t) = \frac{\Psi(t)}{\Delta t} = \begin{bmatrix} i_1 \\ \vdots \\ i_k \\ \vdots \\ i_m \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где  $\Psi(t)$  – вектор срабатываний переходов, компоненты которого равны числу срабатываний  $k$ -го перехода к моменту времени  $t$ . Элементы вектора соответствуют средним частотам срабатываний переходов за интервал времени  $\Delta t = t - t_0$ ,  $i_k = \frac{\Psi_k(t)}{\Delta t}$ ,  $m$  – число переходов в сети.



дов применимых к сетям Петри, при некоторых дополнениях и ограничениях. Для использования метода уравнений состояний сети необходимо исходные уравнения дополнить переменными, учитывающими взаимодействие модели с внешней средой и временные параметры работы E-сети. Применение метода уравнений состояний сети позволит проверить наличие свойства ограниченности и наличия тупиковых разметок в разработанной модели. При использовании метода разложения на инвариантные и состоятельные подсети предоставляется возможность анализа модели с точки зрения потребляемых ресурсов анализируемой системой. Однако, для применения метода возможно при достаточно существенных ограничениях накладываемых на исходную E-сеть, что естественно сужает класс анализируемых систем.

Methods for modelling of the distributed program systems with use of Petri nets and their generalizations – E-networks – are considered.

1. Э. Таненбаум, М ван Стеен Распределенные системы. Принципы и парадигмы. – СПб.: Питер, 2003. – 877с.
2. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М. Мир, 1984. – 264 с.
3. Применение микропроцессорных средств в системах передачи информации: Учеб. пособ. для вузов по сп-ти АСУ/ Я. Советов, О.И. Кутузов и др. – М.:Высш. шк., 1987. –256 с.
4. Лосев Ю.И., Шматков С.И., Дуравкин Е.В. Применение методов анализа E-сетей к моделям СОД // Радиотехника. – Х.: ХНУРЭ, 2003. - Вып. 132.– С. 64 – 69.

## ИНФОРМАТИВНОСТЬ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ ПРОЕКЦИОННЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Корчинский В.М.

**Постановка проблемы.** Современные средства получения изображений (в частности, видовых данных дистанционного зондирования с аэрокосмических носителей) реализуют проекционный принцип их формообразования. Носителями информации о физических характеристиках объекта проецирования являются пространственные распределения яркостей его изображений, зафиксированных в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения. Информативность таких многоспектральных изображений в части представления ими физических характеристик объекта определяется количеством и границами спектральных диапазонов. Вследствие этого возникает проблема их оптимального выбора, что требует определения количественных характеристик информативности изображений проекционной природы, связанных с пространственными распределениями их яркостей.

**Анализ существующих результатов.** Различные определения количественной меры геометрической информации даны в настоящее время безотносительно к многотонному характеру распределений яркостей проекционных изображений и базируются либо на понятии их геометрических форм [1, 2], либо на результатах статистического анализа повторяемости геометрических форм различных пространственных масштабов [3, 4], присутствующих в проекционном изображении. Между тем, традиционное понимание геометрической формы в значительной мере теряет смысл применительно к многотоновым изображениям (с количеством уровней яркости, большим двух), в которых носителем информации является распределение уровней яркости по плоскости изображения.

**Формулировка целей статьи.** Целью статьи является определение количественных мер информативности пространственных распределений яркости многотоновых проекционных изображений, полученных в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения - носителя видеоинформации.

**Основная часть.** Пространственное распределение яркости многотонного изображения описываем посредством функции яркости  $z = F(r)$ , где  $r = (x, y)$  - радиус-вектор точки изображения. Предполагается, что областью ее значений является интервал  $\Delta = [a, b]$ , причем  $a \geq 0$ . Указанные распределения рассматриваются как трехмерные геометрические объекты в координатной системе  $Oxyz$ .

В качестве количественной меры распределения яркости по плоскости произвольного многотонного изображения  $X$  примем ее плотность  $p_x(z)$ , которую определим отношением

$$p_x(z)dz = \mu(dX_z)/V_x, \quad (1)$$

где  $\mu(dX_z)$  - мера Лебега множества точек плоскости проекций с уровнями яркости, принадлежащими интервалу  $\Delta_x = [z, z + dz]$ ;  $V_x = \int_{(S)} F(r)dr$  интегрирование выполняется по

площади изображения (в дальнейшем называем  $V_x$  яркостным объемом изображения). Как следует из определения (1), распределение  $p_x(z)$  имеет смысл отношения объема тела, имеющего высоту  $z$  и площадь поперечного сечения, определяемого квадратируемым множеством  $dX_z$ , к яркостному объему изображения в целом, приходящегося на единичный интервал пространственного распределения яркости.

Отметим, что определение (1) не является прямым аналогом принятого в стохастической геометрии определения вероятности (в данном случае - «частот»), с которыми в

изображениях присутствуют уровни яркости из интервала  $[z, z + dz]$  [5], и обосновывается физическими закономерностями формирования изображений в иконических системах, в соответствии с которыми значение яркости является энергетической характеристикой фиксируемого на изображении излучения объекта.

Определим также совместную плотность пространственного распределения яркостей двух многотоновых изображений  $X$  и  $Y$  с диапазонами уровней яркости соответственно  $\Delta_X = [a, b]$  и  $\Delta_Y = [c, d]$ :

$$p_{XY}(z)dz = z\mu(dX_z \cup dY_z - dX_z \cap dY_z) / \max\{V_X, V_Y\} \text{ при } z \in \Delta = \Delta_X \cap \Delta_Y, \quad (2)$$

и плотность распределения яркости изображения  $Y$  относительно изображения  $X$

$$p_{Y|X}(z)dz = \mu(dY_z \cap dX_z) V_X / (\mu(dX_z) V_Y) \text{ при } z \in \Delta_X. \quad (3)$$

В соотношениях (2), (3) посредством  $dX_z$ ,  $dY_z$  обозначены множества точек соответствующих многотоновых изображений с уровнями яркости, принадлежащими интервалу  $[z, z + dz]$ .

Нетрудно видеть, что имеют место соотношения

$$\int_{(\Delta_X)} p_X(z) dz = 1, \quad \int_{(\Delta)} p_{XY}(z) dz = 1, \quad \int_{(\Delta_X)} p_{Y|X}(z) dz = 1, \quad (4)$$

устанавливающее формальную аналогию между  $p(z)$ ,  $p_{xy}(z)$ ,  $p_{Y|X}(z)$  и геометрическими определениями «частот», с которыми в изображениях присутствуют уровни яркости из интервала  $[z, z + dz]$ . Это обстоятельство позволяет включить функциональные характеристики распределений яркостей проекционных изображений, определенные соотношениями (1)-(3), в контекст общих методов теории информации и статистической физики [6, 7] со следующими определениями аналогов энтропии как меры информативности пространственных форм распределений яркости (усредненного по ансамблю яркостей количества информации, приходящегося на ее единичный интервал):

- для многоградационного изображения  $X$  с интервалом значений яркостей  $\Delta_X$

$$E(X) = \int_{(\Delta_X)} p_X(z) \log_2 p(z) dz; \quad (5)$$

- для пары многоградационных изображений  $X, Y$  с интервалами уровней яркостей  $\Delta_X, \Delta_Y$

$$E(XY) = \int_{(\Delta)} p_{XY}(z) \log_2 p(z) dz, \text{ где } \Delta = \Delta_X \cap \Delta_Y; \quad (6)$$

- для многоградационного изображения  $Y$  относительно изображения  $X$

$$E(Y|X) = \int_{(\Delta_X)} p_X(z_1) \left[ \int_{(\Delta_Y)} p_{Y|X}(z_2) \log_2 p_{Y|X}(z_2) dz_2 \right] dz_1. \quad (7)$$

В рамках определений (5)-(7) справедливо соотношение  $E(XY) = E(X) + E(Y|X)$ , из которого следует, что  $E(Y|X)$  является мерой дополнительной яркостной информации, которая содержится в изображении  $Y$  по отношению к изображению  $X$ . При независимости распределений яркостей изображений  $X$  и  $Y$  имеет место равенство  $E(Y|X) = E(Y)$ , что дает возможность трактовать величину  $E(Y|X)$  также как меру их схожести. Аналогичным образом можно определить аналоги энтропии для произвольной совокупности многоградационных изображений, каждое из которых получено в определенном спектральном диапазоне.

Сравнительный анализ абсолютных и относительных мер информативности изображений отдельных спектральных каналов (соответственно выражения (5) и (7)) позволяет оценить их информационный вклад в многоспектральное изображение в целом. На рис. 1 -

З представлены растровые изображения, соответственно X, Y, Z, полученные с космического носителя в трех различных спектральных диапазонах (указаны длины волн излучения). Их информативности, определенные по выражению (5), составляют  $E(X) = 6.59$ ,  $E(Y) = 7.73$ ,  $E(Z) = 6.35$ , из чего следует, что наиболее информативным является изображение спектрального диапазона 0,50-0,59 мкм.



Рис. 1. Изображение спектрального диапазона 0,61-0,68 мкм



Рис. 2. Изображение спектрального диапазона 0,50-0,59 мкм



Рис. 3. Изображение спектрального диапазона 0,79-0,89 мкм

Условные информативности двух других изображений по отношению к нему равны  $E(X|Y) = 4.18$ ,  $E(Z|Y) = 5.62$ . Таким образом, хотя изображение Z является самым малоинформативным, оно содержит больший объем дополнительной к Y информации, чем изображение X.

Определенные соотношениями (5)-(7) показатели информативности возрастают с увеличением разброса значений яркостей изображений, а инвариантность меры Лебега к

группе движений обеспечивает инвариантность этих показателей к ортогональным геометрическим преобразованиями таких распределений.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Предложенные в работе количественные характеристики информативности распределений яркостей многотонных изображений и их совокупностей, сформированных в различных спектральных диапазонах, могут быть использованы при оптимизации режимов получения видовой информации иконическими системами, их интерпретации и предварительной обработке. Перспективы дальнейших исследований по данной проблематике связаны с построением на основе предложенных мер информативности интегральных информационных признаков распределений яркостей многозональных изображений, инвариантных к точечным преобразованиям яркостей, обусловленным изменением позиционных условий проецирования.

The quantitative characteristics are proposed for spatial brightness distributions of continuous-tone projective images and their sets in different spectral ranges of electromagnetic radiation. The procedure for testing of relative informative significance of such images is presented.

1. Стоян Ю.Г. Пространства геометрической информации. – Харьков, 1985. – 68 с. (Препринт Ин-та проблем машиностроения АН УССР, № 223).
2. Стоян Ю.Г., Яковлев С.В. Математические модели и оптимизационные методы геометрического проектирования. – К.: Наукова думка, 1986. – 268 с.
3. Bugaenko N.N., Gorban A.N., Sadovsky M.G. Maximum entropy method in analysis of genetic text and measurement of its information content // Open System & Information Dynamics. – 1998. – Vol. 5, № 3. – P. 265-278.
4. Кирсанова Е.Н., Садовский М.Г. Об информационной значимости цифровых изображений. // Радіоелектроніка, Інформатика, Управління. – 2001. – № 2. – С. 88-95.
5. Кендалл М., Моран П. Геометрические вероятности: Пер. с англ. – М.: Наука, 1972. – 192 с.
6. Колмогоров А.Н. Теория информации и теория алгоритмов. – М.: Наука, 1978. – 362 с.
7. Фейнман Р. Статистическая механика: Пер. с англ. – М.: Мир, 1978. – 408 с.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОНТУРОВ НА СКЕЙЛИНГОВЫХ РАСТРОВЫХ  
ИЗОБРАЖЕНИЯХ

Деревянко А.И., Михалев А.И., Власова Т.Е.

**Введение.** В качестве объекта исследования в работе рассмотрены растровые изображения металлоструктур, которые в значительной степени характеризуются своими контурами - границами объектов, отделяющими их от окружающего фона. Контурные, полученные сечением плоскостью 3-мерных объектов, содержат важную информацию, которая используется для последующего «тонкого» анализа графических изображений. Отличительной особенностью рассмотренных объектов исследования является подобие фрагментов их изображений (скейлинг), что рассматривается в работе как проявление фрактальных свойств, в пределах ограниченного диапазона пространственных масштабов.

**Анализ публикаций.** Существующие методы выделения контуров в большинстве своем используют параметры, которые задаются оператором для визуального результирующего анализа изображения. Причем для разных участков изображения лучшие результаты, с точки зрения человека-оператора, могут достигаться при различных параметрах. Проблема определения параметров, необходимой степени сглаживания изображения остается нерешенной [1, 2]. В свою очередь, значения параметров, при которых результат обработки изображения перестает содержать неискаженную информацию, также не поддаются определению.

**Постановка задачи.** Основной задачей работы является разработка метода выделения границ объектов на скейлинговых растровых изображениях на основе анализа фрактальной размерности. Полученное бинарное изображение подвергается дальнейшей обработке для определения площадей изображений объектов и периметров их границ.

**Основная часть.** Разработанный алгоритм обработки изображений включает следующую последовательность этапов.

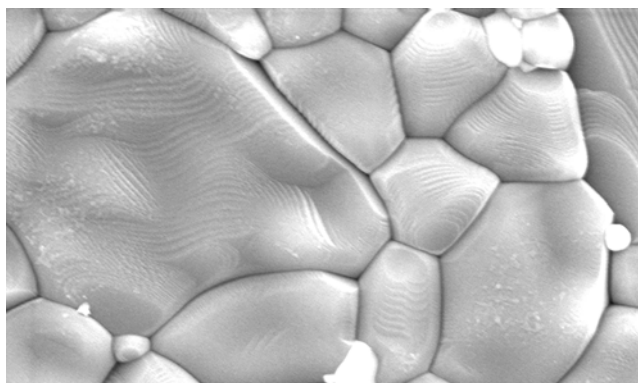


Рис. 1. Исходное изображение металлического сплава, полученного спеканием порошкового материала ( 1424x840 пикселей )

- *Сглаживание и численное определение значений «второй производной» в точках исходного изображения в градациях серого (рис. 1). С этой целью используется DoB-фильтр (“Difference of Boxes”), который формирует модель размытия растрового изображения [1].*
- *Фильтрация изображения для выделения линий и подавления их разрывов. Такая фильтрация позволяет произвести усиление контраста изображения, чувствительное к ориентации и длине элементов контура.*



• Пороговая обработка и бинаризация массива.

Фрактальная размерность [3] является интегральной характеристикой изображения, обусловленной топологией изображения, поэтому любые изменения структуры изображения, связанные с изменением масштаба градаций серого, вызывают изменение ее значения. При этом скачок значения фрактальной размерности связан с возникновением нежелательных разрывов контуров, что дает возможность использовать значение размерности для определения порога при бинаризации. В качестве критерия остановки изменения порогового значения используется резко выраженное нарушение топологических свойств обрабатываемого изображения (появление разрывов контуров).

Для вычисления фрактальной размерности использовался метод «Triangular prism surface area» [4], предназначенный для обработки изображений в градациях серого. Размерность вычислялась отдельно для положительных и отрицательных элементов массива, полученного в результате численного дифференцирования изображения DoV фильтром. Изменение фрактальной размерности в зависимости от значения порога бинаризации иллюстрирует рис. 2.

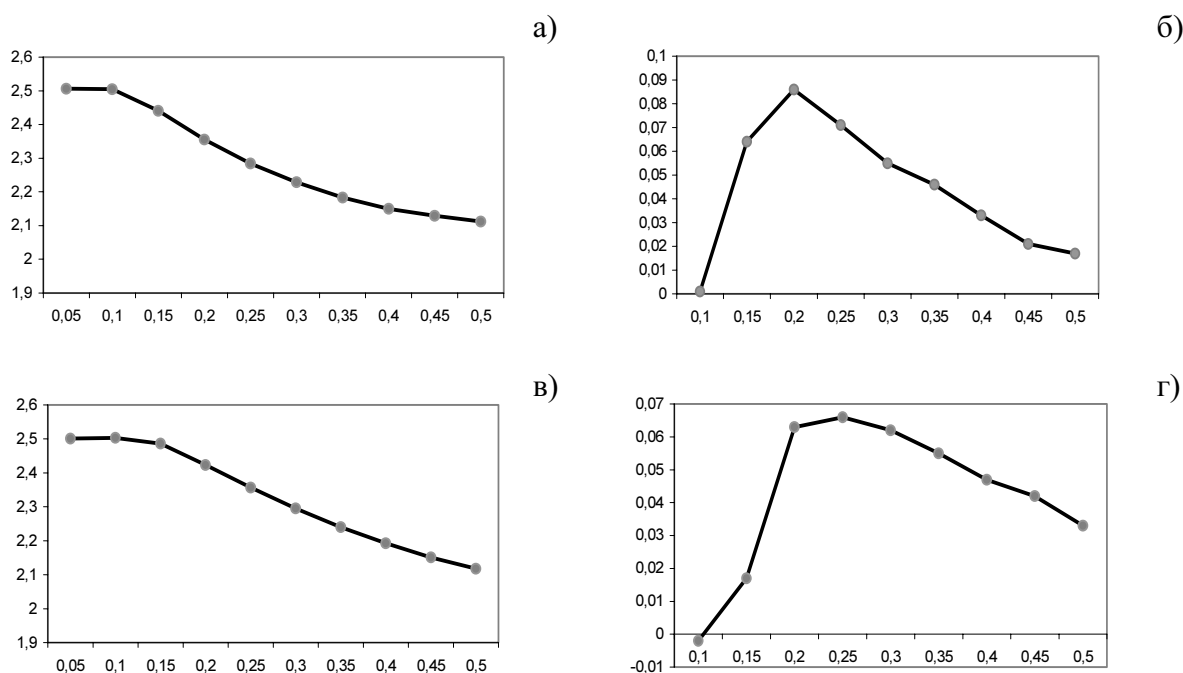


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности от порогового значения для изображения (рис.1):

- а) зависимость для отрицательных элементов массива;
- б) дифференциальная зависимость фрактальной размерности для отрицательных элементов;
- в) зависимость для положительных элементов массива;
- г) дифференциальная зависимость фрактальной размерности для положительных элементов

В качестве порогового значения принято наибольшее, положительное или отрицательное значение элемента в массиве, соответственно.

С целью уменьшения вычислительных затрат был разработан рекурсивный алгоритм определения порога, использующий метод «вложенных интервалов». Следуя этому алгоритму, изначально выбираются максимально и минимально возможные значения порога, а также их среднее значение. Для каждого из них вычисляется фрактальная размерность, далее процесс повторяется для интервала, разность размерностей на концах которого

го больше. Рекурсия прекращается при достижении заданной точности определения порогового значения. Результат работы алгоритма на этом этапе представлен на рис. 3.

- *Сглаживание для устранения незначительных разрывов и формирование замкнутых областей.* Результат этого этапа алгоритма обработки изображения представлен на рис. 4.

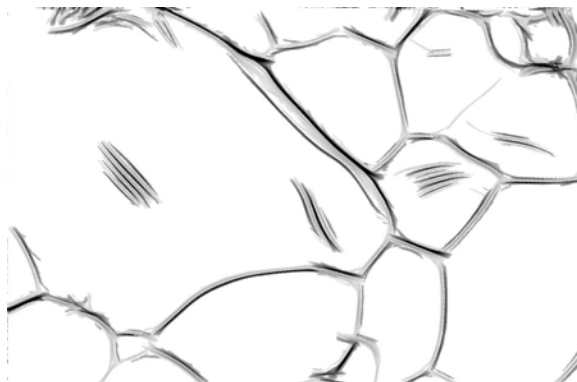


Рис. 3. Массив изображения после фильтрации и пороговой обработки. Положительные значения массива представлены темным цветом, отрицательные – светлым

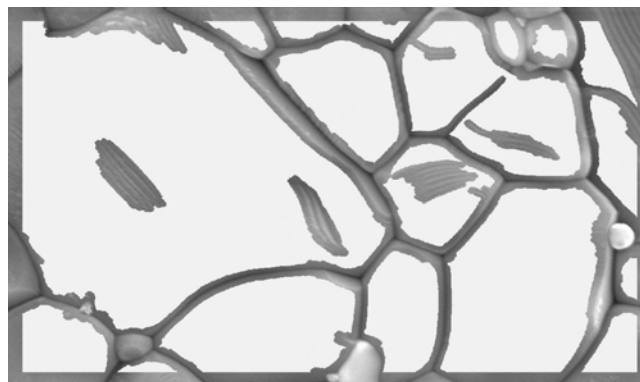


Рис. 4. Тестовое изображение с наложенными областями, определенными алгоритмом

Формирование на основе контура внутренних областей позволяет определить численные характеристики для изображений микрошлифов металлических сплавов, таких как площадь, длина и извилистость линии контура.

Для фрактальных кривых отношение периметра к площади замкнутой фигуры, образованной ими, имеет вид

$$k = \frac{(P(h))^{1/D}}{(S(h))^{1/2}},$$

где  $h$  – эталон длины,  $P$  – периметр,  $S$  – площадь,  $D$  – фрактальная размерность.

Проведенный анализ изображений микрошлифов металлических материалов показал отсутствие в них внутренних пространственных масштабов, т.е. объекты, образующие структуру этих материалов, являются самоаффинными фракталами.

Наиболее значительным фактором эффективности процесса спекания порошковых материалов является показатель пористости, оценка которого связана с определенными экспериментальными трудностями, для преодоления которых был использован метод, основанный на приведенном выше отношении периметра к площади для фрактальных фигур.

Исходно определяется фрактальная размерность  $D$ , как интегральная характеристика всех фигур, образующих изображение.

Для одной из этих фигур определяется значение периметра, как количество точек, образующих ее границу с учетом показателя разрешения изображения.

$$P = N * h^D,$$

где  $N$  – количество точек, образующих границу фигуры.

Площадь выбранной фигуры определяется методом Монте-Карло. Затем для выбранной фигуры оценивается значение  $k$ , которое является универсальным для всех элементов изображения.

Определение площадей остальных фигур изображения основано на полученной оценке значения  $k$ , на приведенном выше отношении периметра к площади и оценке их периметров, как и в случае начальной фигуры. Отношение суммарной площади фигур, полученных в результате выделения границ-контуров, к площади всего изображения слу-

жит показателем пористости материала. Следует отметить независимость полученного показателя от значения разрешения обрабатываемого растрового изображения микроструктуры.

**Выводы.** Предложенный метод выделения контуров изображения, использующий сохранение топологических свойств растрового изображения для бинарного градиентного порогового метода, позволил численно оценить качество выделения контуров. Программная реализация алгоритма этого метода является частью программного комплекса по обработке растровых изображений микрошлифов металлических сплавов.

The method of binarization threshold for the detection raster images edges, based on fractal theory, was proposed. As criterion of the binarization threshold estimation topological image features disturbance, linked with the fractal dimension changing.

1. Форсайт Д., Понс Ж. Компьютерное зрение. Современный подход. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2004. – 928 с.
2. Gomati J., Mulholand A.J. Fractal morphology of deposits in heat exchangers and their physical properties. // Fractals – 2001. - V.9, #1. - P. 31-51.
3. Федер Е. Фракталы. – М.: Наука, 1991. – 136 с.
4. Помулев В.В., Михальов О.І., Дерев'янюк О.І. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 10284 «Комп'ютерна програма обчислення фрактальної розмірності зображень (FNav03)» від 14.06.04.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ РЫНОЧНЫХ СТРАТЕГИЙ

Олейник Ю.Т.

**Постановка проблемы в общем виде.** Основным фактором успешности функционирования производственно-экономической системы в современных условиях является ее инновационный потенциал, то есть способность системы создавать, тиражировать и использовать новшества [1,2]. Важнейший показатель инновационности результатов деятельности фирмы - масштаб производства качественно новой продукции (доля новшеств в общем объеме выводимых на рынок товаров и услуг). Вывод новшеств на рынок является источником возникновения монополии новатора и стратегическим фактором конкурентного преимущества.

Но вместе с очевидной экономической привлекательностью инновационной стратегии в случае успеха, процесс создания и продвижения на рынок нового товара достаточно дорогостоящий и рискованный. Успех или неудача фирмы, а также уровень риска, связанного с нововведениями, зависят в первую очередь от степени новизны товара и восприимчивости потенциального рынка, то есть стратегических преимуществ новшества, воспринимаемых потребителями (стратегический рыночный риск) [3]. Исследование и прогнозирование влияния этих факторов как на степень конкурентоспособности нового товара, так и на уровень сопутствующего риска - ключевая и достаточно сложная задача стратегического планирования.

**Анализ достижений и публикаций. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы.** Решение сформулированной проблемы традиционными методами показало ограниченность возможностей сравнительного статического анализа и моделей конкурентного равновесия в определении зависимости характеристик рыночного положения фирмы от применяемых инновационных стратегий [4]. Выводы экономической теории сводятся к тому, что ориентация на традиционную продукцию и ее незначительные модификации обеспечивает устойчивость равновесного положения фирмы на рынке. Иная ситуация возникает, когда принимается решение о выводе на рынок принципиально новой продукции. Рыночное положение фирмы в этом случае зависит от способности рыночных факторов выбить ее из устойчивого состояния равновесия. Таким образом, традиционный экономический анализ подводит к выводу о состоянии динамической неопределенности системы в случае предложения ею товарных новшеств, но не имеет в своем арсенале инструментария исследования этого явления.

Новое направление в анализе экономических процессов, основанное на использовании методов теории устойчивости и бифуркаций [5,6] для исследования динамики экономических систем в результате нововведений, позволило выявить математические закономерности, на основе которых удалось объяснить известные и получить новые экономические результаты. К последним можно отнести наличие бифуркационной ветви устойчивого развития в области вывода на рынок принципиально новой продукции и необратимость, гистерезисный характер процесса при изменении инновационной стратегии на противоположную [7,8]. Но результаты нелинейного динамического анализа в основном носят формальный феноменологический характер, вследствие чего закономерно возникает проблема содержательного экономического объяснения выявленных бифуркационных эффектов.

**Цель статьи** состоит в выявлении и последующем анализе объективно существующей зависимости качественных характеристик рыночного положения фирмы от соотношения предложения и спроса при реализации инновационной стратегии на товарном рынке.

**Основной материал исследования.** Появление модифицированных или качественно новых товаров ведет, как известно, к неоднородному рынку, который является следствием дифференциации продукта, проводимой предпринимателем. В результате нововведения на рынке начинают действовать эффект замещения и эффект образования спроса [9]. При этом первоначальный базисный спрос на традиционную продукцию и новые базисные спросы на модифицированные и качественно новые товары и услуги могут попарно пересекаться, образуя конкурентные зоны. Хотя базисные спросы могут быть различными, зоны конкуренции являются общими для них, поскольку они представляют собой составляющие двух смежных базисных спросов. Со стороны модифицированной продукции зона конкуренции отражает эффект замещения по отношению к традиционному ассортименту, а со стороны новой – относительно модифицированной продукции. В то же время эффект образования спроса отражается в базисном спросе на модифицированную или новую продукцию соответственно.

Очевидно, что именно причинно-следственные взаимосвязи эффектов образования спроса и замещения с бифуркационными эффектами и возникновением динамической неопределенности определяют качественные характеристики динамики рыночного положения фирмы в процессе реализации инновационной стратегии. В основе решения задачи раскрытия и объяснения этих взаимосвязей лежит выявление и последующий анализ объективно существующей зависимости соотношения предложения и спроса от уровня инновационности поведения фирмы на товарном рынке. Соотношение предложения новшеств и общего объема выводимых предприятием на рынок товаров и услуг можно характеризовать некоторым параметром  $\mu \in [-1, 1]$ . При этом область  $\mu \in (-1, 0)$  соответствует стратегии ориентации на традиционную продукцию и ее модификации, а  $\mu \in (0, 1)$  определяет область вывода на рынок качественно новых товаров и услуг. Значения  $\mu = -1$  и  $\mu = 1$  отвечают предельным случаям предложения исключительно традиционной либо качественно новой продукции соответственно [6]. Иначе говоря, параметр  $\mu$  является функцией на множестве предложения, оценивающей степень новизны продукции.

Но при конструировании соответствующих аналитических зависимостей возникает проблема неопределенности, связанная с открытостью рыночного взаимодействия фирмы с внешней экономической средой, нечеткостью и динамической неопределенностью взаимосвязей предложения и реакции потребителя. Взаимосвязи в системе "предложение – спрос" не носят дихотомического характера, а отличаются определенной размытостью и не могут быть интерпретированы в терминах "да" или "нет". Нечеткие отношения в системе не позволяют моделировать неизвестные функциональные зависимости, выраженные в виде не столько количественных, сколько качественных связей, классическими математико-экономическими методами теории четких множеств, статистического и функционального анализа. В результате единственной реальной альтернативой является использование в качестве состояний модели нечетких множеств на исходном множестве предложения, а в качестве операторов спроса – нечетких преобразований (отношений) над этими нечеткими множествами.

Базируясь на основных понятиях теории нечетких множеств [10], определим универсальное множество  $H$  как множество предложения продукции фирмы со следующей структурой:

$$H = \{H_1, H_2, H_3\}, \quad (1)$$

где  $H_i, i = \overline{1, 3}$  – предложение традиционной, модифицированной и качественно новой продукции соответственно. Входной параметр  $\mu$  определим как функцию принадлежности, отображающую множество  $H$  в интервал  $[-1, 1]$ :

$$\mu_A : H \rightarrow A = [-1, 1]. \quad (2)$$

В дальнейшем нечеткое множество  $A$  будем отождествлять с его функцией принадлежности  $\mu_A(x)$ . Одним из центральных понятий теории НМ является множество уровня  $\alpha$  нечеткого множества  $A$ , под которым будем понимать четкое подмножество множества  $H$ , определяемое в виде

$$A_\alpha = \{x \in H \mid \mu_A(x) \geq \alpha\}, \text{ где } \alpha \in [-1, 1]. \quad (3)$$

Множество уровня  $A_\alpha$  есть образ интервала  $[\alpha, 1]$  при обратном отображении, то есть  $A_\alpha = \mu^{-1}([\alpha, 1])$ . Используя понятие множества уровня  $A_\alpha$ , можно записать:

все множество предложения

$$A_{-1} = \{x \in H \mid \mu_A(x) \geq -1\} = \mu^{-1}([-1, 1]) = \{H_1, H_2, H_3\}; \quad (4)$$

область вывода на рынок модифицированной и качественно новой продукции

$$A_0 = \{x \in H \mid \mu_A(x) \geq 0\} = \mu^{-1}([0, 1]) = \{\emptyset, H_2, H_3\}; \quad (5)$$

область предложения качественно новой продукции

$$A_1 = \{x \in H \mid \mu_A(x) = 1\} = \{\emptyset, \emptyset, H_3\}. \quad (6)$$

Алгебра над НМ определяется следующими основными операциями:

- дополнение  $\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x)$ ;
- пересечение  $\mu_{A \cap B}(x) = \min\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$ ;
- объединение  $\mu_{A \cup B}(x) = \max\{\mu_A(x), \mu_B(x)\}$ ;
- разность  $\mu_{A \setminus B}(x) = \max\{0, \mu_A(x) - \mu_B(x)\}$ .

В соответствии со структурой множества спроса  $H = \{H_1, H_2, H_3\}$  область значений функции принадлежности  $\mu_A(x)$  разбивается на два участка - область вывода на рынок модифицированной продукции  $A_{-1} \cap A_0 = \{x \in H \mid -1 \leq \mu_A(x) \leq 0\} = \{H_1, H_2, \emptyset\}$  и область предложения качественно новых товаров и услуг (5). Граничное значение полной непринадлежности  $\mu_A(x) = -1$  соответствует области предложения только традиционной продукции:  $\{x \in H \mid \mu_A(x) = -1\} = \{H_1, \emptyset, \emptyset\}$ . Область вывода на рынок полностью модифицированной продукции является точкой перехода НМ, для которой  $\mu_A(x) = 0$ :  $A_{-1} \setminus A_0 = \{x \in H \mid \mu_A(x) = 0\} = \{\emptyset, H_2, \emptyset\}$ .

Таким образом, область значений функции принадлежности  $\mu_A$  можно схематично представить в следующем виде (рис. 1):

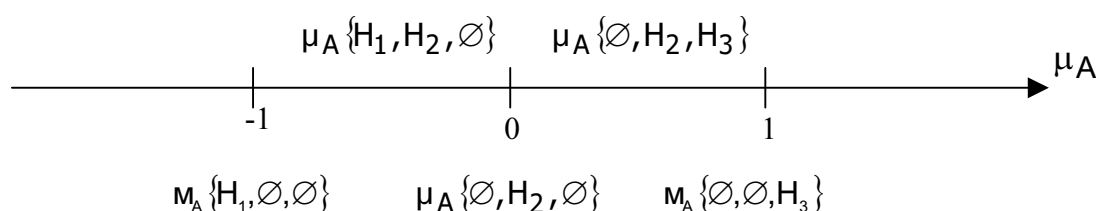


Рис. 1. Области предложения и значений параметра  $\mu_A(x)$

Еще более важным фактором, чем степень новизны продукции, является соотношение спроса и предложения, то есть величина востребованности произведенных новшеств (величина инновационного потенциала). В работе [1] показано, что величина инновационного потенциала (востребованность новшеств) может характеризоваться показателем, изменяющимся в интервале  $[0, 1]$ . Для моделирования влияния эффектов образования и замещения спроса на устойчивость рыночного положения фирмы определим функцию спроса на  $H = \{H_1, H_2, H_3\}$  как нечеткое отношение  $\mu_R(H)$  на НМ  $\mu_A(x) \in [-1, 1]$ :

$$\mu_R(H) : \mu_A(H) \rightarrow [0,1] \quad (8)$$

Согласно введенному определению нечетное отношение (НО)  $\mu_R(H)$  является нечетким оператором над  $M_A(x)$ :

$$\mu_R(H) = \mu_R(\mu_A(x) \in (a,b)). \quad (9)$$

Определенный таким образом оператор есть двухместная действительная функция  $\mu_R : [-1,1] \times [-1,1] \rightarrow [0,1]$ , для которой введем следующие условия:

$$\begin{aligned} \mu_R(-1,-1) = \mu_R(-1) = 1; \mu_R(1,1) = \mu_R(1) = 1; \mu_R(0,0) = \mu_R(0) = 0; \\ \mu_R(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_R(\mu_B(x), \mu_A(x)) - \text{коммутативность}; \\ \mu_R(\lambda_1 \mu_A(x) + \lambda_2 \mu_B(x)) = \lambda_1 \mu_R(\mu_A(x)) + \lambda_2 \mu_R(\mu_B(x)) - \text{дистрибутив-} \end{aligned} \quad (10)$$

ность;

$$\begin{aligned} \mu_R(\mu_A(x), (\mu_B(x), \mu_C(x))) = \mu_R((\mu_A(x), \mu_C(x)), \mu_C(x)) - \text{транзитивность}, \\ \text{в частности } \mu_R(0, (0, \mu_A(x))) = \mu_R((0, \mu_A(x)), \mu_A(x)). \end{aligned}$$

Все алгебраические операции над НО определяются соответствующими операциями над НМ.

В соответствии с диаграммой предложения (рис.1) в точке перехода НМ теоретически возможны следующие варианты соотношения базисных спросов и образования конкурентных зон (обозначены штриховкой) при изменении параметра  $M_A$  (рис.2):

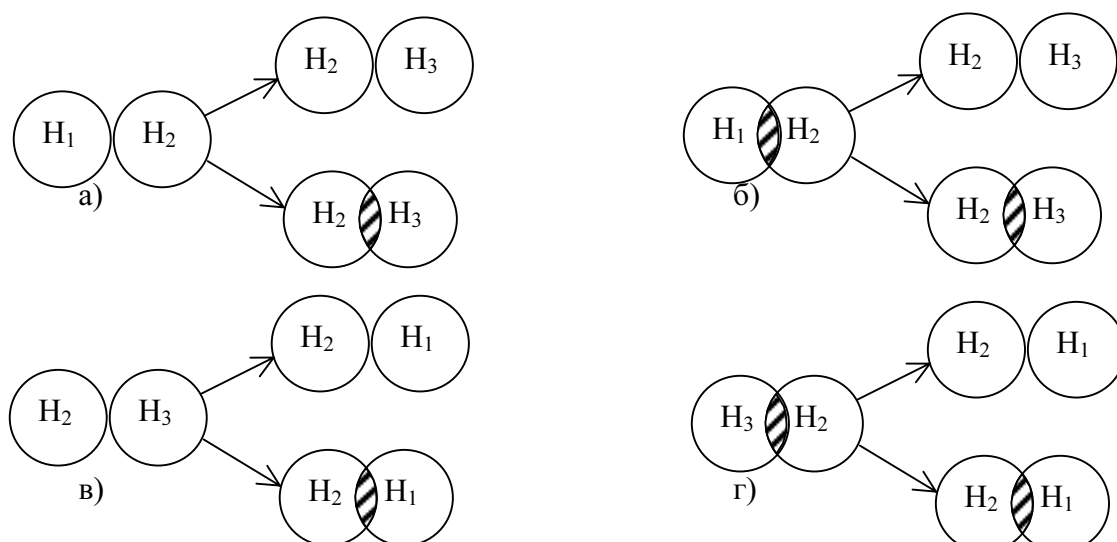


Рис. 2. Схемы развития целевых стратегий предложения: а) и б) – переход от традиционной к модифицированной и качественно новой продукции; в) и г) – обратная стратегия возврата к морально устаревшей продукции

Используя свойства (10) оператора НО  $\mu_R(\mu_A(x))$  и алгебраические операции (7) над НМ  $\mu_A(x)$ , найдем соответствующие выражения для функции спроса по каждой из возможных схем развития инновационной стратегии.

Слева от точки перехода имеем:

$$\text{для схемы а) - } \mu_R(-1 \cup (-1,0)) = \max(\mu_R(-1), \mu_R(-1,0)) = \max(1, \mu_R(-1,0)) = 1;$$

$$\text{для схемы б) - } \mu_R(-1 \cap (-1,0)) = \min(1, \mu_R(-1,0)) = \mu_R(-1,0) \text{ и}$$

$$\mu_R(-1 \cup (-1,0) \setminus -1 \cap (-1,0)) = \max(0, 1 - \mu_R(-1,0)) = 1 - \mu_R(-1,0).$$

В граничной точке  $M_A(x) = -1$  находим  $\mu_R = 1 - \mu_R(-1) = 1 - 1 = 0$ , в точке перехода  $\mu_R = 1 - \mu_R(0) = 1 - 0 = 1$ .

Справа от точки перехода для схем а) и б) получаем

$$\mu_R(0 \cup (0,1)) = \mu_R((0,1) \cup 1) = \max(\mu_R(0,1), \mu_R(1)) = \max(\mu_R(0,1), 1) = 1,$$

$$\text{или } \mu_R(0 \cup (0,1) \setminus 0 \cap (0,1)) = \max(0, 1 - \mu_R(0,1)) = 1 - \mu_R(0,1).$$

Во втором случае в точке перехода  $\mu_R = 1 - \mu_R(0) = 1 - 0 = 1$ , а для  $\mu_A(x) = 1$  имеем

$$\mu_R = 1 - \mu_R(1) = 1 - 1 = 0.$$

Значения функции спроса для схем в) и г) находятся аналогично. Покажем, что оператор  $\mu_R(\mu_A(x))$  удовлетворяет неравенству

$$\mu_R(\lambda\mu_A(x) + (1-\lambda)\mu_B(x)) \geq \min(\mu_R(\mu_A(x)), \mu_R(\mu_B(x))) \text{ для всех } 0 \leq \lambda \leq 1,$$

то есть является выпуклым оператором над НМ.

Действительно, если  $\mu_A(x) \geq \mu_B(x)$ , то

$$\begin{aligned} \mu_R(\lambda\mu_A(x) + (1-\lambda)\mu_B(x)) &\geq \lambda\mu_R(\mu_A(x)) + (1-\lambda)\mu_R(\mu_B(x)) = \\ &= \lambda(\mu_R(\mu_A(x)) - \mu_R(\mu_B(x))) + \mu_R(\mu_B(x)) \geq \mu_R(\mu_B(x)) = \min(\mu_R(\mu_A(x)), \mu_R(\mu_B(x))). \end{aligned}$$

Для  $\mu_A(x) < \mu_B(x)$  имеем

$$\begin{aligned} \mu_R(\lambda\mu_A(x) + (1-\lambda)\mu_B(x)) &= \lambda\mu_R(\mu_A(x)) + (1-\lambda)\mu_R(\mu_B(x)) = \\ &= (\lambda - 1)\mu_R(\mu_A(x)) + (1-\lambda)\mu_R(\mu_B(x)) + \mu_R(\mu_A(x)) = \\ &= (1-\lambda)(\mu_R(\mu_B(x)) - \mu_R(\mu_A(x))) + \mu_R(\mu_A(x)) \geq \mu_R(\mu_A(x)) = \\ &= \min(\mu_R(\mu_A(x)), \mu_R(\mu_B(x))). \end{aligned}$$

Поскольку функция  $\mu_R(\mu_A(x))$  является выпуклой, то  $1 - \mu_R(\mu_A(x))$  - вогнутая функция, возрастающая на  $[-1, 0)$  и убывающая на  $(0, 1]$ . Поведение функции спроса  $\alpha_1^p$ , соответствующее схемам 2 а)-г), где пунктиром обозначены неустойчивые ветви, представлено на рис.3.

**Выводы и перспективы дальнейших исследований.** Результаты моделирования стратегии дифференциации продукта с помощью теории нечетких множеств и нечетких отношений позволяют дать наглядную содержательную экономическую интерпретацию феноменологических бифуркационных эффектов, выявленных методами теории устойчивости и бифуркаций. Поведение функции нечеткого отношения спроса на нечетком множестве предложения показывает, что источником неустойчивости рыночного положения фирмы является эффект замещения и образования конкурентных зон как следствие стратегии дифференциации продукта, проводимой предпринимателем.

При первичном выводе на рынок модификаций традиционной продукции эффект замещения выражен слабо, базисный спрос на дифференцированный продукт остается неизменным и рыночное положение фирмы устойчиво (рис.3а). Проявление эффекта замещения, приводящее к неустойчивому состоянию системы на множестве традиционной и модифицированной продукции, может иметь место только в случае изменения стратегии дифференциации продукта на противоположную в точке перехода  $\mu_A(x) = 0$ . В этой ситуации происходит падение спроса, возникает гистерезисная петля, система развивается необратимо, переходя на неустойчивую бифуркационную ветвь. При вторичном изменении стратегии развитие системы на множестве традиционной и модифицированной продукции происходит уже по неустойчивой бифуркационной траектории (случай б).

В точке перехода  $\mu_A(x) = 0$  при выводе на рынок качественно новой продукции возникает бифуркационный эффект, приводящий к смене рыночного положения фирмы на равновесной траектории с устойчивого на неустойчивое при появлении эффекта замещения и образовании конкурентной зоны. При отсутствии ярко выраженной конкурентной зоны падения спроса не происходит и положение системы продолжает оставаться устойчивым на бифуркационной ветви развития (рис.3а).

Схемы в) и г) иллюстрируют поведение функции спроса при обратном изменении стратегии предложения. При обратном переходе через точку  $\mu_A(x) = 0$  возможны как устойчивый путь изменений ассортимента продукции на равновесной траектории, так и неустойчивое, бифуркационное развитие в результате образования конкурентной зоны и соответствующего падения спроса.



Очевидно, что процесс инновационного развития предприятия носит циклический характер с периодом, равным амплитуде входного параметра  $\mu_A$ :

$$T = \mu_A(\emptyset, \emptyset, H_3) - \mu_A(H_1, \emptyset, \emptyset) = 1 - (-1) = 2. \quad (11)$$

Переход к следующему циклу формально приводит к переносу начала координат на фазовой плоскости "предложение – спрос"  $(\mu_A(x), \mu_R(\mu_A(x)))$  в точку  $(2, 0)$ . Циклическость процесса означает, что в случае неустойчивости траектории развития фирмы при выводе на рынок на тот момент качественно новой продукции ее дальнейшая модификация может постепенно вывести фирму в устойчивое рыночное состояние при стратегическом факторе конкурентного преимущества в виде принципиально новой продукции. Такая целевая стратегия в условиях неустойчивости предпочтительнее отказа от вывода на рынок товарных новшеств и перспективы оказаться в формально устойчивом состоянии динамической неопределенности с морально устаревающим ассортиментом предложения.

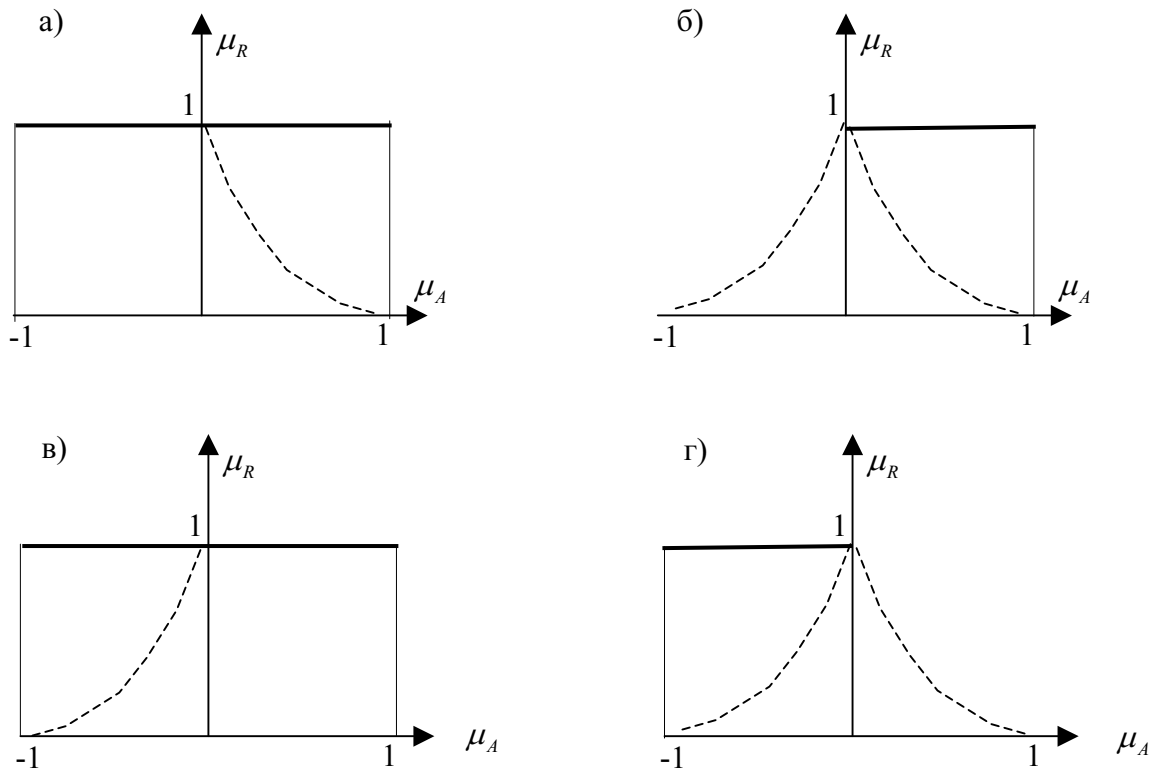


Рис.3. Графики функции НО спроса  $\mu_R(\mu_A(x)) : [-1, 1] \times [-1, 1] \rightarrow [0, 1]$  на НМ предложения  $\mu_A(x) : H = \{H_1, H_2, H_3\} \rightarrow [-1, 1]$

В заключение отметим, что новые экономические реалии нашей страны вызывают необходимость развития перспективных направлений научных, научно-методических и прикладных исследований в области стратегического планирования. Базируясь на использовании современного математического аппарата и компьютерного моделирования, стратегические инновационные решения могут быть тщательно разработаны, проанализированы и обоснованы с учетом непосредственных и долговременных возможных последствий.

By applying methods of the theory of indistinct sets and indistinct ratios developed have been the models of dependence of qualitative characteristics of a firm's marketing position on the supply-demand situation under conditions of pursuing innovatory strategies on the merchandise market.

1. Плотников А.Н. Оценка инновационного потенциала экономических систем.// Системный анализ в проектировании и управлении. Труды VI-й Междунар. науч.-техн. конф. - СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2002.-С.120-124.
2. Кононова Е.Ю. Инновационный процесс. Подходы к моделированию.// Модели управления в рыночной экономике. – Донецк: ДонНУ, 2000.-Вып.4.-С.13-18.
3. Олейник Ю.Т. Принципы моделирования инновационной стратегии маркетингового менеджмента.// Технічний прогрес та ефективність виробництва. Вісник Національного технічного університету "Харківський політехн. ін-т". –Харків: НТУ "ХПІ; 2001. –С.87-89.
4. Занг В.-Б. Синергетическая экономика. Время и перемены в нелинейной экономической теории: Пер. с англ. -М.: Мир, 1999.-335 с.
5. Йосс Ж., Джозеф Д. Элементарная теория устойчивости и бифуркаций. Пер. с англ.- М.: Мир, 1983.-301с.
6. Баутин Н.Н. Поведение динамических систем вблизи границ области устойчивости.- Изд.2-е, перераб.- М.: Наука, 1984.-176 с.
7. Кузнецов В.В., Фирсакова В.В. Об устойчивости рыночного положения фирмы.// Экономика и математические методы.-"Наука", МАИК "Наука/ интерпериодика".-2000.-Т.36, №3.-С.136-139.
8. Олейник Ю.Т. Анализ и моделирование стратегий корпоративного менеджмента.// Экономические инновации. – Одесса: Ин-т проблем рынка и экономико-экологических иссл. НАН Украины, 2003. – Вып. 15. –С.190-201.
9. Фель У. Оберендер П. Основы микроэкономики: Пер. с нем. – Киев: Укртишпроект, 1997. – 478 с.
10. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта/ Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. и др.-М.: Наука, 1986. - 312 с.

## ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЗЕМЕЛЬНЫМИ РЕСУРСАМИ

Подмогильный С.Н. , Бараненко Р.В.

### **Введение**

Важнейшим условием эффективного функционирования региональной системы управления является ее соответствующее информационно-аналитическое обеспечение.

Для принятия обоснованных управленческих решений, включая разработку пакетов регулирующих нормативно-правовых актов, экономических механизмов и ограничений, стратегических и оперативных программ развития, необходима существенная, необходимым образом сформированная и специально переработанная информация. Информация должна включать сведения о состоянии и тенденции изменений территориальных и земельных ресурсов, включая информацию не только поверхностном слое, а и о недрах, водных и воздушных бассейнах, растительном и животном мире. В то же время информационная система обязана содержать данные о состоянии созданного человеком искусственного окружения, состава, интенсивности и продуктивности хозяйственной деятельности, ее экономические последствия. Кроме того, необходима информация о структуре и состоянии общественных отношений, в том числе и о структуре форм собственности [1,2].

### **Постановка задачи**

Определенное место в информационной системе должны занимать данные социально-психологического характера – информация про отношение населения и местных управленческих структур к социально-экономическим процессам и преобразованиям.

До сих пор такой полной и всеобъемлющей информации существующие информационные системы не содержат. Кроме того, существующий информационный массив, разбросанный по ведомствам и предприятиям, причем нередко информационные массивы формируются на различной методической основе с различной степенью достоверности. Поэтому необходима серьезная систематизация и переработка уже имеющейся информации, включая результаты специальных выбранных и экспедиционных обследований, социальных опросов, дополнительных статистических наблюдений. В связи с этим важными становятся вопросы о способах освоения и использования такого большого информационного массива для оперативного и стратегического управления земельными ресурсами.

Одним из результатов проведения экономической реформы и перехода от плановой к рыночной экономике является изменение отношения к собственности, в том числе к ее важной составляющей – земле.

С началом функционирования рынка недвижимости, существенно увеличилась роль юридического обоснования и достоверности оформления прав собственности или пользования землей.

Так как с углублением рыночных отношений количество собственников земли, недвижимости и действий с землей и недвижимостью будет значительно увеличиваться, важной функцией становится необходимость выполнения операций с землей, оценкой стоимости, оперативное и достоверное подтверждение прав на нее.

### **Анализ последних исследований**

Вопросам разработки информационных систем для управления городскими территориями и земельными ресурсами посвящены публикации [3-12]. В работах [4-6, 13-23] в качестве таких систем предлагаются муниципальные геоинформационные системы (МГИС), основным структурным элементом которых является автоматизированная подсистема ведения земельного кадастра [4-6, 24-27].

Поэтому вопросы проектирования информационно-аналитических систем учета и управления муниципальными ресурсами и их составных есть актуальными и сейчас, поскольку современные условия управления городом требуют не только творчества, инициативы, предприимчивости, но и умения проводить разнообразные оценки при выборе оптимальных решений.

### Цель статьи

Целью работы есть является определение целей, задач, структуры и основных функций информационно-аналитической системы управления земельными ресурсами региона, поскольку использование подобных систем позволит повысить эффективность хозяйственной деятельности в регионе.

### Основной материал

Излагается региональная информационная система управления земельными ресурсами. Такая информационная система позволяет отслеживать ряд процессов и решать множество вопросов, связанных с учетом и управлением земельными ресурсами, а именно: автоматизированный учет изменения динамики структуры земельных ресурсов региона; учет изменений прав владельцев земли и ограничений этих прав; учет параметров, влияющих на оценку земли; автоматизированный расчет стоимости земельных участков (базовый) с формированием и выдачей соответствующих документов про оценку участка; динамику изменений структуры земельных ресурсов; передачу прав владения землей, учет (инвентаризация) объектов недвижимости; передачу прав на объекты недвижимости и стоимостный анализ земельных ресурсов региона; прогнозирование возможных изменений в структуре и стоимости земельных ресурсов, планирование поступлений налогов, сравнительный анализ в пределах региона; поддержка законодательной и нормативной базы и другие задания планирования и управления земельными ресурсами.

Структура информационной системы строиться по модульному принципу достаточно самостоятельных информационных структур, объединенных общей базой данных, методологией и интерфейсом (рис.1).

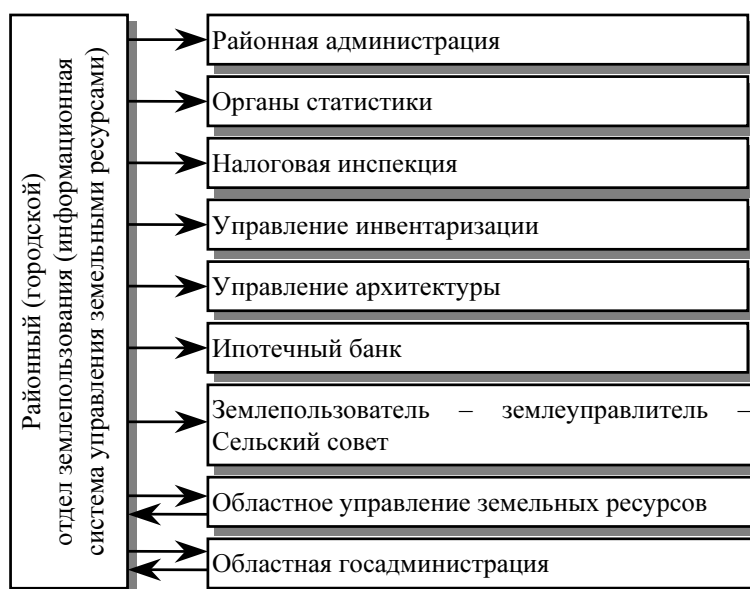


Рис. 1 - Схема взаимосвязей информационной системы управления земельными ресурсами

Структура связей информационной системы предусматривает наличие информационных связей с системами других управлений (отделов) администрации и организаций (банки, нотариат и т.п.) (рис.2).

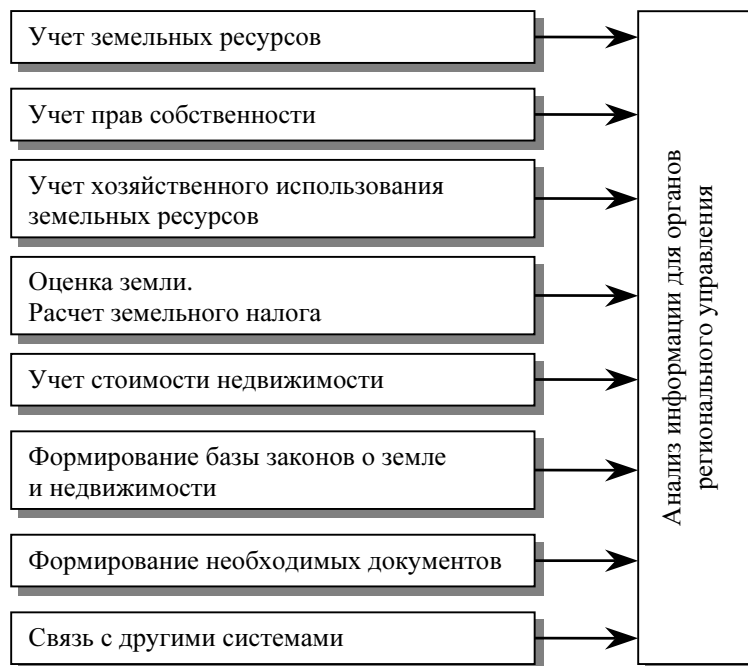


Рис. 2 - Основные функции информационной системы управления земельными ресурсами

Системой выполняются следующие функции:

1. По земельным участкам – ведение реестра участков по региону (база данных по участкам и структуре). Учет земельных участков – описание и индивидуализация в едином реестре земель земельных участков, в результате чего каждый земельный участок получает такие характеристики, которые позволяют однозначно выделить его из других земельных участков и осуществить его качественную и экономическую оценки.

2. По строениям – ведение реестра строений (недвижимость) с привязкой к земельным участкам.

3. Ведение реестра владельцев земельных участков и изменений прав владения, ведение реестра пользователей и изменений правил пользования, а также ограничений прав пользования.

4. Расчет стоимости земельных участков, альтернативных вариантов стоимости, расчет налогообложения на землю.

5. Анализ. Натуральный и стоимостный анализ по различным схемам структуризации (регионы, категории, участки и т.п.)

6. Формирование базы законов о земле, информации, правил, методик, имеющих отношение к земле, учету земли и недвижимости на земельных участках.

7. Отчетность. Автоматизированное формирование различных форм документов, отчетности о земельных ресурсах, имеющейся там недвижимости и вопросах их изменения.

8. Экспорт – импорт – связь и обмен информацией между различными элементами регионального комплекса.

9. Конфигурация – настройка локальных параметров системы.

Одной из основных функций системы является оценка и учет стоимости земли (земельных участков) и недвижимости [28, 29].

Специальное внимание уделяется оценке земли, которую лучше всего производить, при наличии развитого рынка, на основе сравнения аналогов продаж. При этом составляются таблицы корректировок, земельных ставок и карты стоимости земельных участков.

Характеристики земли могут включать такие переменные, как размер, форму, топографию, вид или фасад и удаленность. Модель может быть точно измерена (градуирована) посредством как аддитивного, так и мультипликативного множественного регрессионного анализа. Модели оценки земли отражают внутренние трудности при ее оценки. Цены продаж могут быть недостаточными в отношении количества продаж или ненадежными, а улавливание стоимости местоположения отдельных участков очень сложный процесс. Но даже там, где модели не могут быть использованы прямо, они, однако, могут помочь устанавливать рыночные взаимосвязи и соответствующие поправки к факторам местоположения, таким как угловое расположение, чрезмерно большие участки, вид на водоем и т.п. Необходимо моделирование.

Цель моделирования для проведения оценки – «стабильность» во времени, а также точность и объяснимость. Модели оценки должны постоянно совершенствоваться и корректироваться. Особое внимание должно быть уделено проверке применения модели и ее результатов. Этому служит организация полевых проверок.

Под оценкой рыночной стоимости недвижимости понимается массовая оценка с использованием математических методов стоимости объектов недвижимости.

Объектами недвижимости являются земельные участки, здания, сооружения и иное недвижимое имущество.

Применение моделей массовой оценки предполагает получение юридически правомерной оценки большого числа объектов недвижимости для целей налогообложения с минимальными затратами.

Значения технических характеристик объектов, к которым применяется модель с целью оценки рыночных стоимостей, соответствуют описанию объекта в реестре недвижимости и являются юридически правомерными.

Для оценки объектов недвижимости может быть использована:

- информация по объектам жилого, промышленного и иного коммерческого назначения;
- информация о сделках на вторичном рынке объектов недвижимости;
- информация о спросе и предложении на объекты недвижимости;
- экспертные оценки рыночной стоимости по представительной выборке объектов.

На этой основе могут быть созданы базы данных, которые, помимо информации о сделках, включают физические характеристики объекта (площадь, техническое состояние, этаж, расположения и т.п.), назначение и тип использования, местоположение, время и условия сделки.

В результате статистического анализа информации, содержащейся в базах данных, получают математические модели для каждого вида недвижимости (жилье в многоквартирных домах, индивидуальные жилые дома, недвижимость промышленного и иного коммерческого назначения), позволяющие вычислять приближенные значения (оценку) рыночной стоимости объектов и обеспечивающие необходимую точность оценки.

Математическая модель отражает зависимость стоимости недвижимости от основных характеристик, и показывает, как изменится эта стоимость при изменении характеристик. Значения коэффициентов при этих характеристиках в моделях учитывают вклад каждой из них в рыночную стоимость объектов недвижимости. Значения коэффициентов определяются статистическим путем.

Для оценки относительно небольшой группы различных нетипичных объектов недвижимости, стоимость которых в значительной степени зависит от характеристик, не включенных в реестр недвижимости, могут применяться дополнительные поправки к величине стоимости, рассчитанной по модели массовой оценки.

Применяются следующие модели массовой оценки недвижимости:

- модель оценки рыночной стоимости недвижимости жилого назначения в многоквартирных домах;
- модель оценки рыночной стоимости индивидуальных домов и придомовых земельных участков;
- модель оценки рыночной стоимости недвижимости объектов промышленного и иного коммерческого назначения.

**Модель оценки рыночной стоимости индивидуальных домов и придомовых земельных участков.**

Для оценки рыночной стоимости индивидуальных жилых домов могут использоваться следующие исходные данные:

1. местоположение объекта (земельная зона);
2. материал внешних стен дома;
3. состояние здания (под снос или нет – эта поправка действует в том случае, если отсутствует характеристика общей площади объекта, соответственно оценка стоимость объекта равна 0);
4. общая площадь дома в кв. м.;
5. площадь земельного участка в кв. м.;
6. наличие коммуникаций;
7. износ здания.

**Порядок определения рыночной стоимости.**

Оценка рыночной стоимости индивидуальных домов производится по формуле:

$$\text{Стоимость} = K_1 * K_2 * K_3 * (A_1 * B_1 * K_4 * K_5 + A_2 * B_2), \quad (1)$$

где  $K_1$  - коэффициент влияния местоположения;

$K_2$  - коэффициент наличия коммуникаций;

$K_3$  - коэффициент для дома, предназначенного под снос (в случае, если общая площадь дома равна 0, т.е. оценка здания не производится);

$A_1$  - общая площадь дома;

$B_1$  - базовая ставка для 1 кв. м. общей площади дома;

$K_4$  - коэффициент влияния материала стен дома;

$K_5$  - коэффициент влияния износа здания;

$A_2$  - площадь земельного участка;

$B_2$  - базовая ставка для 1 кв.м. площади земельного участка.

Оценка дополнительных сооружений типа – пристройка, гараж, мезонин, предбанник, хозблок, баня, гараж, веранда и вариантов этих названий производится следующим образом:

Стоимость 1 кв.м. дополн. сооруж. = 1/2 стоимости 1 кв.м. индивидуального жилого дома, к которому относится данное сооружение.

Оценка других типов сооружений (забор, сарай, колодец) производится методом, описанным ниже.

**Модель оценки рыночной стоимости недвижимости объектов промышленного и иного коммерческого назначения.**

Для расчета оценки рыночной стоимости недвижимости промышленного и иного коммерческого назначения необходимо использовать следующие исходные данные:

1. назначение земельного участка;
2. вид использования здания (помещения и др., далее по тексту - здание);
3. материал стен здания;
4. местоположение (зона) здания;

5. общая площадь здания;
6. площадь земельного участка.

**Порядок оценки рыночной стоимости зданий и помещений нежилого назначения и относящихся к ним земельных участков.**

Оценка рыночной стоимости объектов недвижимости промышленного и иного коммерческого назначения, включающих в себя здания, помещения и относящиеся к ним земельные участки производится по формуле (2):

$$C = K_1 * [K_2 * K_3 * K_4 * K_5 * K_6 * A_1 * B_1 + K_7 * B_2 * A_2 * 0.72 + (A_2 - A_2 * 0.72) * B_3], \quad (2)$$

где  $C$  - стоимость объектов недвижимости промышленного и иного коммерческого назначения, включающих в себя здания, помещения и относящиеся к ним земельные участки;

- $K_1$  - коэффициент влияния местоположения здания;
- $K_2$  - коэффициент влияния износа здания;
- $K_3$  - коэффициент влияния вида использования здания;
- $K_4$  - коэффициент влияния материала стен здания;
- $K_5$  - коэффициент влияния типа и размера здания;
- $K_6$  - коэффициент влияния качества постройки;
- $A_1$  - общая площадь здания;
- $B_1$  - базовая ставка для 1 кв.м. здания;
- $K_7$  - коэффициент влияния вида использования земельного участка;
- $A_2$  - площадь земельного участка;
- $B_2$  - базовая ставка для 1 кв.м. площади  $A_2 * 0.72$ ;
- $B_3$  - базовая ставка для 1 кв.м. площади  $(A_2 - A_2 * 0.72)$ .

Для объектов недвижимости, в состав которых входят два и более здания, расположенных на одном земельном участке, оценка рыночной стоимости производится следующим образом:

- вычисляются оценки рыночной стоимости каждого здания по вышеприведенной формуле при условии равенства нулю площади ( $A_2, A_3$ ) земельного участка;
- вычисляется оценка рыночной стоимости земельного участка по вышеприведенной формуле при условии равенства нулю площади ( $A_1$ ) здания;
- оценка рыночной стоимости объекта недвижимости вычисляется суммированием оценок рыночной стоимости всех зданий и земельного участка.

**Выводы**

Использование информационной системы позволяет:

- повысить эффективность хозяйственной деятельности за счет усиления комплексности, системности развития агропромышленного производства, застройки населенных пунктов, размещения и эксплуатации транспортных и инженерных коммуникаций;
- осуществлять рационализацию системы природоохранных мероприятий и недопущения негативных экологических последствий хозяйственной деятельности;
- реализовать сокращение сроков и активизацию рыночных отношений, в том числе и земельного рынка на уровне регионального экономического пространства;
- повысить эффективность инвестиций, направленных на развитие территориальной структуры и коммуникационного обеспечения земли (строительство дорог, мелиорация, устранение результатов подтопления и т.п.).



- In this article the information-analytical control system of ground resources of region, the purpose, tasks, its structure and the basic functions are considered. Using similar systems will allow to increase efficiency of economic activities in region.

1. Киселев С.И. Земля в собственность: бремя или стимул // Экономика и жизнь. – 1999. №31, С.18-25
2. Вальков С.Н., Заплетин В.Я., Чешев А.С. Основы землепользования и землеустройства – Ростов-на-Дону: Из-во Ростовского университета, 1988. – 214 с.
3. Єпіфанов А.О., Сало І.В. Регіональна економіка. – К.: Наукова думка, 2000. – 343 с.
4. В.Є. Ходаков, Р.В. Бараненко Основні принципи побудови муніципальної геоінформаційної системи // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХГТУ, 2004, №2 (14), с. 101-108.
5. В.Є Ходаков, А.В. Шеховцов, Р.В. Бараненко, С.М. Підмогильний Передумови побудови муніципальної геоінформаційної системи // Вісник ХДТУ – Херсон: ХДТУ, 2004, №19, С.291 – 297.
6. В.В. Сальдо, А.В. Шеховцов Стратегия управления городом – создание и функционирование СУБД города // Вестник ХГТУ – Херсон: ХГТУ, 2003, №2 (18), с. 179-183.
7. Рогольский Ф.Б. Методологические аспекты создания систем управления открытыми технологическими комплексами в регионе // Математические модели в образовании, науке и промышленности: Сб. науч. трудов. – С.-Пб.: Санкт-Петербургское отделение МАН ВШ, 2003. – С.183-188.
8. С.А. Карпенко Региональная система управления социально-экономическим развитием как объект изучения // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского Серия „География” – Симферополь: ТНУ, 2001, Том 14, №1. - С.63 – 69.
9. Тимчук Н.Ф. Автоматизация планирования комплексного развития регионов. – К.: Техніка, 1986. – С. 188.
10. Дорофиенко В.В., Ивлева А.В. Общий контекст формирования стратегического подхода к муниципальному управлению // Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції „Наука і освіта ’2004”. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004.
11. Лычкина Н.Н. “Моделирование социально-экономического развития регионов” – М.: Компьютер, 1999.
12. І. Парасюк, Е. Захарко Львівська інтегрована система обробки інформації та муніципальна ГІС – проблеми становлення й впровадження // Вісник ГІС-Асоціації України – 1999, №2.
13. Н.В. Коновалова, Е.Г. Капралов Введение в ГИС. – М.: Комитет ГИС-образование, ГИС Ассоциация, изд. 2-е доп., 1997. – 112 с.
14. А.В. Кошкарев, В.С. Тискунов Геоинформатика / под ред. Д.В. Лисицкого – М.: Картгеоцентр - Геоиздат, 1993. – 213 с.
15. А.М. Берлянт Образ пространства: карта и информация. – М.: Мысль, 1986. – 240 с.
16. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 288 с.
17. Б.С. Бусыгин, И.Н. Гаркуша, Е.С. Серединин, А.Ю. Гаевенко Инструментарий геоинформационных систем (справочное пособие). – К.: 2000. – 105 с.
18. А.В. Скворцов ГраФИН – интегрированная ГИС широкого назначения // ГИС – Обозрение – 1999, №4.
19. О. Блінкова ГІС, „Граніт” і капітальне будівництво // PC Week/ RE – 2000.

20. А.М. Ставицкий Пилотная ГИС для Калининградской области // ГИС – Обзорение – 1998, №4.
21. Бондарчук Е.А. Социально-экономическая информация в ГИС // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2001. – №2-3. – С.36-38.
22. Ружников Г.М., Моисеев А.Н., Оглоблин В.А., Бычков И.В., Кухаренко Е.Л., Хмельнов А.Е. Геоинформационная система органов государственной власти Иркутской области // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2001. – №2-3. – С.30-32.
23. Бессмертный А.Н., Улисков Е.А. Опыт использования геоинформационных систем в региональной распределенной компьютерной сети Ярославской области // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2001. – №2-3. – С.27-29.
24. Сазонов Н.В. Мировой опыт становления кадастра // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 1996. – №2. – С.25.
25. Макеев В.Н., Дикунец В.А., Кудрин В.И. Комплексный мониторинг в эколого-экономической оценке территории Ханты-Мансийского автономного округа // Информационный бюллетень ГИС-Ассоциации. – 2001. – №1(28). – С.12-13.
26. Бендерский Ю.Г., Варфоломеев И.В., Лопатин А.П. Проблемы экономической оценки природно-ресурсного потенциала Красноярского края. – Красноярск: "Кларетианум", 2001.
27. Варфоломеев И.В., Грищенко В.А., Лопатин А.П., Распопин К.И., Сибгатулин В.А. Опыт разработки и перспективы ГИС - территориальный комплексный кадастр природных ресурсов Красноярского края // Проблемы ввода и обновления пространственной информации: Тез. докл. Всероссийской науч. конф. 2000 г. – М., 2000.
28. Джозеф К. Эккерт. Оценка земельной собственности. – Красноярск: Красная гора, 1993. – 233 с.
29. Рабинович Б.М. Экономическая оценка земельных ресурсов и эффективности инвестиций. – М.: Филинь, 1997. – 224 с.

МОДЕЛЬ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНО – ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ С УЧЁТОМ ЧАСТИЧНОГО  
КАЛЕНДАРНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

Песчанский А.И., Приходько Р.А.

Одной из важных проблем надёжности функционирования технических систем является организация технического обслуживания (ТО). Модели и стратегии ТО одно- и двухкомпонентных систем изучались достаточно интенсивно. Обзор работ по этой тематике можно найти в работах [1, 2]. Исследование многокомпонентных систем вызывает существенные трудности, связанные с размерностью и структурой системы. С классами моделей и методов исследования таких систем можно ознакомиться по работам [1-3].

В данной статье исследуется многокомпонентная система, имеющая следующую функциональную структуру: часть элементов системы соединены последовательно, а остальные параллельно. Распределения времен безотказной работы элементов и их восстановления предполагаются общего вида. В некоторый момент времени после начала работы проводится предупредительное ТО (полное обновление) элементов только последовательной части системы.

Требуется найти основные стационарные характеристики системы и определить оптимальные сроки проведения ТО.

Для решения задачи привлекается аппарат теории полумарковских процессов с дискретно – непрерывным фазовым пространством состояний. Приближённые значения стационарных характеристик системы находятся с помощью метода, основанного на алгоритме фазового укрупнения [4,5].

Система состоит из  $N+M$  технологических ячеек (ТЯ), из которых  $N$  ТЯ соединены последовательно между собой, а остальные  $M$  ТЯ – параллельно. Время безотказной работы  $i$ -той ТЯ из последовательной цепочки – случайная величина (СВ)  $\alpha_i^p$  с функцией распределения (ФР)  $F_i^p(t) = P(\alpha_i^p \leq t)$   $i = \overline{1, N}$ , время безотказной работы  $j$ -той ТЯ из параллельной части системы - СВ  $\alpha_j$  с ФР  $F_j(t) = P(\alpha_j \leq t)$ ,  $j = \overline{1, M}$ . Индикация отказа ТЯ происходит мгновенно и восстановление (аварийное)  $i$ -й ТЯ из последовательной части системы длится случайное время  $\beta_i^p$  с ФР  $G_i^p(t) = P(\beta_i^p \leq t)$ ,  $i = \overline{1, N}$ , а восстановление  $j$ -й ТЯ из параллельной части – случайное время  $\beta_j$  с ФР  $G_j(t) = P(\beta_j \leq t)$ ,  $i = \overline{1, M}$ .

Отказ системы наступает либо в результате отказа любой ТЯ из последовательной цепочки, либо в результате отказа всех ТЯ, соединённых параллельно. При отказе системы работоспособные ТЯ отключаются, после возобновления работы отключённые ТЯ включаются в работу с теми же характеристиками безотказности, с которыми их застал отказ.

В момент начала работы системы (нулевой момент времени) планируется проведение предупредительного ТО последовательной части системы через время, получаемое как реализация СВ  $\gamma$  с ФР  $\Phi(t) = P(\gamma \leq t)$ . При этом ТО проводится только в том случае, если система находится в работоспособном состоянии. В противном случае проведение ТО перепланируется через время  $\gamma$ . Длительность проведения ТО – СВ  $\zeta$  с ФР  $\Psi(t) = P(\zeta \leq t)$ . В момент окончания ТО последующее ТО перепланируется. Предполагается, что после проведения любой из восстановительных работ ТЯ полностью обновляются. СВ  $\alpha_i^p, \beta_i^p$ ,  $i = \overline{1, N}$ ,  $\alpha_i, \beta_i$ ,  $i = \overline{1, M}$ ,  $\gamma$ ,  $\zeta$  предполагаются независимыми в совокупности, имеющими соответствующие плотности распределения  $f_i(t)$ ,  $f_i^p(t)$ ,  $g_i(t)$ ,  $g_i^p(t)$ ,  $\varphi(t)$ ,

$\psi(t)$  конечные математические ожидания  $M\alpha_i^p$ ,  $M\beta_i^p$ ,  $M\alpha_i$ ,  $M\beta_i$ ,  $M\gamma$ ,  $M\zeta$ . Требуется определить следующие стационарные характеристики системы при условии быстрого восстановления её элементов: среднюю наработку на отказ  $T_+$ , среднее время восстановления  $T_-$ , коэффициент готовности  $K_g$ ; найти оптимальные моменты проведения ТО последовательной части для достижения максимального значения коэффициента готовности.

Построим полумарковскую модель рассматриваемой системы. Введём следующую кодировку физических состояний ТЯ: 1 – ТЯ находится в работоспособном состоянии, 0 – в отказовом состоянии. Кодами физических состояний системы будут совокупности двух двоичных векторов  $\bar{d}$  и  $\bar{b}$ . Компоненты  $N$ -мерного вектора  $\bar{d}$  описывают состояния ТЯ из последовательной части, а компоненты  $M$  – мерного вектора  $\bar{b}$  – состояния ТЯ из параллельной части системы.

Фазовое пространство полумарковских состояний рассматриваемой системы  $S$  имеет вид:

$$E = \{i\bar{d}\bar{x}^{(i)}\bar{b}\bar{y}z, \quad i = \overline{1, N}; \quad \bar{d}\bar{x}j\bar{b}\bar{y}^{(j)}z, \quad j = \overline{1, M}; \quad 0\bar{d}\bar{x}\bar{b}\bar{y}, \quad k\bar{y}, k = \overline{0, 1}\},$$

где  $i(j)$  – номер ТЯ, изменившей своё состояние последней,  $\bar{x} = (x_1, \dots, x_N)$ ,  $x_k$  – время, оставшееся до ближайшего изменения состояния  $k$ -ой последовательной ТЯ,  $k = \overline{1, N}$ ;  $\bar{y} = (y_1, \dots, y_M)$ ,  $y_k$  – время, оставшееся до ближайшего изменения состояния  $k$ -ой параллельной ТЯ,  $k = \overline{1, M}$ ;  $\bar{x}^{(i)}$ ,  $\bar{y}^{(j)}$  – векторы, у которых соответственно  $i$ -я и  $j$ -я компоненты равны нулю,  $z$  – время до ближайшего планового момента проведения ТО. Кодом  $0\bar{d}\bar{x}\bar{b}\bar{y}$  обозначено начало проведения ТО,  $1\bar{y}$  – начало работы системы после ТО,  $0\bar{d}\bar{x}\bar{b}\bar{y}$  – наступление планового момента проведения ТО, которое не проводится вследствие нахождения системы в отказе.

Для нахождения приближённых значений стационарных характеристик используем метод, основанный на алгоритме фазового укрупнения [4,5].

Предположим, что времена аварийного восстановления ТЯ и длительность ТО зависят от некоторого малого параметра  $\varepsilon$  так, что для  $\beta_i^p = \beta_i^{p,\varepsilon}$ ,  $\beta_j = \beta_j^\varepsilon$ ,  $\zeta = \zeta^\varepsilon$  справедливы предельные равенства  $\lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M\beta_i^{p,\varepsilon} = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M\beta_j^\varepsilon = \lim_{\varepsilon \rightarrow 0} M\zeta^\varepsilon = 0$ .

Опорная система имеет пространство состояний:

$$E_0 = \{i\bar{1}^{(i)}\bar{x}^{(i)}\bar{1}\bar{y}z, i\bar{1}\bar{x}^{(i)}\bar{1}\bar{y}z, \quad i = \overline{1, N}; \quad \bar{1}\bar{x}j\bar{1}^{(j)}\bar{y}^{(j)}z, \bar{1}\bar{x}j\bar{1}\bar{y}^{(j)}z, \quad j = \overline{1, M}; \quad 0\bar{y}; \quad 1\bar{y}\},$$

где  $\bar{1}$  – вектор, все компоненты которого равны 1,  $\bar{1}^{(i)}$  ( $\bar{1}^{(j)}$ ) – вектор, у которого  $i$ -я ( $j$ -я) компонента равна 0, остальные 1.

Временная диаграмма функционирования опорной системы приведена на рис. 1.

Фазовое пространство системы  $E$  разобьём на два непересекающихся подмножества  $E_+$  и  $E_-$ :  $E_+$  – подмножество работоспособных состояний,  $E_-$  – отказовых состояний. Приближённые значения стационарных характеристик системы: среднюю наработку на отказ  $T_+$ , среднее время восстановления  $T_-$ , коэффициент готовности  $K_g$ , найдём по формулам [4,5]

$$T_+ \approx \frac{\int_{E_+} m(x)\rho(dx)}{\int_{E_+} \rho(dx)P(x, E_-)}, T_- \approx \frac{\int_{E_-} m(x)\rho(dx)}{\int_{E_-} \rho(dx)P(x, E_-)}, K_g = \frac{T_+}{T_+ + T_-}, \quad (1)$$

где  $\rho(\bullet)$  – стационарное распределение ВЦМ  $\{\xi_n^0, n \geq 0\}$  опорной системы;  $m(x)$  – средние времена пребывания в состояниях исходной системы;  $P(x, E_-)$  – вероятности переходов ВЦМ  $\{\xi_n, n \geq 0\}$  исходной системы из работоспособных состояний в отказовые.

Стационарное распределение  $\rho(\bullet)$  ВЦМ  $\{\xi_n^0, n \geq 0\}$  удовлетворяет системе интегральных уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} & \rho(i\bar{1}^{(i)} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z) = \sum_{j=1}^N \int_0^\infty f_j^p(t + x_j) \rho(j\bar{1}(\bar{x}^{(i)} + \bar{t})^{(i)} \bar{1}(\bar{y} + \bar{t})(z + t)) dt + \\ & + \sum_{j=1}^M \int_0^\infty f_j(t + y_j) \rho(\bar{1}(\bar{x}^{(i)} + \bar{t}) j \bar{1}(\bar{y} + \bar{t})^{(i)}(z + t)) dt + \\ & + \int_0^\infty f_i^p(t) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^N f_l^p(t + x_l) \varphi(z + t) \rho(1(\bar{y} + \bar{t})) dt, i = \overline{1, N}, \\ & \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1}^{(i)} \bar{x}^{(i)} z) = \sum_{l=1}^M \int_0^\infty f_l(t + y_l) \rho(\bar{1}(\bar{x} + \bar{t}) \bar{1} \bar{1}(\bar{y}^{(i)} + \bar{t})^{(i)}(z + t)) dt + \\ & + \sum_{i=1}^N \int_0^\infty f_i^p(x_i + t) \rho(i\bar{1}(\bar{x} + \bar{t})^{(i)} \bar{1}(\bar{y}^{(i)} + \bar{t})(z + t)) dt + \\ & + \int_0^\infty \varphi(t + z) \prod_{i=1}^N f_i^p(t + x_i) \rho(1(\bar{y}^{(i)} + \bar{t})) dt, j = \overline{1, M}, \\ & \rho(0\bar{y}) = \int_0^\infty \varphi(t) \prod_{i=1}^N \bar{F}_i^p(t) \rho(1(\bar{y} + \bar{t})) dt + \sum_{i=1}^N \int_{R_+^{N,i}} d\bar{x}^{(i)} \int_0^\infty \bar{F}_i(t) \rho(i\bar{1}(\bar{x} + \bar{t})^{(i)} \bar{1}(\bar{y} + \bar{t})) dt + \\ & + \sum_{j=1}^M \int_0^\infty f_j(t + y_j) dt \int_{R_+^N} \rho(\bar{1}(\bar{x} + \bar{t}) j \bar{1}(\bar{y} + \bar{t})^{(i)} t) d\bar{x}, \\ & \rho(0\bar{y}) = \rho(1\bar{y}), \rho(i\bar{1}^{(i)} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z) = \rho(i\bar{1} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z), \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1}^{(i)} \bar{y}^{(i)} z) = \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1} \bar{y}^{(i)} z), \\ & 2 \int_{R_+^M} \rho(0\bar{y}) d\bar{y} + \sum_{i=1}^N \int_{R_+^{N,i}} d\bar{x}^{(i)} \int_{R_+^M} d\bar{y} \int_0^\infty \rho(i\bar{1} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z) dz + \\ & + 2 \sum_{j=1}^M \int_{R_+^N} d\bar{x} \int_{R_+^{M,j}} d\bar{y}^{(j)} \int_0^\infty \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1} \bar{x}^{(i)} z) dz = 1, \end{aligned} \right. \quad (2)$$

где  $R_+^N (R_+^M)$  -  $N(M)$  – мерные ортанты векторов с неотрицательными компонентами;  $R_+^{N,i} = \{\bar{x}^{(i)}, x_k \geq 0, k = \overline{1, N}\}$ ,  $R_+^{M,j} = \{\bar{y}^{(j)}, y_l \geq 0, l = \overline{1, M}\}$ .

Решения системы (2) определяются формулами (3):

$$\left\{ \begin{aligned} & \rho(i\bar{1} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z) = \rho(i\bar{1}^{(i)} \bar{x}^{(i)} \bar{1} \bar{y} z) = \rho_0 \prod_{j=1}^M \bar{F}_j(y_j) \int_0^\infty h_i^p(t) \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq i}}^N v_l^p(t, x_l) \varphi(z + t) dt, \quad i = \overline{1, N}, \\ & \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1} \bar{y}^{(i)} z) = \rho(\bar{1} \bar{x} j \bar{1}^{(i)} \bar{y}^{(i)} z) = \rho_0 \prod_{\substack{l=1 \\ l \neq j}}^M \bar{F}_l(y_l) \int_0^\infty \prod_{i=1}^N v_i^p(t, x_i) \varphi(z + t) dt, \quad i = \overline{1, M}, \\ & \rho(0\bar{y}) = \rho(1\bar{y}) = \rho_0 \prod_{j=1}^M \bar{F}_j(y_j), \\ & \rho_0 = \frac{1}{2} \left[ \prod_{l=1}^M M \alpha_l \left( 1 + \sum_{i=1}^N \int_0^\infty h_i^p(t) \bar{\Phi}(t) dt + M \gamma \sum_{j=1}^M \frac{1}{M \alpha_j} \right) \right]^{-1}. \end{aligned} \right. \quad (3)$$

где  $\bar{F}_j(t) = 1 - F_j(t)$ ,  $\bar{\Phi}(t) = 1 - \Phi(t)$ ,  $h_i^p(t)$  - плотность функции восстановления  $H_i^p(t) = \sum_{n=1}^\infty F_i^{p*(n)}(t)$  рекуррентного потока, порождённого СВ  $\alpha_i^p$ ,  $v_i^p(t, x_i)$  - плотность функции распределения остаточного времени восстановления (перескока).

Приближённое значение стационарного коэффициента готовности, используя (1) находится по формуле

$$K_{\Gamma} = \frac{T_+}{T_+ + T_-} \approx \frac{M\gamma \left( 1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} \right)}{M\gamma \left( 1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} \right) + M\zeta + \sum_{i=1}^N M\beta_i^p \int_0^{\infty} h_i^p(t) \bar{\Phi}(t) dt}$$

В работе [1] доказано, что локальные экстремумы дробно – линейного функционала достигаются на вырожденных функциях распределения. Если  $\bar{\Phi}(t) = \begin{cases} 1, t \in [0, \tau] \\ 0, t \in (\tau, +\infty] \end{cases}$ , тогда коэффициент готовности  $K_{\Gamma}$  зависит от параметра  $\tau$ :

$$K_{\Gamma}(\tau) \approx \frac{\tau \left( 1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} \right)}{\tau \left( 1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} \right) + M\zeta + \sum_{i=1}^N M\beta_i^p H_i^p(\tau)}$$

Оптимальный момент времени  $\tau_K$  проведения ТО последовательной части системы, при которых  $K_{\Gamma}$  достигает экстремального значения, находится из уравнения

$$\sum_{i=1}^N M\beta_i^p (\tau \cdot h_i^p(\tau) - H_i^p(\tau)) = M\zeta, \quad (4)$$

В случае существования единственного корня (4) оптимальные показатели качества функционирования системы определяются формулой

$$K_{\Gamma \max} \approx \frac{1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j}}{1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} + \sum_{i=1}^N M\beta_i^p h_i^p(\tau_K)} \quad (5)$$

Если уравнение (4) имеют несколько корней, оптимальные значения  $\tau$  находятся прямой подстановкой каждого из них в формулу (5) для случая единственного корня с последующим отбором лучшего из них, причём необходимо учесть значение показателя при  $\tau = \infty$ :

$$K_{\Gamma}(\infty) \approx \frac{1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j}}{1 + \sum_{j=1}^M \frac{M\beta_j}{M\alpha_j} + \sum_{i=1}^N \frac{M\beta_i^p}{M\alpha_i^p}}$$

С помощью предложенной в работе методики определяются оптимальные сроки проведения ТО системы для достижения экстремальных значений экономических показателей качества функционирования системы. В качестве примера их использования приведём задачу: имеется 6 последовательно соединённых ячеек, пять из которых - средней надёжности и одна (шестая) – низкой. Требуется оценить, какой из следующих способов наиболее экономически целесообразен:

1. проводить плановое ТО всех шести ТЯ.
2. дублировать низконадёжную ТЯ (поставить параллельно ей нагруженный резерв), и проводить ТО только последовательной цепочки (пяти ТЯ средней надёжности).

Таблица 1.

Исходные данные системы ( $i = \overline{1,5}, j = \overline{6,7}$ )

$\lambda_i, \text{ч}^{-1}$	$k_i$	$M\alpha_i, \text{ч}$	$\mu_i, \text{ч}^{-1}$	$m_i$	$M\beta_i, \text{ч}$	$\lambda_j, \text{ч}^{-1}$	$k_j$	$M\alpha_j, \text{ч}$	$\mu_j, \text{ч}^{-1}$	$m_j$	$M\beta_j, \text{ч}$
0,05	4	80,00	1,50	4	2,67	0.1	4	40	1.5	4	2,67

$\mu_{\text{ТО}}, \text{ч}^{-1}$	$m_{\text{ТО}}$	$M\zeta, \text{ч}$
4,00	4	1,00

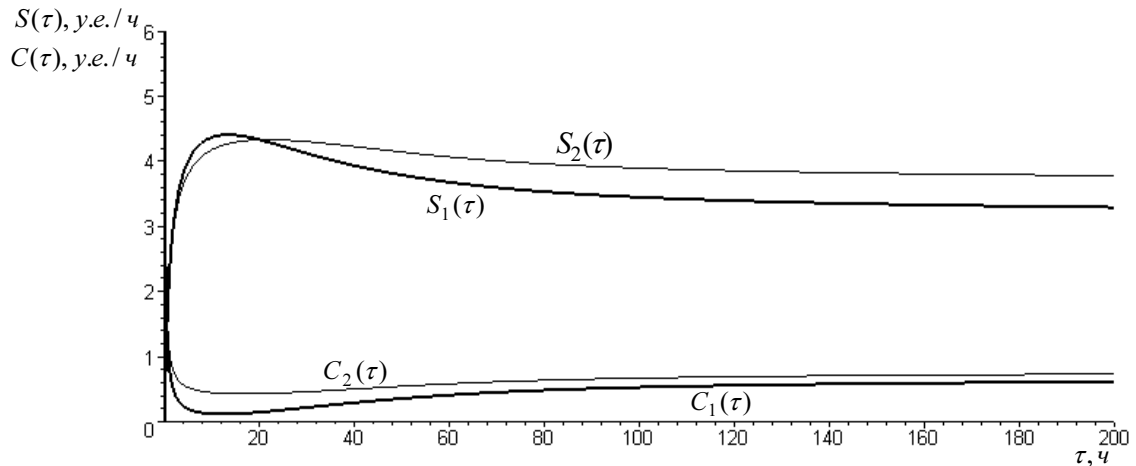


Рис. 1. Сравнение стратегий ТО: Зависимость средней прибыли S и средних затрат C от времени между ТО соответственно для первой и второй стратегий ТО

The mathematical model is constructed and the approximated values of reliability stationary characteristics of consistently - parallel system with partial calendar maintenance service of its consecutive part are found. Optimum terms of maintenance service realization are determined.

1. Барзилович Е.Ю. Каштанов В.А. Некоторые математические вопросы теории обслуживания сложных систем. – М.: Сов. радио, 1971. – 272 с.
2. Каштанов В.А., Медведев А.И. Теория надёжности систем (теория и практика). – М.: “Европейский центр по качеству”, 2002. – 470 с.
3. Dekker R., Wildeman R.A. A review of multi-component maintenance models with economic dependence// Math. methods of oper. res. – 1997. – 45. – P. 411 – 435.
4. Королюк В.С., Турбин А.Ф. Процессы марковского восстановления в задачах надёжности систем. – К.: Наук. думка, 1982. – 236 с.
5. Корлат А.Н., Кузнецов А.Н., Новиков М.И., Турбин А.Ф. Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания. – Кишинёв: Штиинца, 1991. – 209 с.

УДК 621.313.13

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНДУКТОРНЫХ ЛИНЕЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Рымша В.В. , Радимов И.Н., Меркулов И.В.

Одной из тенденций современного электропривода, заключающейся в максимально возможном устранении промежуточных кинематических передач между электродвигателем и рабочим органом механизма, а в пределе – в объединении электродвигателя и рабочего органа в одном корпусе, является применение линейных электродвигателей [1].

В большинстве регулируемых электроприводов применяются линейные аналоги вращающихся электрических машин постоянного тока с постоянными магнитами (ПМ). Однако, выполнение линейной машины путем такой топологической трансформации, как «разрезание по осевой линии и развертка на плоскости» приводит к тому, что, либо обмотка якоря (ОЯ), либо ПМ должны находиться на протяженной неподвижной структуре. Как следствие, происходит существенный перерасход обмоточной меди или дорогостоящих ПМ. В этой ситуации экономически более целесообразным является применение индукторных линейных двигателей постоянного тока (ЛДПТ), у которых один из элементов (подвижный или неподвижный) не содержит обмоток либо ПМ [2]. Согласно [3] индукторной называется машина с двумя обмотками на статоре и зубчатым магнитопроводом ротора. Применительно к индукторным ЛДПТ обе обмотки (ОЯ и обмотка возбуждения (ОВ) – в случае электромагнитного возбуждения (рис.1,а), ОЯ и ПМ – в случае магнитоэлектрического возбуждения (рис. 1,б)) расположены на первичном элементе (ПЭ). Вторичный элемент (ВЭ) представляет собой выполненную определенным образом зубчатую ферромагнитную структуру, не содержащую обмоток или ПМ. Использование индукторных ЛДПТ с электромагнитным возбуждением позволяет избежать трудностей при реализации двухзонного регулирования скорости, присущих электродвигателям с ПМ. В то же время при применении индукторных ЛДПТ с ПМ обеспечивается необходимый в ряде электроприводов режим аварийного динамического торможения при исчезновении напряжения, что невозможно осуществить для двигателя с электромагнитным возбуждением.

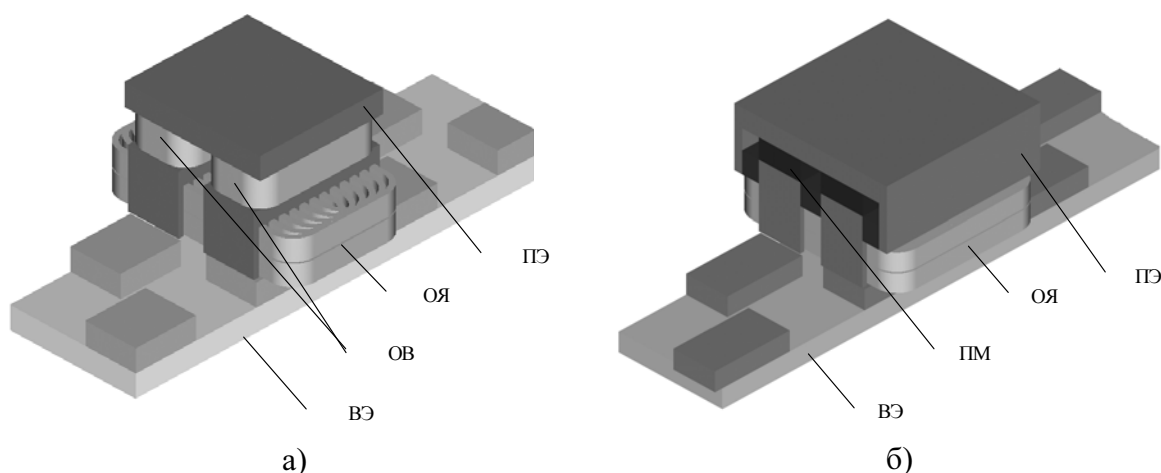


Рис. 1. Конструктивные исполнения индукторных ЛДПТ.

Электромеханическое преобразование энергии в индукторном ЛДПТ происходит, в основном, за счет изменения взаимоиндуктивности между неподвижными обмотками ПЭ при перемещении относительно них зубчатого магнитопровода ВЭ.

Расчет тягового усилия  $F_{\text{тяг}}$ , действующего на один из элементов индукторного ЛДПТ, содержащего две обмотки и перемещающегося вдоль координаты  $x$ , возможен на



основе выражения, описывающего процесс электромеханического преобразования энергии в индукторных машинах [3]:

$$F_{\text{тяг}} = \frac{I_B^2}{2} \frac{\Delta L_B}{\Delta x} + \frac{I_A^2}{2} \frac{\Delta L_A}{\Delta x} + I_B I_A \frac{\Delta L_{BA}}{\Delta x}, \quad (1)$$

где  $I_B$  - ток ОВ,  $I_A$  - ток ОЯ,  $L_B$  - индуктивность ОВ,  $L_A$  - индуктивность ОЯ,  $L_{BA}$  - взаимоииндуктивность обмоток возбуждения и якоря.

При этом вводятся следующие упрощающие допущения:

- нелинейная магнитная цепь заменена эквивалентной линейной, в которой насыщение учитывается коэффициентом насыщения  $K_{\mu}$ ;
- обмотка якоря заменена тонким токовым слоем, расположенным на поверхности магнитопровода якоря;
- зубчатость магнитопровода якоря учитывается коэффициентом Картера  $K_s$ ;
- не учитываются краевые эффекты;
- не учитывается коммутация тока в секциях обмотки якоря.

На основе выражения (1) и принятой системы допущений построены проектные математические модели индукторных ЛДПТ различных конструктивных исполнений в линейной постановке задачи [4]. Эти модели имеют определенные различия между собой, которые связаны с особенностями конструкции и организации путей замыкания основного магнитного потока. В то же время общими для всех математических моделей являются следующие основные компоненты:

- математическая модель для расчета геометрических размеров;
- математическая модель для расчета обмоточных данных;
- математическая модель для расчета магнитной цепи;
- математическая модель для расчета характеристики намагничивания;
- математическая модель для расчета рабочих характеристик;
- математическая модель для расчета параметров и постоянных времени;
- математическая модель для расчета тепловых процессов;
- математические модели проектных ограничений и целевых функций.

Полученные в такой постановке математические модели позволяют на предварительном этапе определить основные геометрические размеры индукторных ЛДПТ и приближенно, с учетом принятых допущений о характере распределения магнитного поля в двигателе, рассчитать характеристики и оценить его рабочие свойства. Принятые при разработке упрощенных моделей допущения позволяют получать удовлетворительные результаты при невысоких электромагнитных нагрузках, и, следовательно, низком уровне насыщения магнитной системы двигателя. С увеличением нелинейных эффектов происходит существенное снижение точности расчета. Уточнение разработанных математических моделей возможно путем применения современных численных методов расчета и анализа магнитного поля, в частности метода конечных элементов. Данный метод позволяет учесть реальную геометрию и достаточно высокий уровень насыщения ферромагнитных материалов, присущий рассматриваемым индукторным ЛДПТ.

В качестве типовой области расчета двумерного магнитного поля в индукторном ЛДПТ может быть принята топологическая модель (рис.2,а) [5].

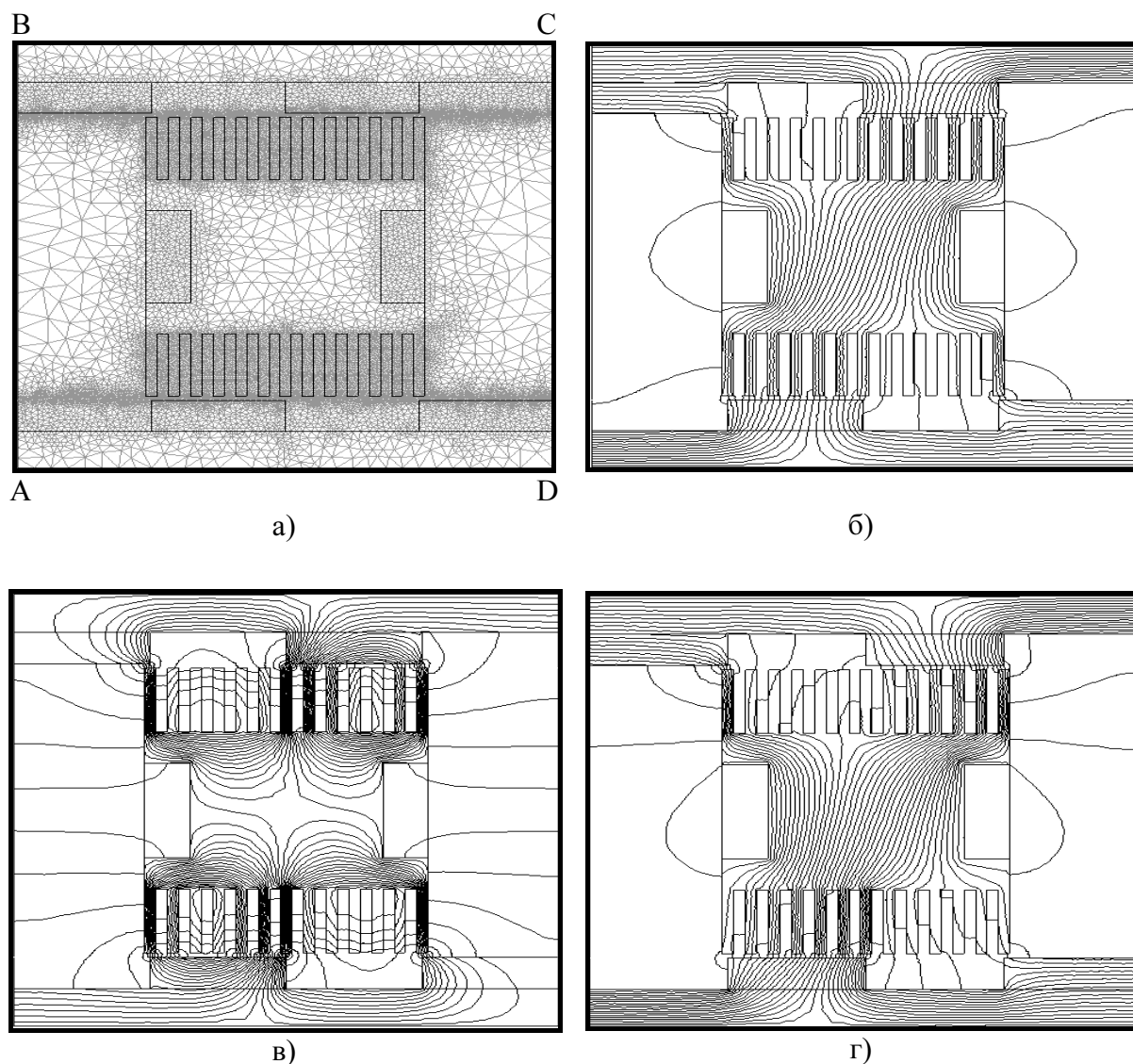


Рис. 2. Конечноэлементная аппроксимация и распределение магнитного поля в индукторном ЛДПТ.

На границах расчетной области заданы краевые условия Дирихле:  $A|_{AD} = A|_{BC} = 0$ ;  $A|_{AB} = -A|_{CD}$ . Такая топологическая модель является достаточно универсальной и может быть использована для расчета магнитного поля индукторных ЛДПТ односторонней и двухсторонней конструкции с различными геометрическими формами магнитопровода якоря. В данной постановке задачи область расчета разбита на 40000 конечных элементов с 20120 расчетными узлами. Распределение магнитного потока для поля возбуждения (б), поля якоря (в) и поля при нагрузке (г) показано на рис. 2.

Основной задачей при проектировании индукторных ЛДПТ является определение электромагнитных сил, действующих на магнитопровод при перемещении. Для оценки адекватности разработанной двумерной математической модели на основе результатов полевых расчетов был проведен расчет максимального  $F_{\text{тmax}}$  и минимального  $F_{\text{тmin}}$  тягового усилия индукторного ЛДПТ через тензор натяжений в магнитном поле. При исследовании принималось, что число полюсов двигателя  $2p = 4$ , ширина активной части  $l_{\delta} = 40\text{мм}$ , воздушный зазор  $\delta = 2\text{мм}$ , ток якоря  $I_a = 3,4\text{А}$ , ток возбуждения  $I_b = 1\text{А}$ . Результаты расчетов и их сравнение с результатами эксперимента сведены в табл. 1.

Таблица 1

Величина	Расчет	Эксперимент	Погрешность, %
$F_{m \max}$ , Н	28,74	25,8	11,4
$F_{m \min}$ , Н	22,82	20,4	11,86

Из представленных в табл. 1 данных следует, что погрешность расчета тягового усилия находится в пределах 12%, что связано с невозможностью учета в предложенной двухмерной модели реального, трехмерного характера распределения магнитного поля в индукторном ЛДПТ. Следовательно, повышение адекватности математической модели и уточнение расчетного значения тягового усилия возможно на основе трехмерного моделирования магнитного поля с учетом насыщения. Решение задачи в трехмерной нелинейной постановке осуществим для индукторного ЛДПТ с теми же геометрическими размерами, обмоточными данными и электромагнитными нагрузками, что и при двухмерном моделировании. Результаты моделирования при числе расчетных узлов 2533865 представлены на рис. 3 в виде распределения: магнитной индукции в индукторном ЛДПТ (рис. 3,а); магнитной индукции в воздушном зазоре индукторного ЛДПТ при  $I_a = 0A$ ,  $I_b = 1A$  (рис. 3,б); магнитной индукции в воздушном зазоре индукторного ЛДПТ при  $I_a = 3,4A$ ,  $I_b = 0A$  (рис. 3,в); магнитной индукции в воздушном зазоре индукторного ЛДПТ при  $I_a = 3,4A$ ,  $I_b = 1A$  (рис. 3,г).

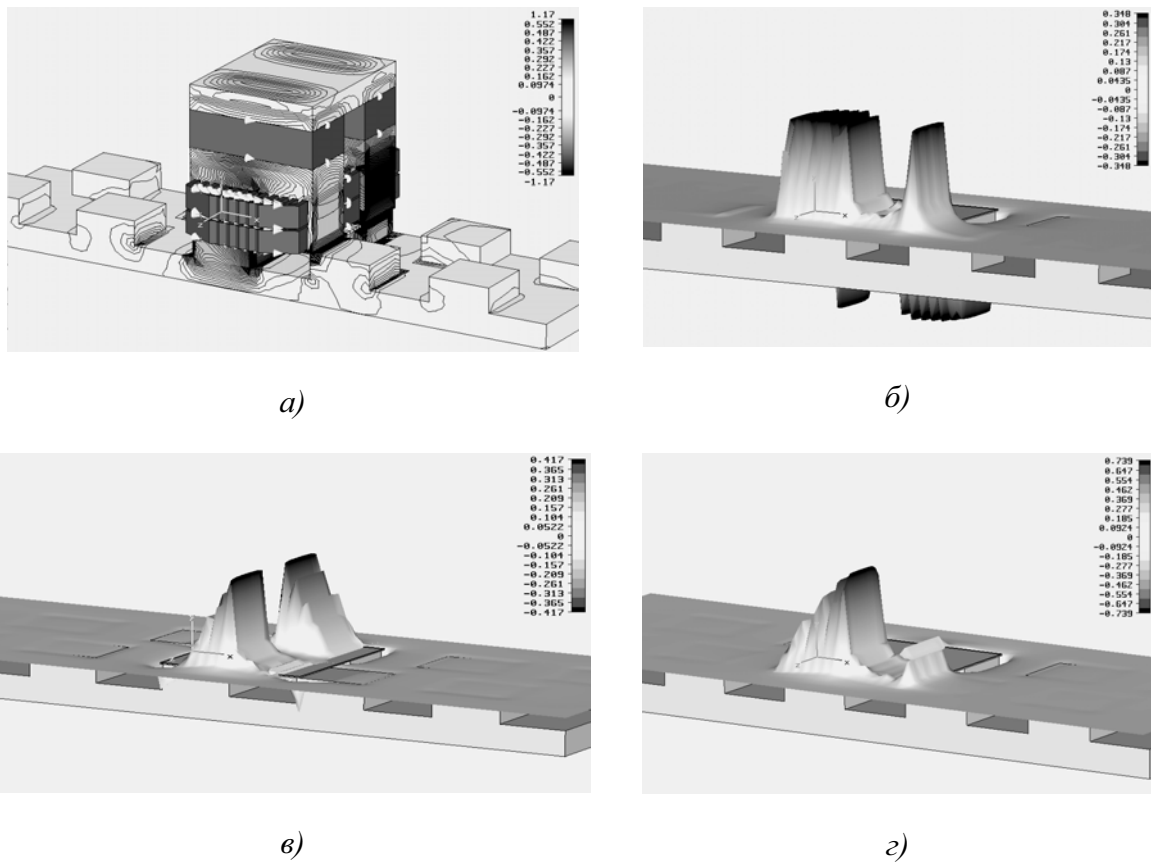


Рис. 3. Распределение трехмерного магнитного поля в индукторном ЛДПТ

Результаты расчета тягового усилия на основе трехмерной модели (3D) и сравнительный анализ с результатами двухмерного моделирования (2D) и экспериментом (Э) сведены в табл. 2.

Таблица 2

Величина	2D	3D	Э	Погрешность, %	
				2D – Э	3D – Э
$F_{m\max}, H$	28,74	27,6	25,8	11,4	7
$F_{m\min}, H$	22,82	21,9	20,4	11,86	7,3

Из данных табл. 2 следует, что решение трехмерной полевой задачи позволяет снизить погрешность в определении тягового усилия с 12% до 7% по сравнению с экспериментальными результатами. В то же время необходимость решения трехмерных задач в индукторных ЛДПТ должна быть строго обоснована с точки зрения ресурсных и временных затрат.

The main principles of the realization of the stage-by-stage approach to mathematical modeling of the inductor linear direct current motors are considered. The results of the modeling of distribution of a magnetic field and electromagnetic forces are present.

1. Мамалыга В.М. Практически важные задачи сбережения энергии, потребляемой машинами и механизмами с электроприводом, и принцип достаточности // Энергетика и электрификация. – 2000. - № 5. - С. 40-44.

2. Свечарник Д.В. Электрические машины непосредственного привода. – М., Энергоатомиздат, 1988. – 208 с.

3. Иванов-Смоленский А.В. Электрические машины. – М.: Энергия, 1980. – 928 с.

4. Терзян А.А., Рымша В.В. Оптимальное проектирование линейных индукторных двигателей постоянного тока // Изв. ВУЗов. Сер. Электромеханика. - 1988. - № 3. - С. 42-50.

5. Терзян А.А., Рымша В.В., Меркулов И.В. Магнитное поле и электромагнитные силы в линейных индукторных двигателях постоянного тока // Изв. ВУЗов. Сер. Электромеханика. – 1991. - № 4. – С. 21-26.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ, ПРОТЕКАЮЩИХ В СИСТЕМАХ ПОДАЧИ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДЫ В НЕШТАТНЫХ СИТУАЦИЯХ

Рябченко И.Н. , Свиридов С.А. , Белик Р.А.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными или практическими задачами.** При разработке автоматизированной системы управления потокораспределением в системах подачи и распределения воды (СПРВ) в нештатных ситуациях, огромное значение имеет процедура разработки корректной математической модели, адекватно отражающей физические процессы, протекающие в водораспределительной сети. Модель должна учитывать такие послеаварийные факторы как: возможность топологической трансформации графа сети, или управление запорной арматурой, или изменение режимов работы активных элементов сети (насосных станций), предотвращающих подачу воды в аварийную зону (участок водовода).

Эта проблема исследуется в рамках государственной программы «Координационный план научно-исследовательских работ Министерства образования и науки Украины», позиция 40: «Компьютеризированные информационно-графические технологии рациональной эксплуатации и развития инженерных сетей» и связана с практическими задачами производственных управлений водопроводно-канализационных хозяйств (ПУВКХ) Украины.

**Анализ достижений и публикаций по теме исследования данной проблемы. Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящена данная статья.** В настоящее время существуют теоретические и алгоритмические исследования проблемы топологических преобразований графа сети СПРВ, позволяющие локализовать аварийную зону и не допустить попадания в нее целевого продукта (воды). Однако, комплексных исследований, позволяющих создать строгую математическую модель аварийной ситуации, и формализовать оптимальную стратегию оперативного управления в этой ситуации на сегодняшний день не имеется. Этой проблеме посвящается эта статья.

**Формулировка целей статьи (постановка задания).** Целью данной публикации является разработка модели, адекватно отражающей физические процессы, протекающие в СПРВ при возникновении аварийной ситуации, с учетом топологических и управленческих преобразований как структуры сети, так и режимов функционирования.

**Изложение основного материала исследований.** При локализации аварии на водораспределительной сети необходимо отсечь аварийный водовод от системы подачи и распределения воды путем перекрытия запорной арматуры на водоводах, подающих воду в аварийную зону. Чтобы минимизировать потери, необходим выбор оптимального по ряду критериев решения, предполагающего оптимальный выбор множества задвижек, достаточного для локализации аварийного ребра графа водопроводной сети. Для решения такой задачи возникает необходимость в топологическом исследовании графа сети. Поскольку в результате возникновения аварийной ситуации и действий по ее локализации меняется потокораспределение в сети, на отдельных участках, примыкающих к аварийной зоне, возможно изменение направления движения воды. В принципе, такие изменения можно было бы рассчитать, решив прямую задачу анализа [1], однако, во-первых, она описывает потокораспределение без учета динамической реакции сети на изменение ее параметров, а во-вторых, требует затрат времени на проведение расчетов, ориентированных на текущие данные, что является нецелесообразным в ситуации дефицита времени. Поэтому более предпочтительным в такой ситуации является рассмотрение сети как неориентированного графа, а направления потоков учитывать на более поздних этапах при оценке возможных стратегий устранения аварии.

Терминология и основные понятия, используемые при дальнейшем изложении материала, приведены в [1]. В рассматриваемой задаче локализации существенную роль играет неоднородность множеств  $E$  и  $V$  ребер и вершин графа сети  $G$ . Именно,  $E = (E', E'')$ , где  $E'$  - множество всех ребер, не содержащих задвижек,  $E''$  - множество всех ребер, содержащих хотя бы одну задвижку, а  $V = (V', V'')$ , где  $V''$  - множество вершин, соответствующих активным элементам, а  $V' = V \setminus V''$ .

Пусть на ребре  $u$  графа  $G$  произошла авария, и задвижки на этом ребре отсутствуют, т. е.  $u \in E'$  [1].

Подграф  $G'$  графа  $G$  назовем локализирующим подграфом относительно ребра  $u$ , если он обладает следующими свойствами:

- а)  $G'$  содержит ребро  $u$ ;
- б)  $G'$  - связный подграф;
- в) любое ребро  $u'$  графа  $G$ , соединяющее вершину графа  $G'$  с вершиной  $G \setminus G'$  содержит задвижку, т. е.  $u' \in E''$ .

Тогда алгоритмом локализации аварии является алгоритм, перекрывающий задвижки на ребрах, соединяющих вершины  $G'$  и  $G \setminus G'$ .

Задачей топологической локализации аварии будем называть задачу построения локализирующего подграфа, отличного от исходного графа  $G$ .

Семейство всех локализирующих подграфов относительно ребра  $u$  обозначим  $\Gamma(u)$ . Очевидно, что оптимизация процедуры локализации аварии по какому-нибудь критерию производится на семействе  $\Gamma(u)$ . В частности, удовлетворение требования отключения минимального количества абонентов от сети соответствует выбору минимального элемента  $G'(u)$  семейства  $\Gamma(u)$ , т.е. такого, который содержится в любом локализирующем подграфе. Назовем такой элемент максимально локализирующим подграфом (или, для краткости, локализирующей компонентой - ЛК).

Справедлива следующая теорема. Ее доказательство приведено в [1].

**Теорема 1.** Если задача локализации не содержащего задвижек ребра  $u$  относительно графа  $G$  разрешима, то максимально локализирующий подграф существует и единственен.

Теперь рассмотрим случай, когда на аварийном ребре имеется только одна задвижка. Пусть задвижка находится около вершины  $v_1$  ребра  $u$ . В этом случае определение локализирующего подграфа видоизменяется следующим образом: свойство (в) заменяется свойством, формулируемым следующим образом:

- (в') любое ребро графа  $G$ , соединяющее вершину графа  $G' - v_1$  с вершиной  $G \setminus G'$ , содержит задвижку.

Алгоритмом локализации такой аварии является алгоритм, перекрывающий задвижки на ребрах, соединяющих вершины  $G' - v_1$  и  $G \setminus G' - v_1$ , а также на ребре  $u$ .

Для этой ситуации также справедлива теорема существования и единственности максимально локализирующего подграфа.

**Теорема 2.** Если задача локализации ребра  $u$  с одной задвижкой относительно графа  $G$  разрешима, то максимально локализирующий подграф существует и единственен. Доказательство в [1].

Случай аварии на ребре с двумя задвижками тривиален:  $G'(u) = \{u\}$ .

Задача локализации аварии водораспределительных сетей сводится к построению локализирующего подграфа относительно заданного ребра. Рассмотрим задачу построения максимально локализирующего подграфа.

Ребра  $u$  и  $w$  графа  $G$  будем называть эквивалентными, если их максимально локализирующие подграфы совпадают. Тем самым, задача максимальной локализации может быть решена построением разбиения множества всех ребер графа  $G$  на соответствующие классы эквивалентности.

Рассмотрим граф  $G' = (V, E')$ , все ребра которого не имеет задвижек. Он представляет собой совокупность связанных компонент, причем любые два ребра одной компоненты эквивалентны, а ребра из различных компонент эквивалентными не являются. Вершины ребра  $e \in E'$  будем причислять к той же компоненте, что и ребро  $e$ . Вершина, не вошедшая ни в одну из компонент, образует новую (одновершинную) компоненту.

Пусть ребро  $u = (v_1, v_2)$  исходного графа  $G$  имеет задвижку возле вершины  $v_1$ . Будем говорить, что  $u$  является присоединенным к компоненте  $K$ , если вершина  $v_2$  принадлежит этой компоненте. Любое такое ребро может быть присоединенным не более, чем к одной компоненте. Замыканием компоненты назовем ее объединение со всеми присоединенными к ней ребрами. В дальнейшем изложении будем оперировать только понятиями «замыканиями компонент» и для краткости будем их называть компонентами. Ребра принадлежащие  $E''$ , не присоединенные ни к какой компоненте, обязательно имеют две задвижки, и каждое такое ребро является собственным максимально локализирующим подграфом (безвершинной компонентой).

Таким образом, доказана следующая теорема.

**Теорема 3.** Существует и единственно разбиения графа сети на максимально локализирующие подграфы.

Отметим, что поскольку каждая вершина графа принадлежит некоторой локализирующей компоненте, то теорема 3 одновременно решает и задачу локализации аварии в узле сети.

Выделение компонент связности графа  $G'$  и анализ их влияния на функционирование всей сети производится с помощью модифицированного алгоритма поиска в глубину [1].

В процессе работы такого алгоритма должны быть определены: все локализирующие компоненты графа сети; для любой локализирующей компоненты определяется множество отсекающих ее ребер графа, содержащих задвижки; для любой локализирующей компоненты определяется ее фактор-связность; для любой компоненты определяется ее уровень значимости.

Если каждая компонента графа, полученного из исходного удалением локализирующей компоненты содержит активный источник, то будем считать что компонента фактор-связна.

Если удаление локализирующей компоненты приводит к корректному решению, то будем считать, что компонента обладает минимальным уровнем значимости, если решение - пограничное, то компонента обладает промежуточным уровнем значимости, и в случае тривиального решения компонента обладает максимальным уровнем значимости.

Кроме этого, анализ последствий отсечения локализирующей компоненты должен учитывать последствия этого отсечения на смежные компоненты и с учетом этой информации минимизировать множество удаляемых ребер графа (то есть минимизировать количество перекрываемых задвижек).

Для построения математической модели принятия решений в аварийной ситуации необходимо выполнение ряда этапов:

- выдвижение целей;
- поиск альтернативных способов их достижения;
- определение логики выбора альтернатив и обоснование механизма выбора;
- анализ полученного решения.

Определим преследуемые цели.

Целью решаемой задачи является устранение аварии на водораспределительной сети в кратчайшие сроки с минимальными потерями.

Способы достижения поставленной цели определяются, прежде всего, типом аварии, который сужает множество способов устранения аварии.

Достигнуть поставленной цели можно большим количеством способов, различающихся, как с технологической, так и с организационной точек зрения. В качестве основы для формирования множества допустимых решений, рассматриваемых как способы достижения

поставленной цели, используем множество всех возможных вариантов изменения параметров объекта, позволяющих обеспечить максимально допустимый расход в аварийной зоне.

Рассмотрим некоторые способы формирования подмножеств этого множества: автоматическое определение множества задвижек, полное перекрытие которых приведет к обезвреживанию аварийной зоны. Это множество формируется с использованием данных, полученных в процессе работы разработанного алгоритма построения максимально локализирующего подграфа, который позволяет для любого элемента сети однозначно определить указанное множество: задание альтернативного множества полностью перекрываемых задвижек экспертом, хорошо знающим особенности функционирования управляемого объекта; задание множества прикрываемых задвижек и степень их прикрытия, позволяющее обеспечить максимально допустимый расход в аварийной зоне; изменение режима работы насосной станции, использование резервного оборудования, позволяющие обеспечить максимально допустимый расход в аварийной зоне; формирование множества решений комбинированным способом, предполагающим какие-либо комбинации использования вышеизложенных подходов.

С технической точки зрения это множество охватывает наиболее распространенные способы аварийного регулирования параметров объекта.

С другой стороны, добавление всех возможных способов проведения аварийно-восстановительных работ с учетом текущего состояния технической базы, расширяет возможное количество стратегий, т. е. увеличивает множество решений задачи.

Укрупненная структура вектора-решения  $x$  может быть предложена следующая  $x = (x_1, x_2) \in \Pi \cup \Phi$ , где  $\Pi$  - множество регулируемых параметров сети, а  $\Phi$  - множество ресурсов для проведения аварийно-восстановительных работ, т. е.  $x_1 \in \Pi$ ,  $x_2 \in \Phi$ .

Ограничениями на множество возможных решений являются следующие требования: выбранные параметры функционирования объекта не должны привести к выходу за установленные рамки основных показателей функционирования объекта; наличие в аварийной зоне особо важных объектов, полное отключение от сети которых недопустимо, ограничивает множество возможных решений по локализации аварийной зоны.

Исходя из содержательной постановки задачи, можно сформировать следующие возможные критерии качества решения поставленной задачи:  $K_1(x)$  - затраты на проведение ремонтных работ;  $K_2(x)$  - потери воды, который можно представить как составной критерий, включающий в себя дополнительные подкритерии:  $K_{21}(x)$  - суммарные недоподачи воды потребителям;  $K_{22}(x)$  - процент отключенных крупных потребителей целевого продукта;  $K_3(x)$  - время на проведение ремонтных работ.

В случае необходимости задействовать задвижки, уменьшение количества используемых задвижек желательно с точки зрения уменьшения затрат на проведение ремонтных работ, т. е. это уже учтено в критерии  $K_1(x)$ , однако, необходимо учитывать при этом, что минимизация по этому множеству должна быть произведена не в урон качеству решения. Если при формировании множества закрываемых задвижек учитывать данные, полученные при формировании гиперкомпонент рассматриваемой сети, то затраты, связанные с закрытием задвижек будут минимизированы.

Таким образом, в качестве основы механизма выбора наилучшего решения можно рассматривать минимизацию выбранных критериев, отвечающих основным требованиям – полнота, операциональность, разложимость, избыточность, декомпозируемость, измеримость, минимальность.

Математическую формулировку задачи выбора лучшей стратегии в аварийной ситуации можно сформулировать в следующем виде.

Пусть дана сеть определенной конфигурации с заданными характеристиками ее элементов и определенным расположением запорно-регулирующей арматуры. Пусть также за-



дано состояние технической базы водопроводно-канализационного хозяйства и наличие трудовых ресурсов.

Пусть  $G$  - множество всех возможных способов устранения всех возможных аварий на данной сети, а  $X \subset G$  - предъявление.

Требуется найти  $x^* \in X$ , оптимальное по векторному критерию  $K$ , и принадлежащее множеству допустимых решений

$$X_{adm} = \{x \in X : Q_i(x) < l_i, i = 1, \dots, n; \quad (1)$$

$$P_k(x), k = 1, \dots, m\}, \quad (2)$$

где  $x = (x_1, x_2)$  – вектор регулируемых параметров задачи;

$K(x) = (K_1(x), K_2(x), K_{21}(x), K_{22}(x), K_3(x))$  - векторная функция, отражающая стоимостные и количественные характеристики выбранного решения;

$Q_i(x)$  – скалярные функции - технологические ограничения, налагаемые на решения задачи выбора наилучшего решения: ограничения на допустимые расход, понижение давления, снижение подачи целевого продукта потребителям и пр.;

$l_i$  – заданные константы;

$P_k(x)$  – формулы, описывающие ограничения, налагаемые на возможные решения, содержательного характера.

В такой постановке эта задача относится к задачам обобщенного математического программирования, решение которой в данном случае разбивается на два этапа. На первом этапе, используя заданную функцию выбора  $\{x_1, x_2, \dots, x_n\} = C(X) \subset X$ , производится оптимизация  $K(x)$  по бинарному отношению  $R$ . Затем ЛПР, оценивая вектора  $K(x_1), K(x_2), \dots, K(x_n)$  показателей эффективности (критериев качества  $K_1(x), K_2(x), K_{21}(x), K_{22}(x), K_3(x)$ ) альтернатив  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , выбирает из решений, удовлетворяющих условиям задачи, решение  $x^*$  с лучшим по предпочтению  $R_0$  (предпочтения ЛПР) вектора характеристик  $K(x)$ .

**Выводы исследования и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.** В статье теоретически исследована проблема топологической локализации аварийного участка, представляющей собой дугу неориентированного графа, описывающего схему соединений системы подачи и распределения воды. Доказана возможность, единственность и конечность топологических преобразований, приводящих к локализации аварийного участка сети. Показана возможность модификации алгоритма «поиска в глубину» для разбиения его на множество локализующих компонент.

Доказано, что такое разбиение дуг графа сети на множество локализующих компонент единственно и однозначно определено месторасположением запорной арматуры на сети.

Приведена корректная математическая модель принятия решений в аварийной ситуации в СПРВ, которая адекватно описывает физические процессы, протекающие в системах подачи и распределения воды в нештатных ситуациях. Эта математическая модель является основой для создания алгоритмического и программного инструментария. Приведенная модель может быть успешно адаптирована к другим объектам, которые описаны сетевыми структурами.

Model which reflect physical processes proceeding in water feed and distribution systems in emergency conditions with consideration of topological and managerial transformation of net structure and regimes of its functioning is proposed.

1. Рябченко И.Н. Моделирование процессов потокораспределения в системах подачи и распределения воды с использованием ПЭВМ.- Харьков: ДСВ Основа при Харьковском ун-те, 1998.- 188с.

## ПОВЫШЕНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДИАГНОСТИКИ НА ОСНОВЕ ПСЕВДОЭЛЛИПСОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИМПУЛЬСНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК

Ахметшин А.М., Степаненко А.А.

**Постановка проблемы.** Ультразвуковая медицинская диагностика широко распространена из-за её относительной физиологической безопасности и удобства практического использования [1]. При этом, практически повсеместно, используются лишь некогерентно-импульсные измерительные системы, ориентированные на использование амплитудных информативных характеристик, что обусловлено, в первую очередь, технической целесообразностью из-за их относительной простоты. Вместе с тем, наблюдается тенденция к внедрению когерентно-импульсной ультразвуковой диагностики (КИУД), позволяющая одновременно измерять как амплитудно-временные, так и фазо-временные характеристики. С принципиальной точки зрения понятно, что использование дополнительных информативных характеристик должно, в какой-либо степени, повысить возможности ультразвуковой диагностики. Однако однозначного ответа о целесообразности практического использования КИУД, в техническом отношении намного более сложной по сравнению некогерентной диагностикой, нет до настоящего времени из-за неопределенности их информативных возможностей в ультразвуковой диагностике.

**Анализ последних достижений.** Основные исследования в области КИУД были связаны с анализом временной разрешающей способности [2], возможностями использования спектрально-временных представлений на основе преобразования Вигнера-Вилля и фазо-временных отображений [3]. Однако, как это будет показано ниже, эти характеристики не обеспечивают требуемой степени чувствительности, достоверности и стабильности результатов КИУД.

**Постановка задачи.** Целью работы является демонстрация возможности повышения чувствительности метода КИУД на основе компьютерного синтеза новых информативных характеристик.

**Основная часть.** Наиболее распространенной и общепринятой моделью биофизической структуры, является модель слоистой среды. В качестве зондирующего сигнала  $s(t)$  рассматривается полосовой импульс, несущая частота которого определяется резонансной частотой используемого пьезопреобразователя. Поэтому импульсную характеристику биоструктуры  $h(t)$  в произвольной точке поверхности можно представить в виде

$$h(t) = s(t) \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{\infty} r_{nm} \delta(t - t_n - t_m), \quad (1)$$

где  $r_{nm}$  – коэффициент Френеля границы раздела  $n$ -го и  $m$ -го слоев;  $N$  – количество слоев структуры;  $t_n$  – временная задержка соответствующая физической последовательности слоев;  $t_m$  – задержки соответствующие переотражениям зондирующего импульса внутри слоев. Поскольку сигнал  $s(t)$  полосовой и переотраженные внутри слоев импульсы образуют (как показывает практический опыт) весьма плотную суперпозицию, то выражение (1) можно представить в эквивалентном представлении вида

$$h(t) = a(t) \cos[2\pi f_c t + \vartheta(t)], \quad (2)$$

где  $f_c$  – аналог несущей (резонансной) частоты;  $a(t)$  амплитудно-временная характеристика (оггибающая);  $\vartheta(t)$  – фазовременная-характеристика. Таким образом, в рамках модели (2), импульсная характеристика  $h(t)$  рассматривается как полосовой амплитудно-

амплитудно–фазо-модулированный сигнал. Именно в рамках модели (2) и оказывается возможным введение понятия "комплексного сигнала"

$$z(t) = u(t)\exp[j2\pi f_c t], \quad (3)$$

связанного с действительной импульсной характеристикой  $h(t)$  соотношением  $z(t) = \text{Re}\{z(t)\}$ . В выражении (3) функция  $\exp(j2\pi f_c t)$  рассматривается как комплексная несущая частота, а  $u(t)$  является комплексным модулирующим параметром или "аналитическим сигналом" [4] или аналитической импульсной характеристикой (АИХ)

$$u(t) = u_r(t) + ju_i(t) = a(t) \cos \vartheta(t) + ja(t) \sin \vartheta(t). \quad (4)$$

Составляющие  $u_r(t)$  и  $u_i(t)$  называются "квадратурными компонентами" и информационные характеристики аналитической импульсной характеристики можно выразить через эти компоненты как

$$a(t) = \sqrt{u_r^2 + u_i^2}; \quad \vartheta(t) = \arctg[u_i(t)/u_r(t)]. \quad (5)$$

Модуль аналитического сигнала  $a(t)$  это огибающая действительного полосового сигнала, выделяемая в виде низкочастотного колебания на выходе амплитудного детектора в некогерентных ультразвуковых диагностических системах. Фазовая характеристика  $\vartheta(t)$  аналитического сигнала совпадает с фазой действительного сигнала и, в техническом отношении, реализуется как выходной сигнал фазового детектора работающего на частоте  $f_c$ , что и реализуется в системах КИУД.

Поскольку фазовая характеристика  $\vartheta(t)$  определена только в пределах ее главного значения  $[-\pi \div \pi]$ , т.е. является разрывной, то часто используется частотно–временная характеристика  $f_c(t)$ , вычисляемая на основе выражения

$$f_c(t) = \frac{1}{2\pi} \frac{d\vartheta_{un}(t)}{dt}, \quad (6)$$

где  $\vartheta_{un}(t)$  – "развернутая" фазо–временная характеристика, не имеющая разрывов.

На рис.1а, б представлены КИУД эхо–импульсные изображения участка аорты для квадратурных компонент  $u_r(t)$  и  $u_i(t)$  соответственно, а на рис.1в, г – амплитудно–временная  $a(t)$  и фазо–временная  $\vartheta(t)$  характеристики для реальной квадратурной компоненты  $u_r(t)$ . При непосредственном визуальном анализе представленных результатов можно сделать следующие выводы.

1) Визуальный анализ квадратурных компонент  $u_r(t)$  и  $u_i(t)$  не дает каких–либо преимуществ по сравнению с анализом амплитудно–временной характеристики  $a(t)$  поскольку последняя является более чувствительной с точки зрения психофизиологического восприятия изображения. В этом смысле неизмеримо более широкое распространение некогерентной ультразвуковой диагностики по сравнению с КИУД, представляется оправданным.

2) Непосредственный визуальный анализ фазо–временной характеристики  $\vartheta(t)$  ничего не дает с практической точки зрения, из–за влияния многочисленных разрывов в зависимости  $\vartheta(t)$  на границах  $-\pi$  и  $+\pi$ . Здесь необходимо отметить, что синтез характеристики  $f_c(t)$  (рис.1д) так же не дал позитивных результатов.

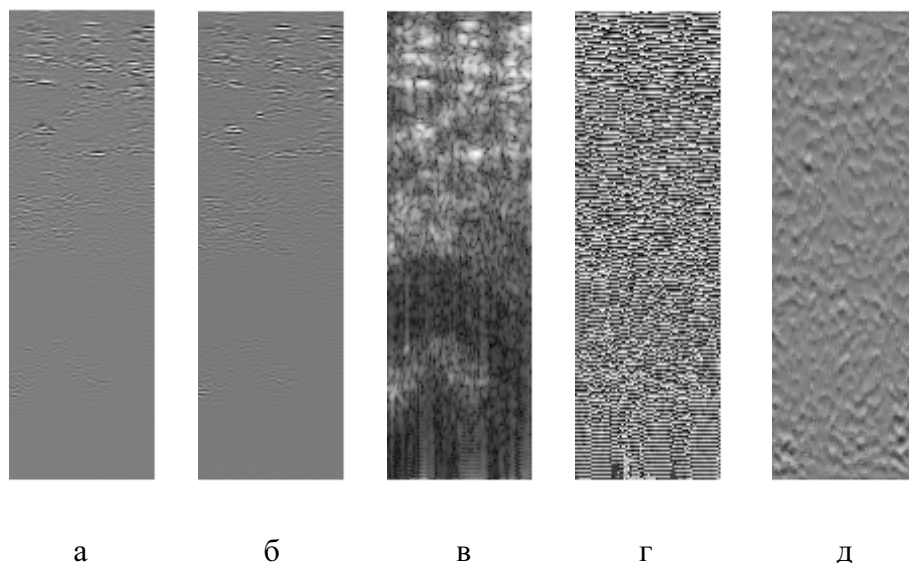


Рис.1. Характеристики КИУД участка аорты

3) Единственным преимуществом КИУД по сравнению с  $a(t)$  (в рамках анализа рис.1) является лишь более высокая (приблизительно, двукратная) временная разрешающая способность.

Последнее наглядно вытекает из рассмотрения графиков срезов 20–го столбца изображений  $u_T(t)$  и  $a(t)$  на рис.2 (это так же легко показать и теоретически).

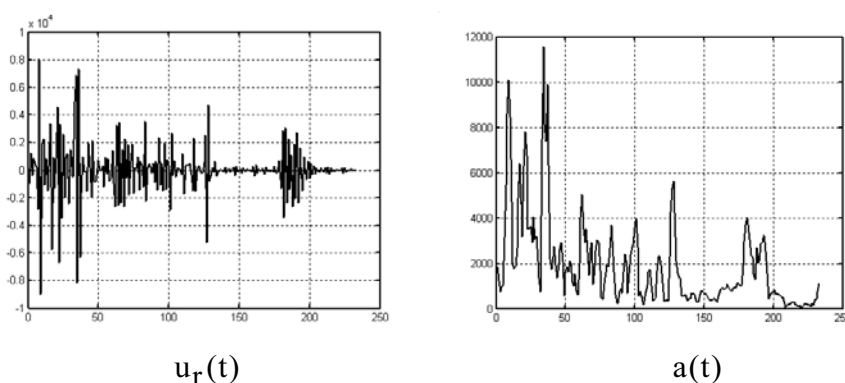


Рис.2. Амплитудные срезы 20–ых столбцов изображений  $u_T(t)$  и  $a(t)$  на рис.1

Вместе с тем, как это следует из рассмотрения рис.1в, на ультразвуковом изображении присутствуют значительные затемненные участки, соответствующие небольшим амплитудам эхо–импульсных отражений, что непосредственно свидетельствует о необходимости повышения чувствительности анализа.

Может показаться, что представленные экспериментальные результаты свидетельствуют о бесперспективности практического использования КИУД. Однако здесь необходимо отметить, что, как это хорошо известно, наиболее чувствительными (хотя и наиболее сложными) являются фазовые измерения. Поэтому тот факт, что "прямая атака" не дала результатов, еще не свидетельствует о "полном поражении", а говорит лишь о необходимости поиска новых подходов к решению задачи повышения чувствительности КИУД на основе использования фазовых характеристик.

В этой связи, как нам это представляется, весьма перспективным является проведение аналогии между КИУД и методами эллипсометрии [5]. В эллипсометрии (очень чувствительном методе) измерения модуля и фазы коэффициентов отражения производятся

на двух ортогональных поляризациях. В ультразвуковой диагностике физические поляризационные измерения невозможны, но тот факт, что в рамках КИУД измеряются две ортогональные компоненты, позволяет провести формальную аналогию с реальной эллипсометрией, что и обусловило введение термина "псевдоэллипсометрия" в заглавии статьи.

Тогда азимутальный угол  $\theta$  и угол эллиптичности  $\varepsilon$  АИХ в каждый момент времени можно определить на основе использования выражений

$$\operatorname{tg} 2\theta(t) = \frac{2u_r(t)}{1 - |u(t)|^2} ; \quad \sin 2\varepsilon(t) = \frac{2u_i(t)}{1 + |u(t)|^2} . \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет определить псевдоэллипсометрические координаты через декартовую комплексную аналитическую импульсную характеристику. Выражения (7) совпадают с известными уравнениями оптической эллипсометрии, однако это совпадение является чисто формальным, поскольку физический смысл исходных параметров здесь совершенно иной.

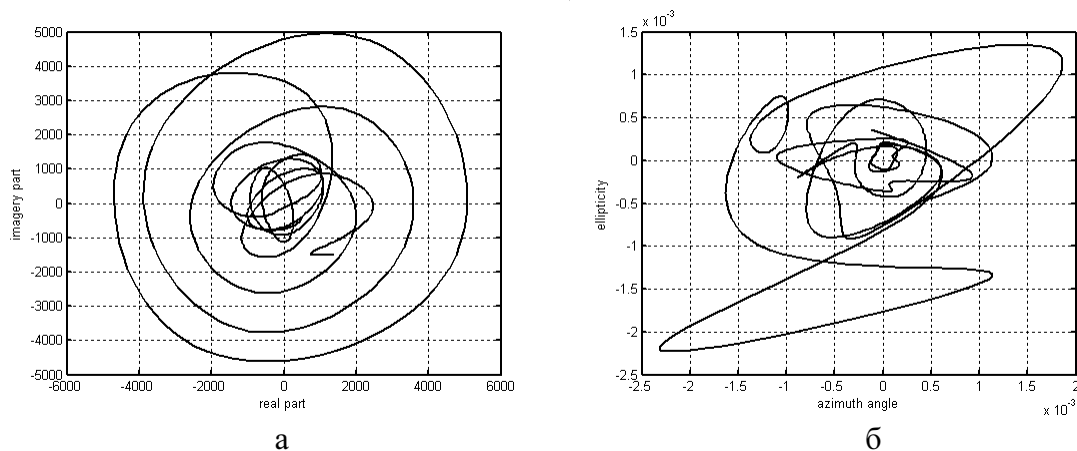


Рис.3. Изображение первых сорока точек АИХ в фазовой системе координат (использована сплайн-аппроксимация): а –  $(u_r \div u_i)$ ; б –  $(\theta \div \varepsilon)$

То, что подобный эллипсометрический подход не лишен практического смысла, следует из рассмотрения рис.3а. где АИХ вполне допускает эллипсометрическую аппроксимацию. Динамика АИХ в плоскости псевдоэллипсометрических параметров (рис.3б) отражает их существенно нелинейный характер, что и открывает возможность повышения чувствительности КИУД (рис.4).

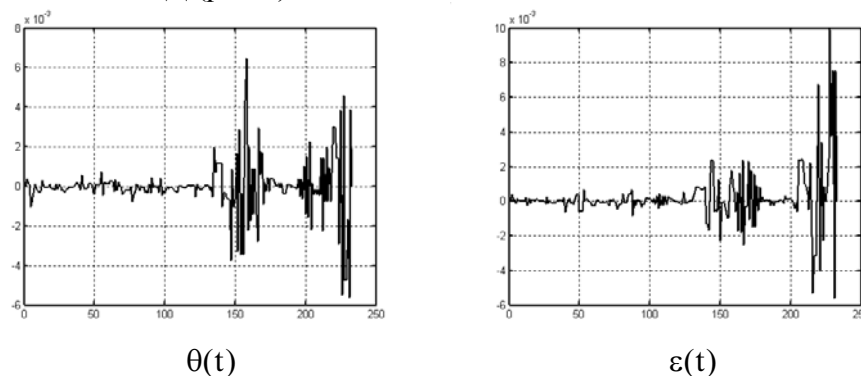
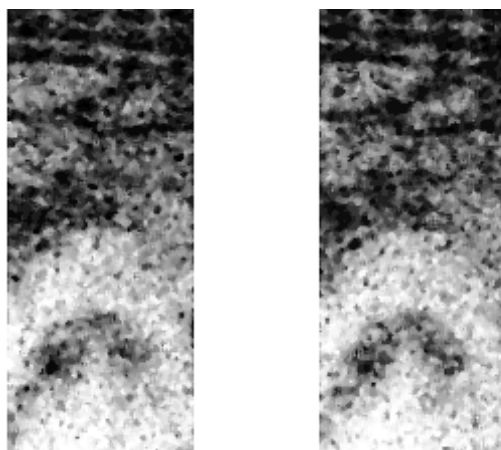


Рис.4. Эллипсометрические срезы 20-го столбца новых изображений на рис.5

Последнее следует и из рассмотрения синтезированных эллипсометрических изображений на рис.5. При их сопоставлении с рис.1в видно, что наибольшая детализация происходит как раз в затемненной области амплитудно временной характеристики  $a(t)$ , что непосредственно указывает на повышение чувствительности КИУД. Более того, и в верхней области анализируемого изображения, где амплитуда зондирующего сигнала достато-

чно велика, появились дополнительные детали, неразличимые в исходных изображениях на рис.1.



$\theta(t)$

$\varepsilon(t)$

Рис.5 Синтезированные изображения

Вопрос о соотношении возможностей зависимостей  $\theta(t)$  и  $\varepsilon(t)$  с точки зрения практической диагностики, в настоящее время находится в стадии дальнейшего рассмотрения, хотя их сильная корреляция и представляется достаточно очевидной.

**Выводы.** 1. На основании проведенного теоретического рассмотрения и результатов проведенных экспериментов можно заключить, что отображение результатов в псевдоэллипсометрической системе координат позволяет повысить чувствительность метода КИУД.

2. Описанный метод анализа данных КИУД является принципиально новым и обладающий значительным потенциалом дальнейшего развития.

Information possibilities of a new method of ultrasound medical image analysis are considered. Experimental results of the method testing are presented.

1. Применение ультразвука в медицине. / Под ред К. Хилла. – М.: Мир, 1989.
2. Chen C.H., Sin S. On effective spectrum-based ultrasonic deconvolution techniques for hidden flaw characterization.// J. Acoust. Soc. Amer. – 1990. - Vol.87. - P.976–987.
3. Unser M., Aldroubi A. A review of wavelets in biomedical applications.// Proc. IEEE. - 1996. - Vol.84. - P.626–638.
4. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высшая школа, 1988.
5. Аззам Р., Башара Н. Эллипсометрия и поляризованный свет. – М.: Мир, 1981.

## МЕХАНІЗМ ВИВЕДЕННЯ В СИСТЕМАХ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ КЕРІВНИКА ЛІКВІДАЦІЇ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ ПРИ НЕЧІТКИХ ВХІДНИХ ДАНИХ

Юхимчук С.В., Шаригін О.А.

**Постановка проблеми.** Складність обстановки, яка утворюється в результаті аварій, що пов'язані з надзвичайними ситуаціями, вимагає від оперативних груп ліквідації таких ситуацій прийняття рішень, які передбачають [1]:

- оцінку обстановки;
- визначення загрози від розвитку ситуації;
- визначення сил та засобів для ліквідації наслідків надзвичайної ситуації.

Рішення повинно бути прийнятим за мінімальний час, оскільки надзвичайні ситуації часто приносять значні економічні збитки і людські втрати [1,2].

Останні дослідження демонструють, що при прийнятті рішення підготовленою людиною в позаштатній ситуації більшість часу витрачається на обробку інформації та формування первинних гіпотез про можливі шляхи усунення таких ситуацій [3]. Це доводить необхідність автоматизації процесу прийняття рішень.

Розв'язати такі задачі можна тільки за допомогою систем підтримки прийняття рішень (СППР) керівника ліквідації надзвичайних ситуацій. Створення таких систем є актуальним, оскільки вони автоматизують частину робіт персоналу.

В загальному вигляді на вхід системи подається певний набір параметрів оточуючого середовища, і система повинна видати одне або певний набір значень інших параметрів, які необхідні для вироблення рекомендації керівнику ліквідації надзвичайної ситуації.

**Аналіз досягнень і публікацій за темою дослідження даної проблеми.** Якщо розглянути стандартну систему нечіткого виведення, що базується на продукціях, то слід відмітити, що вона припускає те, що на вхід таких систем надходять значення чітко виміряних певним чином параметрів [4].

Але не завжди можна точно визначити значення певного параметра. В деяких випадках інформація визначається інтуїтивно або взагалі невідома. Існують також ситуації, коли на точне визначення певного параметра може бути витрачено велику кількість часу, що неприпустимо в системах такого роду [5]. Отже, слід пристосувати систему для ситуацій такого роду.

**Постановка завдання.** З вищевикладеного видно, що постає задача доопрацювання стандартного механізму нечіткого виведення, який базується на продукційних правилах, таким чином, щоб він міг адекватно сприймати і обробляти неповні або нечіткі відповіді керівника ліквідації надзвичайної ситуації.

**Викладення основного матеріалу.** Найчастіше СППР складається з трьох частин:

- 1) бази знань, яка містить правила-продукції;
- 2) набору вхідних даних;
- 3) механізму нечіткого виведення.

Розглянемо кожну частину окремо.

Продукційні правила в базі знань СППР найчастіше представляються у вигляді [4,6,7]:

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle: \text{ЯКЩО } " \beta_1 \epsilon \alpha " \text{ І } " \beta_2 \epsilon \alpha " \text{ ТО } " \beta_3 \epsilon \nu " \quad (1)$$

або

$$\text{ПРАВИЛО } \langle \# \rangle: \text{ЯКЩО } " \beta_1 \epsilon \alpha " \text{ АБО } " \beta_2 \epsilon \alpha " \text{ ТО } " \beta_3 \epsilon \nu ". \quad (2)$$

Фактично умова кожної продукції представляється комбінацією нечітких лінгвістичних висловлювань. Консеквент правила також є нечітким лінгвістичним висловлюванням.

Прикладом такого правила може бути наступне: “ЯКЩО швидкість витікання небезпечних речовин велика І в сусідньому вагоні є пожежа, ТО необхідно евакуювати людей на безпечну відстань”.

Функції належності для кожного лінгвістичного висловлювання отримуються за допомогою експерта.

На практиці бувають також випадки, коли слід використовувати чіткі лінгвістичні висловлювання, в такому випадку зміниться вигляд функції належності. Це можуть бути висловлювання типу “значення параметра більш (або менше), ніж певна гранична величина”. Наприклад, для лінгвістичного висловлювання “швидкість повітря більше 5 м/с” функція належності прийме наступний вигляд:

$$f(V) = \begin{cases} 1, \text{ якщо } V \geq V_{\text{lim}}, \\ 0, \text{ якщо } V < V_{\text{lim}}. \end{cases} \quad (3)$$

Коротко розглянемо ще одну складову СППР. Існує два типи вхідних даних, які можуть поступити в систему від керівника ліквідації надзвичайних ситуацій. Якщо керівник знає значення параметра, то він вводить точне число. В протилежному випадку він може лише приблизно здогадуватись або взагалі його не знати. Необхідно пристосувати систему і для таких ситуацій. Керівник може оцінити значення параметра, користуючись такими категоріями, як “великий”, “дуже малий”, але те, що він вкладає в ці поняття в більшості випадків відрізняється від того, що має на увазі експерт, використовуючи ці вирази. Формально кажучи, у таких лінгвістичних висловлювань будуть різними функції належності. Тому необхідно попередньо визначити функції належності кожного параметра, використовуючи пси-фактори оператора.

Механізм нечіткого виведення передбачає виконання таких етапів [4]:

- 1) фазифікація;
- 2) агрегування;
- 3) активізація;
- 4) акумуляція;
- 5) дефазифікація.

Пристосуємо цей механізм, до задачі, що розглядається і детально опишемо кожен з кроків.

#### 1. Фазифікація.

На цьому етапі ми встановлюємо відповідність між значенням вхідної величини і значенням функції належності відповідного їй терма вхідної лінгвістичної змінної.

Якщо оператор ввів чіткі дані (точне значення параметра), то слід просто підставити це значення в вираз функції належності.

В цьому випадку ми отримуємо значення коефіцієнту  $b_i$ .

На відміну від відомих підходів [4] в механізмі, що пропонується у випадку, коли оператор ввів нечіткі дані, то  $b_i$  приймаємо рівним 1 (у випадку співпадання лінгвістичних висловлювань).

#### 2. Агрегування.

На цьому етапі визначається ступінь істинності для кожного з правил.

Якщо ліва частина правила складається з однієї умови, то ступінь його істинності дорівнює відповідному значенню  $b_i'$ ,

Якщо в лівій частині правила декілька умов, то слід виконати операцію нечіткої кон'юнкції (або диз'юнкції).

#### 3. Активізація.



В цьому етапі знаходиться ступінь істинності кожного з висновків правил нечітких продукцій. Такі значення утворюють множину  $C = \{c_1, c_2, \dots, c_q\}$ .

Для кожного правила існує ваговий коефіцієнт  $F_i$  (якщо такий коефіцієнт не задано, його значення приймається рівним 1).

Знаходимо значення параметрів  $c_i$ :

$$c_i = F_i \cdot b_i. \quad (4)$$

Після цього знаходяться функції належності кожного з висновків для вихідних лінгвістичних змінних, що розглядаються, за правилом *min*-активації:

$$\mu'(y) = \min\{c_j, \mu(y)\}, \quad (5)$$

де  $\mu(y)$  - функція належності терма, який є значенням певної вихідної змінної  $\omega_j$ , що задана на універсумі  $Y$ .

На відміну від підходів, що запропоновані в [4], даний етап слід доопрацювати для можливості адекватної роботи механізму виведення при нечітких відповідях оператора.

У випадку чіткої відповіді оператора будемо використовувати функцію належності з урахування пси-факторів експерта, у випадку нечіткої відповіді - функцію належності з урахування пси-факторів оператора.

Таким чином, перед тим, як керівник буде працювати з системою на етапі прийняття рішень, попередньо необхідно визначити функції належності для всіх лінгвістичних змінних з урахуванням пси-факторів керівника ліквідації надзвичайної ситуації.

#### 4. Акумуляція.

Акумуляція являє собою процес знаходження функції належності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних множини  $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$ .

Розглядається у випадку, коли в правих частинах правил розглядається одна й та ж змінна.

В цьому випадку виконується об'єднання нечітких множин.

#### 5. Дефазифікація.

Цей етап проводиться з метою визначення звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних змінних множини  $W = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s\}$ .

Дефазифікацію виконаємо методом центру тяжінь [4]:

$$y = \frac{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} x \cdot \mu(x) dx}{\int_{\text{Min}}^{\text{Max}} \mu(x) dx}, \quad (6)$$

де  $y$  – результат дефазифікації,

$x$  – змінна, що відповідає вихідній лінгвістичній змінній  $\omega$ ,

$\mu(x)$  – функція належності нечіткої множини, що відповідає вихідній змінній  $\omega$  після етапа акумуляції,

$\text{Min}$  і  $\text{Max}$  – ліва і права точки інтервалу носія нечіткої множини вихідної змінної  $\omega$ .

В результаті виконання такої процедури для кожного з вихідних параметрів отримуємо набір чітких значень вихідних параметрів.

**Висновки.** В роботі доопрацьовано стандартний механізм нечіткого виведення таким чином, що він може адекватно сприймати і обробляти неповні або нечіткі відповіді оператора.

Впровадження цього механізму дозволяє системі підтримки прийняття рішень формувати рекомендації керівнику ліквідації надзвичайних ситуацій навіть у випадках неповних та нечітких вхідних даних.

Зміни в стандартний механізм потребують попередньої роботи з системою керівника ліквідації надзвичайних ситуацій для врахування його пси-факторів.

Результати, що отримані, планується використати при розв'язку задачі оцінки чутливості механізму виведення до неточності у відповідях оператору відповідних СППР.

Standart fuzzy inference engine is expanded. New inference engine can adequately process incomplete or careless answers of operator. Decision support system, which are use such inference engine, can form recommendations for the extreme situations liquidation leader in cases of incomplete or careless input data.

1. Юхимчук С.В., Кацман М.Д. Визначення імовірностної оцінки дій підрозділів пожежної охорони при ліквідації надзвичайної ситуації на декількох об'єктах залізничного транспорту. //Системні технології. – 2004. – № 5(34). – С. 95-110.
2. Джексон П. Введение в экспертные системы. – М.: Вильямс, 2001. – 624 с.
3. Горохівський В.П., Лисенко О.І., Перегуда О.М. Система підтримки прийняття рішень при ідентифікації позаштатних ситуацій на борту космічного апарату. //Вісник Житомирського інженерно-технологічного інституту.- 2001. – № 16. – С. 112-117.
4. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.
5. Юхимчук С.В., Шаригін О.А. Алгоритм пошуку рішень в базі знань про-дукційного типу. //Вісник ВПІ. – 2003. – № 6 – С.350-356.
6. Частиков А.П., Гаврилова Т.А., Белов Д.Л. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 608 с.
7. Девятков В.В. Системы искусственного интеллекта: Учеб. пособие для вузов.- М.: Изд-во МГТУ им. Н.Е. Баумана, 2001.- 352 с.

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 531.639

ИНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИЙ ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС  
КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНИХ МАШИН

Борковська Л.О.

**Вступ**

На сучасному етапі розвитку автоматизації вимірювання геометричних розмірів об'єктів вперше за її історію співпали методи, структури і технічні засоби систем управління: мікропроцесорні засоби і ПЕОМ, об'єднані в інтегровані інтелектуальні системи на основі мереж різного рівня та призначення. Координатно-вимірювальні машини (КВМ) разом із системою її управління забезпечують визначення координат всіх точок поверхонь деталей в просторі вимірювання та дозволяють визначити метрологічні параметри відхилення від форми та розташування поверхонь деталей особливо складної конфігурації за допомогою математичних розрахунків з використанням векторної, лінійної алгебри та інших обчислювальних методів. Тому КВМ повинні бути оснащені системою спеціальних програм по виконанню алгоритмів необхідних розрахунків координатних вимірювань, управління роботою машини та інших сервісних функцій. Ця система програм складає програмно-математичне забезпечення (ПМЗ), що включає підсистеми різного функціонального призначення. Програми вимірювань на КВМ можуть розроблятися різними методами в залежності від складу і способу представлення даних про вимірювальний об'єкт та умови виконання вимірювань. Певні успіхи досягнуті у використанні гнучкого, ефективного, неперервного керування складними вимірювальними процесами з подальшим впровадженням інтегрованих інформаційних технологій, інтелектуальних підсистем підтримки прийняття рішення в умовах невизначеності, методів самонавчання на основі використання відкритих баз даних та знань.

**Аналіз останніх публікацій** [1,2] по розробці та впровадженню програмно - математичного забезпечення показав, що для вимірювання об'єктів зі складною просторовою поверхнею використовуються проблемно-орієнтовані системи програмування, аналогічні програмам для станків з ЧПК. Виконана на відповідній мові процесора програма вимірювання представляється на проміжній мові, на якій вона може відповідним постпроцесором переведена на мову безпосереднього програмування відповідної КВМ. Значне число теоретичних робіт [3, 4] присвячено проблемі створення ПМЗ для різних типів КВМ, що робить створення програмних компонент інформаційно-керуючої системи вимірювання об'єктів і тематичних баз і банків даних актуальними.

Слід відмітити, що на етапі інтелектуалізації більш широке впровадження отримали системи безпосереднього керування КВМ, що забезпечують максимальну швидкодію, діалоговий режим обміну інформацією. Автономні системи дозволяють підготувати програми вимірювань без використання КВМ по кресленням деталей.

Важливою характеристикою системи ПМЗ координатно-вимірювальних машин є їх метрологічні можливості по вимірюванню геометричних розмірів деталей, що включає множину самостійних програм вимірювання окремих геометричних елементів з фіксованими комбінаціями елементарних поверхонь. Створення КВМ, призначених для вимірювання об'єктів із складною просторовою поверхню (лопатки турбін, шестерні, корпусні деталі та ін.), передбачає програмне управління такою системою. Це обумовлює можливість виникнення ситуацій, які не можуть бути визначені завчасно. В таких ситуаціях необхідно, щоб система управління КВМ правильно прийняла рішення та оперативно керувала складною системою. Тому необхідно передбачити можливість успішної роботи всіх підсистем комплексу.

Особливість КВМ полягає в тому, що вона володіє розвинутою сенсорикою та засобами штучного інтелекту. Здібна до автоматичного вимірювання в рамках поставлених вимірювальних задач. В процесі роботи можливий обмін інформацією та узгоджена дія між підсистемами на різних рівнях діяльності.

На основі вищесказаного створені комп'ютерні системи нового покоління для високоточного контролю геометрії виробів складної форми з гнучким та швидким переходом на різні типи розмірів відхилення від форми та розташування поверхонь. Висока точність та швидкодія вимірювань дозволяють забезпечити стовідсотковий контроль виробів з реєстрацією результатів в пам'яті комп'ютера. В залежності від призначення, обладнання КВМ та типів ПЕОМ існує велика кількість різних систем програмування, а найбільш поширеними є програмне забезпечення PowerShape, PowerInspect фірми Delcam, CATIA Version 5 Release 9.

Функціональна схема процесу виконання вимірювань геометричних розмірів на координатно-вимірювальних машинах в автоматичному режимі вимагає незалежності керуючо-обчислювальних програм від типу операційної системи та виконання робіт по уніфікації її апаратної частини. Система реєстрації даних всіх вимірювальних підсистем використовує режим реального часу.

На протязі останніх років розроблені нові методики і необхідні програми повної математичної обробки результатів вимірювань.

#### **Постановка задачі**

Розробити апаратно-програмний керуючий комплекс, оснащений системою програм по виконанню алгоритмів необхідних розрахунків координатних вимірювань, управління роботою КВМ та інших сервісних функцій, діагностування системи, підготовки допоміжних підсистем.

#### **Розв'язання задачі**

На сьогодні вимірювальний процес складних просторових об'єктів є достатньо організованим, проте його проходження, ефективність, точність, швидкодія дуже залежать від зовнішніх та внутрішніх дестабілізуючих впливів, в першу чергу від температури та вібрації.

Методи програмування для КВМ аналогічні методам, що використовуються для станків з ЧПК.

Сучасний стан розробки програмно – математичного забезпечення для КВМ характеризується активним впровадженням фізичних і математичних методів, їх аналізу та інженерної багатопараметричної оптимізації, розвитком математичних моделей і елементами САПР. При цьому процес вимірювання складних просторових поверхонь проводиться на швидкісних ПЕОМ з використанням сучасних інформаційних технологій. Класифікаційна схема сучасних систем ПМЗ КВМ представлена на рис. 1.

Задача розробки апаратно-програмного комплексу для КВМ пов'язана із створенням програмних компонент для проведення процесу вимірювання в складі гнучких виробничих систем зміни основних параметрів (температури, вологості, вібрації). Така система повинна відповідати наступним вимогам :

- виконувати велике число обчислювальних операцій;
- підтримувати достатньо об'ємну базу даних по вимірювальним об'єктам, діагностичним параметрам;
- бути відкритою для подальшого розвитку і модифікації, змінювати та використовувати інші типи датчиків з різною конфігурацією вимірювальних наконечників, що можливо при об'єктно-орієнтованому підході;
- отримувати результати вимірювань в реальному часі;
- генерація енциклопедичних банків даних по достатньо великій кількості об'єктів.

Об'єктивними передумовами для створення і функціонування інтегрованої системи управління КВМ є розроблена функціональна структура програмного комплексу, що

дозволяє вирішувати комплекс задач вимірювання геометричних розмірів об'єктів та інтелектуального програмного управління на рівні, що забезпечують високоточні вимірювання

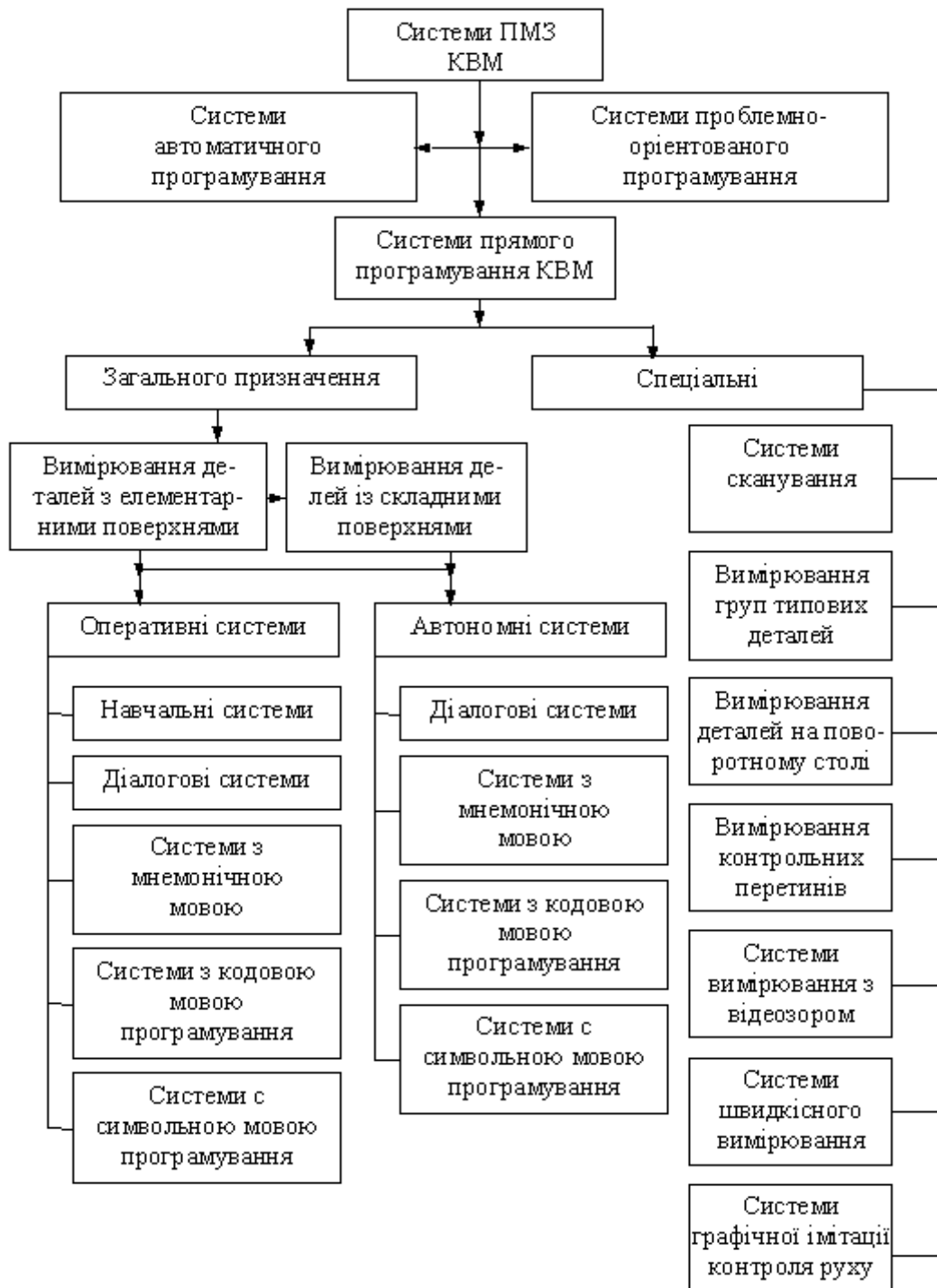


Рис. 1. Класифікаційна схема сучасних систем ПМЗ КВМ

У відповідності з прийнятим об'єктно-орієнтованим підходом розроблена структура інформаційно-керуючої системи в трьох ієрархічних рівнях, що представлена на рис. 2.

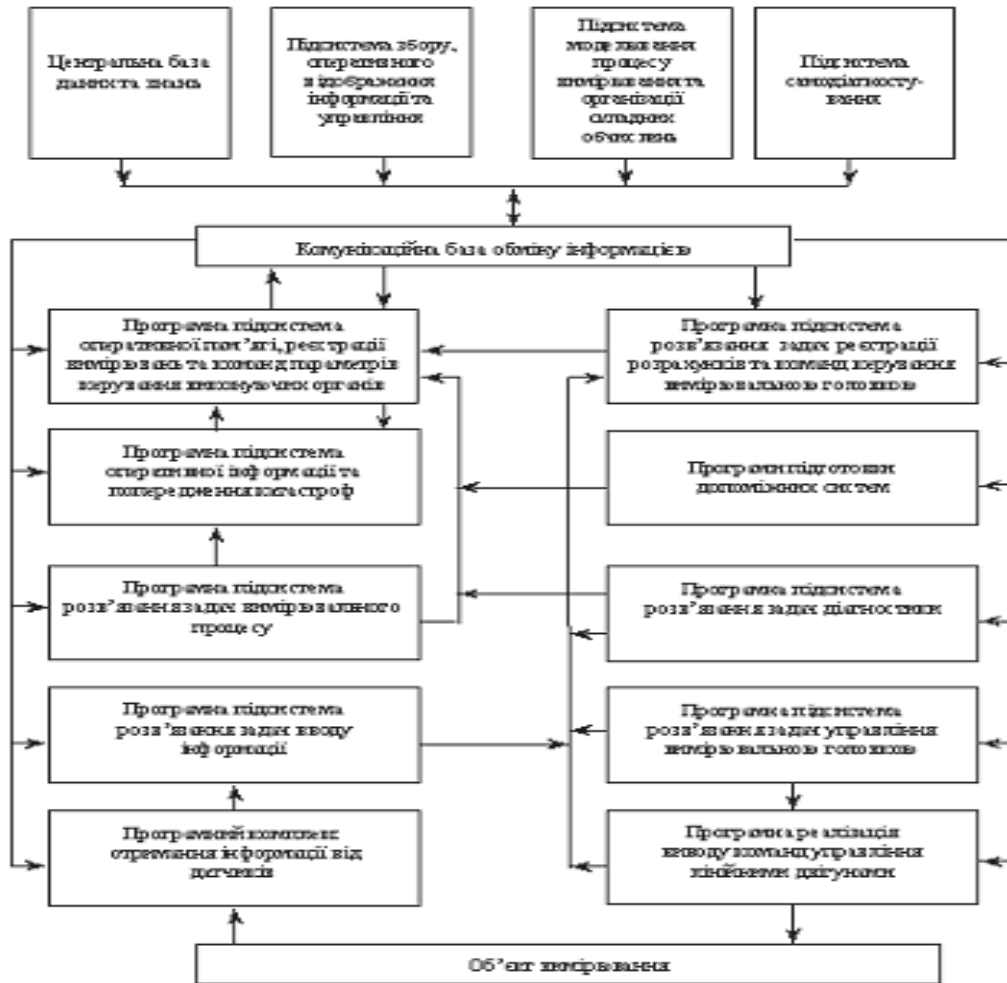


Рис. 2. Структура інформаційно-керуючої системи в трьох ієрархічних рівнях

ПМЗ першого рівня реалізує попередню обробку інформації від датчиків і сигналів керування КВМ:

- діагностику та реєстрацію даних;
- перетворює інформацію від датчиків контролю нормальних умов вимірювання в реальному часі;
- контроль і часткове управління роботою КВМ.

Другий рівень прикладного ПМЗ виконує комплексну статистичну обробку інформації з урахуванням її контрольної операції, систему траєкторного керування вимірювальною головкою.

На цьому рівні використовується багатомірна статистична фільтрація – фільтр Калмана, що забезпечує оптимізацію по мінімуму середньоквадратичного відхилення вектора оцінок стану КВМ на основі апаратної інформації про його модуль стану та статистичні характеристики датчиків. На цьому рівні передбачена попередня фільтрація (стик) вхідної інформації про стан КВМ на основі даних оптимального фільтру.

ПМЗ третього рівня призначається для вирішення функціональних задач, що реалізують процес вимірювання геометричних розмірів об'єктів; управління модельними режимами, системи підготовки до вимірювання, включаючи засоби юстировки та вводу даних на другому рівні. На третьому рівні реалізується оптимізація режимів роботи КВМ, включаючи

рухи координат  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  та щупів самокерованої вимірювальної головки, а також функціонування в цілому при виконанні умов, а саме:

- дистанційне керування;
- пари вимірне зображення;
- інформаційна сигналізація про аварійний режим.

Синтез таких систем проводиться методами використання математичних моделей, оптимальною оцінкою параметрів, експертних систем, лінійного і динамічного програмування, створенням підсистем штучного інтелекту, алгоритмів координації підсистем.

Методологічною основою для створення комп'ютерно-інтегрованої структури при керуванні КВМ є системний аналіз, що дає можливість виконати ряд взаємозв'язаних процедур.

В загальному вигляді під комп'ютерно-інтегрованим управлінням розуміють багаторівневу інтегровану систему, в якій виділяють ієрархічні рівні вимірювального процесу. Компонентами такої структури є:

- центральна база даних і знань;
- підсистема підпрограм вводу, збору, реєстрації відліків, оперативного відображення та обробки інформації;
- підсистема моделювання процесом вимірювання та організації складних обчислень;
- підсистема оперативної пам'яті та розв'язання задач виводу команд керування лінійними двигунами;
- підсистема реєстрації параметрів вимірювальних процесів і розв'язання задач контролю та діагностики.

Підготовка завдання на вимірювання геометричних розмірів полягає в тому, що спочатку проводяться вимірювання і по еталону-зразку калібрується датчик, визначається його місце знаходження у вимірювальному просторі та проводиться діагностування всіх підсистем.

З функціональної точки зору КВМ реалізує процес вимірювання у вигляді взаємодії матеріального, інформаційного та енергетичних процесів. Визначальним фактором підвищення ефективності функціонування апаратно-програмного комплексу є наявність масштабного і реального часу, що адекватно відображають процеси вимірювання геометричних розмірів об'єктів.

Інформаційно-керуюча система відповідно до ієрархічної структури КВМ з елементами штучного інтелекту виконує основні функції:

- моделювання середовища та побудова безпечного маршруту по поверхні об'єкту вимірювання,
- програмування та оптимізація рухів виконуючих органів,
- створення єдиного інформаційного простору та інтегрованої адаптивної обробки інформації,
- розробка високоточних методів траєкторного та оптимального керування в процесі вимірювання, в тому числі на режимах підвищеної маневреності та в екстремальних ситуаціях,
- розпізнавання та ідентифікацію об'єктів за допомогою комплексної обробки зображень вимірювальних складних просторових поверхонь в тривимірному просторі та порівняння їх з еталонною поверхнею,
- ефективного розподілу задач між процесорними та інтерфейсними модулями.

Кожна із програм підсистем представляє собою інформаційно-керуючу підсистему, що складається із управляючого об'єкту та керуючого засобу, об'єднаною прямим та зворотним інформаційними зв'язками. Рівень такої системи відображає послідовні перетворення вхідної інформації (фізичної) КВМ в машину користувача.

Підсистема реєстрації та попередньої обробки даних забезпечує повну математичну обробку даних одночасно з реєстрацією, що забезпечує:

- уніфікований графічний інтерфейс користувача, надійність і простоту управління, можливість діагностичної реєстрації даних;
- засоби локального і дистанційного управління, візуального контролю стану КВМ та вимірювального процесу;
- уніфікований спосіб збереження даних, що поступають від підсистеми реєстрації, сумісність з форматами, прийнятими від інших метрологічних служб;
- автоматичне протоколювання інформації про дестабілізуючі фактори, що впливають на точність вимірювання, автоматичний аналіз якості даних;
- максимально можливу гнучкість програмного забезпечення відносно змін типів, конфігурацій КВМ.

При розробці програмно-математичного забезпечення опис методики вимірювання розподіляється на дві частини: перша – інваріантний до змін (базовий рівень програмно-математичного забезпечення) та другий – залежить від методики (драйверний), що виконує наступні операції:

- ініціалізацію (настройку) реєструючої, електронної частини у відповідності з розробленою структурою даних адреса апаратного обладнання та спосіб групування операцій управління потоком даних, склад та структура даних, що заносяться в пам'ять;
- управління засобами, що отримують вимірювальну інформацію;
- управління потоками даних в первинній пам'яті.

Програмне забезпечення третього рівня структури ієрархії виконано на мові Assembler.

При виконанні вимірювання деталей виділяються наступні задачі:

попередня обробка (сортування, придатність, стиснення даних, візуалізація, вивід інформації на носії, математичні операції з масивами даних по заданій методиці формул).

Центральна база даних представляє собою набір даних: результатів вимірювань, типів датчиків, стандартних та оригінальних деталей, оптимальних процесів вимірювань, математичних методів обробки результатів вимірювання, енциклопедичний банк даних, бібліотеку прикладних підпрограм.

Підсистема реєстрації даних може бути виконана у вигляді універсальних базових програм, що є настройкою над драйвер ним програмним забезпеченням.

Для розгляду варіанта такої настройки введено поняття параметричної моделі КВМ, тобто списку параметрів, характерних для машини.

#### **Висновки.**

Таким чином, використовуючи сучасні прикладні програми для інформаційно-керуючої системи в цілях організації інтелектуальної системи керування КВМ, можна розробити спеціальне програмне забезпечення по вдосконаленню вимірювальних процесів геометричних розмірів об'єктів, покращенню метрологічних характеристик, обробки результатів вимірювання та представлення їх у графічному вигляді для оператора-метролога.

Багаторівнева структура інформаційно-керуючої системи дозволяє реалізувати функцію розв'язання стратегічних та тактичних задач керування .

Прийняття рішення організовано на базі експертних систем, побудованих на принципах нейронних мереж. В цілях подальшого ефективного отримання інформації передбачається використання відеоінформаційних систем, що дозволяють забезпечити підвищену точність контролю стану вимірювання об'єктів.



In clause the block diagram of informational-managing system in three hierarchical levels is submitted which allows to develop special program maintenance on improvement of measuring processes of the geometrical sizes of objects, improvement of metrology characteristics, processing of results of measurement and representation them in a graphic kind for the operator - metrologer..

1. Сососкин В.Л., Мартынов Г.М. Концепция числового программного управления мехатронными системами: архитектура систем PCNC //Мехатроника. –2000. – №1. –с. 9– 14
2. Чикуров Н.Г., Махмуров Б.Р. Система ЧПУ класса JCNC для управления обработкой сложнопрофильных деталей на многокоординатных станках //СТИН.– 2003.– №3.–С. 11-16
3. Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., М.Б. Модестов, Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. Координатные измерительные машины и их применение- М.: Машиностроение, 1988. -328с.
4. Будгинас С.Ю., Романаускас В.А., Техкунас Р.Ю. Система программирования для автоматизированных координатных измерительных машин //Станки и инструменты. –1982. –№3.–с. 15-17
5. Поспелов Г.С. искусственный интеллект – основа новой информационной технологии.–М.: Наука.–1988.–246 с.
6. Веронов А.А. Введение в динамику сложных управляющих систем. М.: Наука.–1955
7. Алехин Д.А., Буров Ю.Л., Лебедев Г.Н. и др. Новый тип обратных связей в интеллектуальной системе управления полетом. // Известия РАН.Теория и системы управления.–1998.–№4.–С. 34-37

О НЕКОТОРЫХ ВОПРОСАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ЗНАНИЙ В  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Булкин В.И., Шаронова Н.В.

**Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными результатами.** Анализ современных литературных данных свидетельствует, что понятие «знание» определяется в разных источниках по-разному, но большинство авторов соглашались с тем, что знания имеют ряд особенностей по сравнению с данными. К этим особенностям относятся:

- внутренняя интерпретируемость;
- структурированность;
- связность;
- семантическая метрика;
- активность.

В настоящее время из существующих моделей представления знаний наиболее популярны *логические, сетевые, продукционные, фреймовые модели* [2]. В рассматриваемой задаче идентификации знаний в интеллектуальных системах предметной областью обычно называется множество предметов и процессов, которые составляют основу необходимой для решения задачи обработки информации.

Общеизвестно, что языки, предназначенные для описания предметных областей, называются языками представления знаний (ЯПЗ), при этом считается, что универсальным языком представления знаний является естественный язык. Однако использовать его в системах машинного представления знаний сложно, так как он тяжело поддается формализации из-за таких присущих ему явлений, как нерегулярности, полисемия, омонимия, пресуппозиция и т.д. Главным препятствием является отсутствие формализации семантики естественного языка, которая имела бы достаточно эффективную операционную поддержку.

**Анализ последних исследований и публикаций,** в которых описываются попытки решения подобных задач, показывает, что для представления знаний в информационных системах используются различные формальные языки и, в частности, язык исчисления предикатов. Он имеет однозначную формальную семантику и операционную поддержку в виде совершенного механизма вывода. Кроме того, для описания различных предметных областей предлагается использовать как классические исчисления предикатов, так и различные его модификации, например, многосортное исчисление предикатов первой степени [2].

**Постановка задачи.** Для представления отношений желательно использовать язык уравнений, т.е. некоторую алгебраическую систему. Преимущество уравнений заключается в том, что с их помощью можно описывать любые отношения на множестве элементов предметной области. Все переменные в уравнении являются равноправными и любые из них могут выступать как в роли независимых, так и в роли зависимых переменных. Алгоритмы и созданные на их основе программы описывают функционирование систем со входами и выходами, а уравнения алгебры описывают функционирование многополюсных систем. В первом случае входы и выходы строго зафиксированы, а во втором случае входные сигналы могут подаваться на любые входы, а выходные сигналы могут сниматься также с любых оставшихся полюсов [3].

В качестве универсального математического языка для описания дискретных, детерминированных и конечных объектов, систем и процессов будем использовать алгебру ко-

нечных предикатов [3 – 6], хорошо зарекомендовавшую себя для решения задач обработки текстовой информации.

Любая алгебра представляет собой совокупность множества  $M$  с заданными в нем операциями

$$S = \{f_{11}, f_{12}, \dots, f_{1n}, f_{21}, f_{22}, \dots, f_{2n}, \dots, f_{m1}, f_{m2}, \dots, f_{mn}\},$$

где  $A = \langle M, S \rangle$ , где  $M$  – носитель, а  $S$  – сигнатура алгебры [1].

Алгебра предикатов в качестве носителя использует множество  $U$  с заданными на нем операциями  $\vee$ - дизъюнкции,  $\wedge$ - конъюнкции и  $\bar{\phantom{x}}$  - отрицания [5]. В алгебре предикатов используются следующие формулы:

- символы 0 и 1 называются формулами;

- выражения вида  $a_i^{x_j}$  где,  $i = 1, k, j = 1, n$  называются формулами;

**- если выражения  $A$  и  $B$  – формулы, то выражения  $(A \vee B)$ ,  $(A \wedge B)$  тоже формулы.**

Предикатом, заданным на  $U^n$ , называется любая функция  $t = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$ , отображающая множество  $U^n$  в множество  $\Sigma = \{0, 1\}$ , где символы 0 и 1 являются логическими булевыми элементами. Элемент 0 имеет логическое значение ложь (False) и может обозначаться латинской буквой  $F$ . Элемент 1 имеет логическое значение истина (True) и может быть обозначен латинской буквой  $T$ . Переменные  $x_1, x_2, \dots, x_n$  называются предметными переменными, а их значения называются предметами. Показатель  $n$  указывает на степень предиката. Если  $n = 1$ , то предикат называется унарным, если  $n = 2$ , то бинарным, если  $n = 3$ , – тернарным. При произвольном  $n$  предикат называют  $n$ -арным. Если множество  $U$  конечно, то предикат называется конечным, иначе бесконечным.

Дизъюнкцией, или логическим сложением предикатов  $P$  и  $Q$ , называется предикат  $P \vee Q$ , значения которого при любых  $x \in U$  определяется по формуле

$$(P \vee Q)(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1, x_2, \dots, x_n) \vee Q(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Конъюнкцией, или логическим умножением предикатов  $P$  и  $Q$ , называется предикат, значение которого определяется по формуле

$$(P \wedge Q)(x_1, x_2, \dots, x_n) = P(x_1, x_2, \dots, x_n) \wedge Q(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Отрицанием предиката  $P$  называется предикат  $\bar{P}$  со значениями, определяемыми в соответствии с формулой

$$\overline{(P)(x_1, x_2, \dots, x_n)} = \overline{P(x_1, x_2, \dots, x_n)}.$$

Множество всех  $n$ -арных предикатов, заданных над множеством  $U^n$ , на котором определены операции дизъюнкция ( $\vee$ ), конъюнкция ( $\wedge$ ) и отрицание ( $\bar{\phantom{x}}$ ) предикатов, называется алгеброй  $n$ -арных предикатов [5]. Операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания являются базисными для алгебры предикатов.

**Предикаты вида**

$$x_i^a = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i = a \\ 0, & \text{если } x_i \neq a, \text{ где } i = \overline{1, n} \end{cases}$$

называются базисными для алгебры предикатов [4], где  $a$  – любой элемент универсума  $U$ . Алгебра предикатов полна в том смысле, что любой предикат можно представить в виде суперпозиции базисных операций, примененных к базисным предикатам  $x_i^a$ . Предикат  $x_i^a$  называется узнаванием (идентификатором) предмета  $a$  по переменной  $x_i$ . Для алгебры предикатов справедливы тождества:

- закон истинности

$$\bigvee_{a \in U} x_i^a = 1,$$

- закон ложности

$$x_i^a x_i^b = 1,$$

- закон отрицания

$$\overline{x_i^a} = \bigvee_{\substack{b \in U \\ b \neq a}} x_i^b.$$

Для конечного универсума  $U = \{a_1, a_2, \dots, a_k\}$  тождества алгебры предикатов можно записать следующим образом:

- закон истинности

$$x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_k} = 1, \text{ где } i \in \{1, 2, \dots, n\},$$

- закон ложности

$$x_i^{a_j} x_i^{a_l} = 0, \text{ где } i \in \{1, 2, \dots, n\}, j, l \in \{1, 2, \dots, k\},$$

- закон отрицания

$$\overline{x_i^{a_j}} = x_i^{a_1} \vee x_i^{a_2} \vee \dots \vee x_i^{a_{j-1}} \vee x_i^{a_{j+1}} \vee \dots \vee x_i^{a_k}, \text{ где } i \in \{1, 2, \dots, n\}, j \in \{1, 2, \dots, k\}.$$

С помощью формул алгебры предикатов можно математически описывать любое отношение, заданное на множестве  $U^n$ .

Пусть  $R$  – отношение на  $U^n$ , тогда предикат  $P$ , значения которого вычисляются по правилу

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \begin{cases} 1, & \text{если } (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R \\ 0, & \text{если } (x_1, x_2, \dots, x_n) \notin R \end{cases}$$

называется предикатом – идентификатором отношения  $R$ . Каждому отношению  $R$  соответствует свой предикат  $P$  на  $U^n$  и наоборот. Каждому предикату  $P$  можно поставить в соответствие отношения  $R$  на  $U^n$

Любой предикат  $P$ , заданный на множестве  $U^n$ , можно записать с помощью следующей формулы алгебры предикатов:

$$P(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{a_1, a_2, \dots, a_n \in R} x_1^{a_1} x_2^{a_2} \dots x_n^{a_n},$$

которая называется совершенной дизъюнктивной нормальной формой предиката Р (СДНФ предиката). При этом ведется логическое суммирование по всем наборам предметов  $(a_1, a_2, \dots, a_n)$ , входящим в состав отношения R, которое задается предикатом Р.

Использование алгебры предикатов компенсирует необходимость использования других языков представления знаний (ЯПЗ). При использовании алгебры предикатов объекты и отношения во всех моделях представления знаний записываются в виде уравнений алгебры предикатов. Системы предикатных уравнений могут решаться с помощью универсального решателя, который представляет собой программу, написанную на некотором алгоритмическом языке высокого уровня. Кроме того, любое уравнение алгебры предикатов может быть представлено в виде переключательной цепи, что предоставляет возможность сконструировать процессор представления знаний (ППЗ) из комбинаций таких цепей [4].

Покажем на конкретных примерах, как можно представлять знания, используя алгебру предикатов. В логических моделях для представления знаний широко используются различные виды исчислений предикатов – классическое, многосортное, многоуровневое исчисление предикатов, псевдофизические логики и т.п.

В классическом исчислении предикатов отношение "z является суммой x и y", где z, x, y – целые неотрицательные числа  $(x, y, z \in \{0, 1, 2, \dots, n\})$ , записывается в виде предиката

$$P(x, y, z) = 1.$$

Для нахождения конкретных реализаций этого предиката используется один из языков программирования, например, Пролог. Средствами алгебры предикатов это же отношение может быть задано предикатом

$$S(x, y, z) \equiv \bigvee_{\substack{i=0 \\ \neq 0}}^n \bigvee_{j=0}^i x^i y^{i-j} z^i.$$

Уравнение

$$S(x, y, z) = 1$$

реализует отношение "число z равно сумме чисел x и y"[4]. Если решить это уравнение относительно переменной z, то получим

$$z^i = x^0 y^i \vee x^1 y^{i-1} \vee \dots \vee x^i y^0 \quad (0 \leq i \leq n).$$

Подставляя в это уравнение конкретные значения i, получаем реализацию предиката S(x, y, z)

$$\begin{aligned} z^0 &= x^0 y^0, \\ z^1 &= x^0 y^1 \vee x^1 y^0, \\ z^2 &= x^0 y^2 \vee x^1 y^1 \vee x^2 y^0, \\ z^3 &= x^0 y^3 \vee x^1 y^2 \vee x^2 y^1 \vee x^3 y^0, \\ &\dots \end{aligned}$$

Если внимательно проанализировать общее уравнение и его конкретные реализации, то обнаруживается, что эти уравнения не только реализуют отношение "z является суммой x и y", но и фиксируют знание о том, какие комбинации целых неотрицательных чисел x и y дают в сумме заданное число z.

Любое из вышеприведенных уравнений можно представить в виде переключательной цепи [3], которая представляет собой многополюсник (рис.1), имеющий два входа и один выход. Данная схема представляет собой переключательную цепь, состоящую из 3-х ступеней. На первой ступени расположены схемы узнавания (идентификации) чисел  $x$  и  $y$ , реализующие базисные предикаты вида  $t = x^i$ ,  $t = y^i$  ( $0 \leq i \leq n$ ), где  $t$  - логическая переменная. Будем называть их предметными идентификаторами (ПИ). На вход этих схем подаются значения чисел  $x$  и  $y$ , а сигнал 1 формируется на выходе той схемы, которая его идентифицирует (узнает). На выходе остальных идентификаторов формируется сигнал 0. На второй ступени переключательной цепи находится схема совпадения (конъюнкции) на два входа каждая. Количество этих схем совпадает со значением  $i+1$ . Третья ступень нашей переключательной цепи реализована схемой разделения (дизъюнкции) и имеет  $i+1$  вход и один выход.

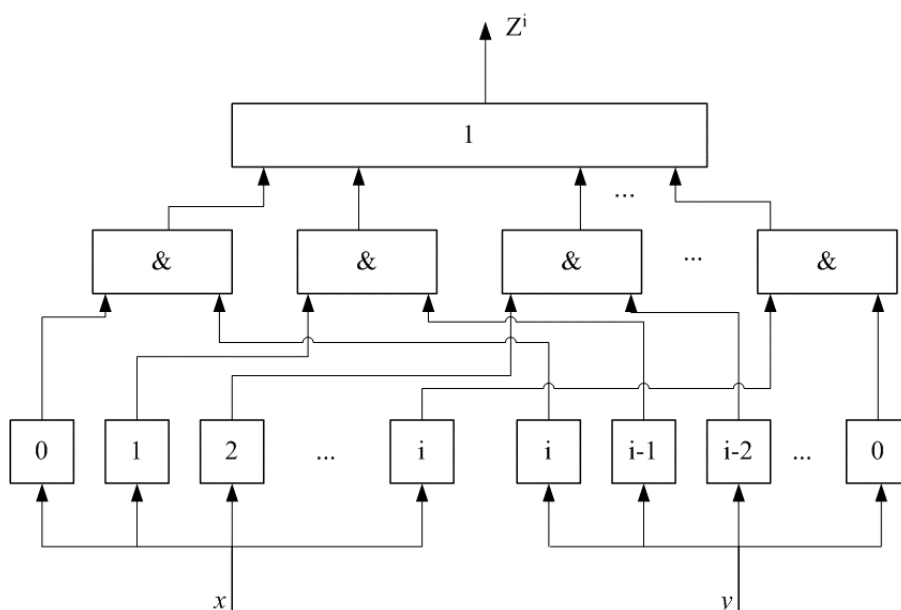


Рис. 1

Схема работает следующим образом. Если на вход многополюсника подаются два числа  $x$  и  $y$ , то на выходе сигнал 1 появляется только в том случае, если сумма этих чисел равна  $i$ . Например, для  $i = 3$  сигнал 1 на выходе схемы будет появляться лишь в том случае, если на вход будут подаваться следующие пары чисел

$$\begin{aligned} x = 3, y = 0; \\ x = 2, y = 1; \\ x = 1, y = 2; \\ x = 0, y = 3. \end{aligned}$$

При подаче на входы переключательной цепи любых других комбинаций ( $x = 3, y = 1$ , например) на выходе цепи будет сформирован сигнал 0.

Рассмотрим теперь пример использования алгебры предикатов для описания предметной области в терминах многосортной логики [2]. В многосортной логике универсум  $U$  разбивается на подмножества или, как их называют, сорта, которые отвечают классам сущностей. В отличие от классической логики, кванторы всеобщности и существования ограничиваются областью определения сорта (класса сущностей). Следовательно, прежде чем описывать предметную область, необходимо разбить универсум  $U$  на классы эквивалентностей. В многосортной логике это осуществляется простым описанием имен сортов,

например, Деталь, Станок, Операция и т. д. На языке алгебры предикатов любое множество  $U = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  может быть записано в виде уравнения  $x^{a_1} \vee x^{a_2} \vee \dots \vee x^{a_n} = 1$ , где  $x$  - предметная переменная, характеризующая данное множество. Совокупность всех корней этого уравнения совпадает с множеством  $U$ . Уравнение является формальной записью утверждения  $x \in U$ .

На языке алгебры предикатов можно описать любую систему подмножеств  $M$  универсума  $U$  [4]. Если обозначить имена всех подмножеств некоторого универсума  $U = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$  следующими буквами  $m_0, m_1, \dots, m_{2^n-1}$ , то связь подмножеств с их именами может быть задана уравнением вида

$$\theta(x, u) = 1, \tag{1}$$

где  $x \in U$ , а переменная  $u$  ( $u \in \{m_1, m_2, \dots, m_{n-1}\}$ ) играет роль переменного подмножества универсума  $U$ . Любую систему  $M$  подмножеств универсума  $U$  можно записать, добавив к зависимости (1) уравнение

$$\varphi(u) = 1, \tag{2}$$

где  $\varphi$  - предикат, задаваемый условиями

$$\varphi(u) = \begin{cases} 1, & \text{если } u \in M \\ 0, & \text{если } u \notin M \end{cases}$$

Таким образом, любую систему множеств  $M$  можно записать уравнением

$$\theta(x, u) \wedge \varphi(u) = 1.$$

Например, пусть  $U = \{c, d\}$ . Необходимо описать систему множеств  $\{\{c\}, \{c, d\}\}$ . Систему всех подмножеств  $U$  запишем с помощью уравнения (1)

$$u^{m_1} x^c \vee u^{m_2} x^d \vee u^{m_3} (x^c \vee x^d) = 1$$

Уравнение (2) примет вид

$$u^{m_1} \vee u^{m_3} = 1.$$

Тогда система множеств  $\{\{c\}, \{c, d\}\}$  будет записана с помощью уравнения

$$u^{m_1} x^c \vee u^{m_3} (x^c \vee x^d) = 1.$$

Используя указанные выше соотношения, можно формально описывать отношения второго порядка, связывающие между собой множества предметов и системы множеств второго порядка, т. е. множества систем множеств предметов. Следовательно, на языке алгебры предикатов можно описывать конструкции многосортной логики. Однако средствами многосортной логики недостаточно адекватно можно описать многоуровневую сложно структурированную предметную область. Для описания структурных зависимостей «класс – подкласс», «часть – целое» между объектами предметной области используется многоуровневая логика. Многоуровневая логика может рассматриваться как расширение многосортной логики за счет введения метода структурирования типов. Отношение «элемент – множество» между объектами  $A$  и  $B$  записывается  $(X/B^1)EQ(A, X)$ ; Отноше-

ние «класс – подкласс» между понятиями  $B$  и  $C - (X/B^2) EQ(C,X)$ , где  $EQ$  – предикат равенства [2].

Данные отношения можно выразить с помощью математических структур высших порядков. Рассмотрим пример математической структуры четвертого порядка. Пусть требуется описать структуру

$$\{\{\{a\}, \{a, b\}\}, \{\{b\}, \{a, b\}\}\}.$$

На языке алгебры предикатов это можно сделать следующим образом. Пусть  $x$  – объект некоторой ПрО,  $u$  – множество объектов,  $v$  – система множеств объектов. Систему множеств  $v$  можно интерпретировать как класс множества объектов,  $u$  – как подкласс. Тогда рассматриваемая структура запишется в виде системы уравнений

$$\begin{aligned} u^{m_1} x^a \vee u^{m_2} x^b \vee u^{m_3} (x^a \vee x^b) &= 1, \\ \forall (u^{m_1} \vee u^{m_3}) \vee \forall (u^{m_2} \vee u^{m_3}) &= 1. \end{aligned}$$

Здесь символом  $m_1$  обозначен подкласс  $\{a\}$ , символом  $m_2$  – подкласс  $\{b\}$ , символом  $m_3$  – подкласс  $\{a,b\}$ . Символом 1 обозначен класс  $\{\{a\}, \{a,b\}\}$ , символом 2 – класс  $\{\{b\}, \{a,b\}\}$  [4].

**Заключение.** Рассмотренные методы идентификации знаний с использованием алгебры предикатов предоставляют возможность единообразного представления знаний в виде уравнений алгебры предикатов. Любое уравнение алгебры предикатов можно реализовать аппаратно в виде переключательной цепи. Используя переключательные цепи, можно конструировать технические средства обработки и хранения знаний в виде некоторого интеллектуального процессора обработки знаний (ИПОЗ).

In article questions of identification and the formal description of knowledge in information intellectual systems with use of the algebra-logic approach that allows by transition to switching circuits are considered to design means of processing and storage of knowledge as some intellectual processor of processing of knowledge.

1. Горбатов В.А. Основы дискретной математики: Учебн. Пособие для студентов вузов.- М.: Высш. шк., 1986.-311с.
2. Кокорева Л.В., Перевозчикова О.Л., Ющенко Е.Л. Диалоговые системы и представление знаний.
3. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства – Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1984.-144с.
4. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Технические средства –Х.: Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1986.-136с.
5. Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Шаронова Н.В. Компараторная идентификация лингвистических объектов: Монография.-К.:ІСДО, 1993. –116с.
6. Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В. Автоматизированные информационные библиотечные системы: задачи обработки информации: Монография – Харьков, 2002. – 120 с.



УДК 621.3

## ВИСОКОЧУТЛИВИЙ АКТИВНИЙ LRC-ФІЛЬТР НИЖНІХ ЧАСТОТ З МАЛИМ ВХІДНИМ ОПОРОМ

Рогальський Ф.Б., Корніловська Н.В., Рогальський О.Ф., Лур'є І.А.

**Вступ.** Сучасні системи промислової автоматики потребують високонадійних засобів приймання-передачі інформації. Для забезпечення необхідних параметрів каналів приймання-передачі таких систем необхідно отримати конкретні рішення щодо створення електронної апаратури телекомунікаційних каналів. Незважаючи на значну кількість публікацій, присвячених дослідженню радіотехнічних ланцюгів і їх компонентів[1-3], можливості удосконалення каналів далеко не вичерпані.

**Постановка задачі.** Важливе місце серед компонентів каналів займають фільтри низьких частот (ФНЧ). В роботі розглядається частотно-залежний LRC – двополюсник з властивостями фільтра нижніх частот, що забезпечує вимоги високонадійного процесу приймання-передачі інформації. Мета роботи – дослідження параметрів і характеристик такого фільтра.

**Викладення основного матеріалу.** Спеціальні вимоги до високочутливих активних LRC-фільтрів нижніх частот з малим входним опором можуть бути сформульовані наступним чином:

- висока чутливість зумовлює вимогу малого коефіцієнту шуму;
- в основу побудови фільтра нижніх частот повинні бути покладені принцип побудови підсилювачів постійного струму, які характеризуються високим рівнем „дрейфування нуля”; отже, необхідно забезпечити мінімальне „дрейфування нуля”;
- необхідні спеціальні рішення для забезпечення малого входного опору;
- необхідні спеціальні рішення для забезпечення великих коефіцієнтів передачі;
- при необхідності забезпечення невеликих смуг прозорості ФНЧ, проблемою стає забезпечення великих коефіцієнтів передачі з огляду на те, що зменшення смуги прозорості забезпечується, як правило, підключенням ємності в зворотному зв'язку, що веде до зменшення коефіцієнта передачі.

Сучасні методи створення і вдосконалення ФНЧ [4] дозволяють отримати фільтри, що задовольняють наведеним вимогам.

Вказані двополюсники складаються з паралельно підключених один до одного паралельного та послідовного резонансних контурів, налаштованих на одну й ту ж резонансну частоту. Причому, в послідовному контурі послідовно з індуктивністю та ємністю включається резистор  $R_0$ , величина опору якого визначає міру зв'язку між резонансними контурами. Активний опір індуктивностей контурів  $r_L$  значно менший опору резистора  $R_0$ . Індуктивності та ємності паралельного та послідовного контурів взаємно рівні. При додержанні співвідношення  $R_0 = 1,4 \rho_0$ , де  $\rho_0$  - характеристичний опір контурів, в амплітудно-частотній характеристиці з'являється “полічка” – незалежність коефіцієнта передачі фільтра від частоти. У випадку підключення додаткового резистора  $R$  послідовно з індуктивностями, а також при виконанні умови  $R > R_0$  двополюсник набуває властивостей фільтра нижніх частот. Регулювання смуги прозорості такого фільтра виконують зміною одного відносно іншого характеристичних опорів послідовного та паралельних контурів  $\rho_{\text{посл.}}$  та  $\rho_{\text{пар.}}$  з однаковою швидкістю та протилежними знаками. Такий двополюсник доцільно включити в якості колекторного навантаження каскаду з загальною базою.

Відомо [5], що високочутливі, тобто з малим коефіцієнтом шуму, підсилювачі

доцільно будувати на дискретних малошумливих транзисторах, особливо на польових. Проте, польові транзистори погано узгоджуються з вищими входними сигналами з малим внутрішнім опором. Тому вхідний каскад має бути побудований на малошумливому біполярному транзисторі, підключеному по схемі з загальною базою (ЗБ). Для забезпечення високого коефіцієнта передачі пристрою послідовно з вхідним каскадом на біполярному транзисторі доцільно підключити підсилювальний каскад на операційному підсилювачі (ОП). А для зменшення впливу каскаду на ОП на каскад з ЗБ їх треба розділити буферним каскадом – емітерним повторювачем. Згідно з вищезазначеним схему високочутливого активного LRC-фільтра нижніх частот з малим входним опором можна представити так, як вона зображена на рис.1.

Тут на транзисторі VT1 зібрано каскад з ЗБ та частотнозалежним колекторним навантаженням з властивостями ФНЧ, на транзисторі VT2 – емітерний повторювач, на операційному підсилювачі DA1 – підсилювач з мінімізацією „дрейфування нуля”, а також з компенсацією „провалу” амплітудно-частотної характеристики всього пристрою на нульовій частоті. Елементи C1 та Rш1 забезпечують мінімізацію „дрейфування нуля”. Елементи C2 та Rш2 забезпечують компенсацію „провалу” амплітудно-частотної характеристики всього пристрою на нульовій частоті.

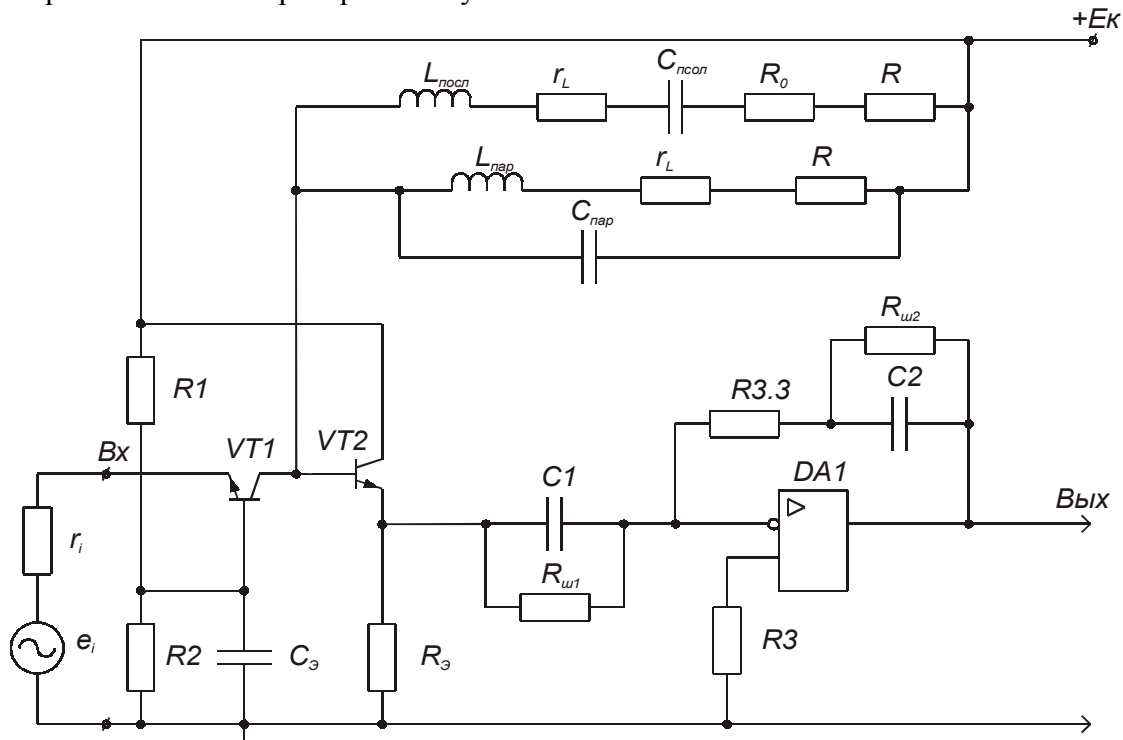


Рис.1.

На рис.2 та рис.3 представлені електрична принципова схема вхідного каскаду, що забезпечує всьому пристрою властивості ФНЧ, та його амплітудно-частотна характеристика відповідно.

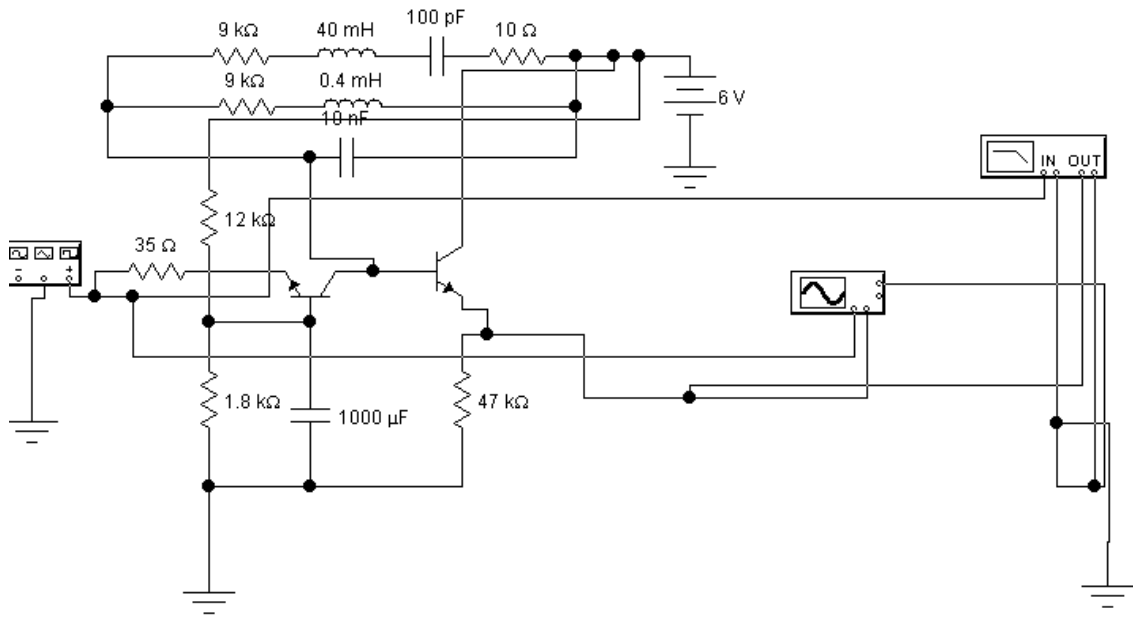


Рис.2.

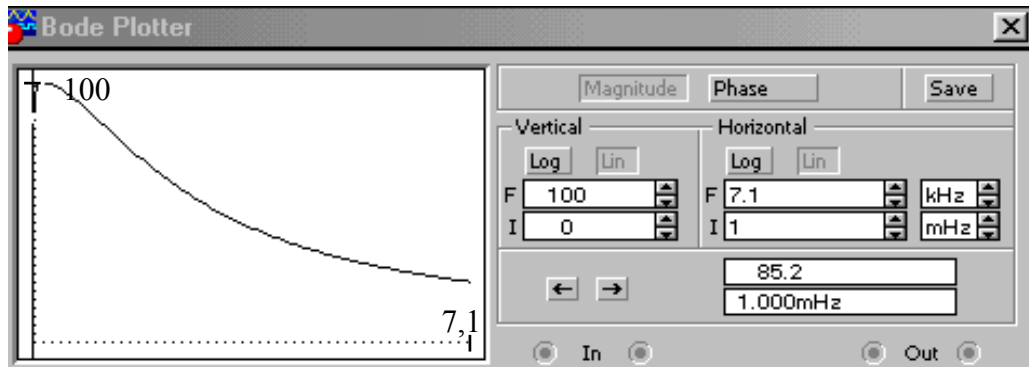


Рис.3.

На рис.4 та рис.5 представлені електрична принципова схема всього пристрою та його амплітудно-частотна характеристика відповідно.

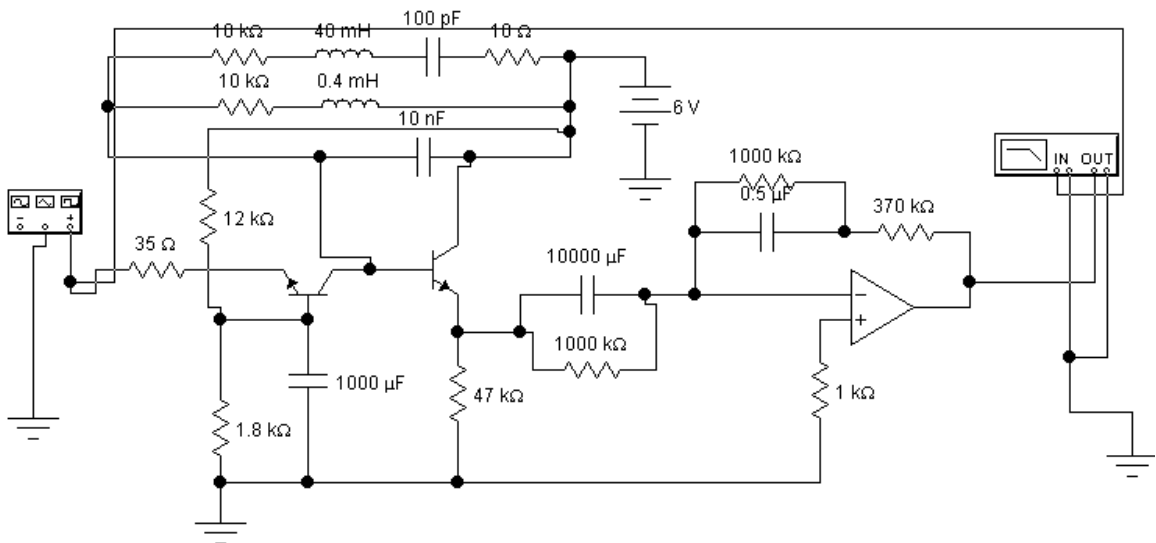


Рис.4.

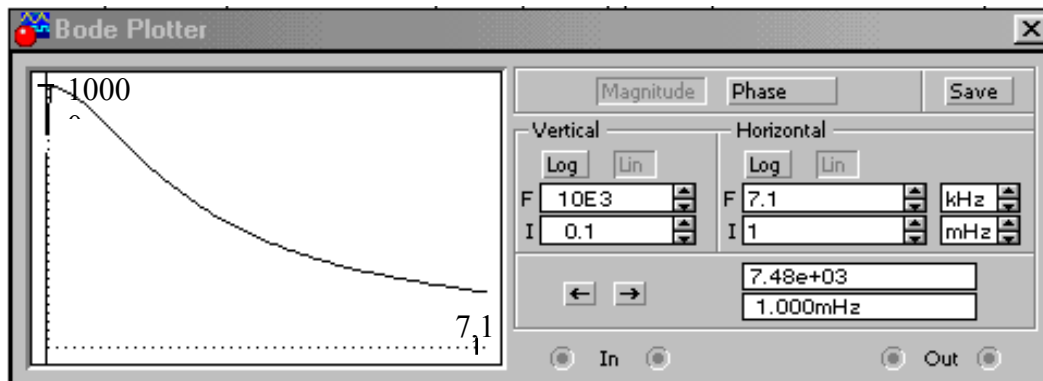


Рис.5.

Графічний матеріал на рис.2-рис.5 одержано моделюванням з використанням пакета прикладних програм Electronics Workbench.

**Висновки.** З порівнянь графічного матеріалу видно, що коефіцієнт передачі вхідного каскаду на нульовій частоті дорівнює приблизно  $K_{U_{вв}} \cong 100$  (рис.3), а коефіцієнт передачі всього пристрою на нульовій частоті дорівнює приблизно  $K_{U_{\Sigma}} \cong 10^4$  (рис.5). Смуга прозорості ФНЧ на рівні 0,7 від максимального коефіцієнта передачі дорівнює  $\Delta F^{0,7} \cong 1,6 \text{ кГц}$  (рис.3, рис.5). Таким чином, запропонований пристрій забезпечує можливість регулювання коефіцієнта передачі та смуги прозорості. Схема характеризується малим вхідним опором, великим коефіцієнтом передачі та високою чутливістю.

The requirements to highly-sensitive filter of low frequencies with small input resistance and principles of their development are considered. The principles of the direct current amplifiers characterized by high level "driftage" zero are used as the basis of the low frequency filter design. The small input resistance and high transfer ratios are provided by special devices. The diagram of the filter specifications and results is given.

1. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. – М.: Высш. шк., 2000.- 315 с.
2. Микропроцессоры. Средства сопряжения, контролирующие и информационно-управляющие системы / Под ред. Л.Н. Преснухина. – М.: Высш. шк., 1986.- 235 с.
3. Рогальский Ф.Б., Корниловская Н.В. Сравнительный анализ характеристик и параметров активных частотно-избирательных цепей RC и LRC типов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 1999. – №2(5). - С. 116 -122.
4. Корниловская Н.В. Использование информационных технологий для совершенствования телекоммуникационных трактов систем промышленной автоматизации // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. – № 1(14). – С.227-281.
5. Прянишников В.А. Электроника: Курс лекций. - СПб.: Корона принт, 1998. - 253 с.

## ЕКСПЕРТНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЗНАНЬ В СИСТЕМІ ДИСТАНЦІЙНОГО НАВЧАННЯ

Шибицька Н.М

Поглиблення і розширення процесів математизації і комп'ютеризації науки націлені на створення нових інформаційних технологій з можливістю придбання та динамічної обробки необхідної інформації і знань. Реформи освіти останніх років обумовили тенденції переходу теорії і практики від парадигми навчання, у рамках якої студент виступає як об'єкт навчальних впливів, до парадигми безперервної освіти, що базується на самостійній роботі студента з метою самовдосконалення. Процес навчання розуміється сьогодні не як придбання сукупності знань і володіння набором професійних навичок, а як розвиток різноманітних здібностей системного характеру та підвищення ступеню їх продуктивності. Актуальним є питання моделювання такої системи освіти, в якій важливу роль має не традиційна трансляція знань, умінь, цінностей, норм поведінки і т.д., а створення умов для максимально можливої адаптації і розвитку конкретної особистості.

У зв'язку з цим виникає логічне питання про вдосконалення інформаційних технологій, що відкривають нові оперативні можливості, способи й умови освоєння освітньої і професійної діяльності. Новітні технології повинні забезпечити багатоваріантність предметного наповнення змісту навчання, можливість моделювання знань та різноманіття освітніх послуг.

В системі державної професійної підготовки фахівців актуальною є задача впровадження нової форми освіти – дистанційного навчання [1, 2]. Це обумовлено соціально-економічною ситуацією, яка склалася у цілому в Україні та в системі освіти, тому традиційні форми освіти і моделі навчання на цей час не можуть задовольнити потреб в освітніх послугах. У даний час у світі зростає число вузів, що ведуть підготовку фахівців за допомогою цієї форми навчання.

Актуальність впровадження дистанційної форми навчання обумовлено наступними причинами: зниженням витрат на навчання, що важливо в умовах відставання фінансування системи освіти; включенням в освітній процес людей різних вікових та соціальних категорій, що дозволяє задовольнити різноманітні запити населення в освіті; розширенням доступу до додаткової інформації, динамічним регулюванням необхідного обсягу знань: оперативної передачею інформацію за допомогою комп'ютерних телекомунікацій; зручність освітнього процесу: гнучкість, адаптивність, модульність подачі наукового змісту навчання.

У зв'язку з цим актуальною науковою задачею є розробка нових методів аналізу процесу навчання з можливістю подальшого контролю та інваріантності оцінки якості засвоєння декларованих знань, умінь і сформованих навичок, необхідних для виконання професійної діяльності.

Пріоритетним напрямком розвитку системи дистанційного навчання є створення автоматизованих систем декларування та оцінювання знань. Використання мережних технологій є передумовою створення комп'ютерних тестових систем. Використання тестів дозволяє автоматизувати контроль знань при прийнятті рішень про рівень навченості студентів.

Впровадження тестових технологій дозволяє підвищити якість і об'єктивність оцінювання процесу навчання, шляхом зниження суб'єктивної оцінки конкретного педагога і значно деталізувати, уніфікувати атестаційні вимоги по дисциплінам на основі Державних освітніх стандартів, підвищити об'єктивність атестації, а також оцінити ефективність професійної діяльності викладачів.

Сучасні інформаційні технології розробки тестів ґрунтуються на комплексній методиці складання тестових завдань з урахуванням думок декількох експертів, які є фахівцями у даній предметній області [3].

На сьогодні комп'ютерні технології є невід'ємною складовою процесу навчання. Таким чином, вирішення проблеми поліпшення якості, активізації й індивідуалізації навчання може бути досягнуто лише на основі органічного застосування комп'ютерних технологій в навчальному процесі поряд із традиційними методами навчання.

Для забезпечення навчального процесу з необхідним рівнем якості знань інформаційне забезпечення установ дистанційного освіти повинне повною мірою використовувати засоби оперативного доступу до інформаційних ресурсів, які засновані на комп'ютерних мережних технологіях.

Впровадження новітніх інформаційних технологій і можливості сучасних комп'ютерних систем відкривають необмежений простір для педагогічної творчості, дозволяючи модернізувати вже існуючі і впроваджувати новітні технології і форми навчання. Аналіз світової педагогічної практики дозволяє виділити наступні типи програмних продуктів для супроводження процесу навчання: комп'ютерні підручники; навчальні програми; імітаційні і моделюючі тренажери; електронні підручники, словники, енциклопедії; системи самопідготовки і самоконтролю; системи контролю знань і тестування.

В існуючих системах [4] для оцінювання процесу навчання використовують наступні форми діагностики: вхідний тестовий контроль, поточний контроль, заключний контроль або іспит.

Вхідний тестовий контроль дозволяє визначити початковий рівень підготовки операторів з метою формування індивідуальних керуючих впливів у системі навчання; поточний контроль визначає на скільки успішно той, якого навчають, отримує знання й володіє системою умінь у процесі навчання, у випадку недостатньої успішності проводиться пошук зворотного зв'язку від помилкових дій до необхідних елементів знань; заключний контроль або іспит покликаний формально оцінити знання і систему умінь по дисципліні, накопичених у протягом всього часу навчання.

Системи тестування орієнтовані на оцінку рівня знань людини, яку навчають, у заданих точках аналізу навчального процесу. Використовуючи різні методики, такі системи пред'являють тому, кого навчають, відкритий або закритий варіант питання. Вибір форми варіанта питання багато в чому залежить від ступеня формалізації предметної області. Комбінація в тестовій системі двох форм оцінювання знань дозволяє підвищити гнучкість і адаптивність системи навчання.

Відкриті питання складаються тільки з формулювання питання, відповідь на які повинен сформулювати об'єкт навчання. Цей тип питань рекомендується застосовувати в областях знань з високим рівнем формалізації. В якості відповіді виступає значення, що може бути однозначним або належати деякому заданому припустимому діапазону. Звичайно, в якості відповіді на відкриті питання не використовуються символічні рядки, що містять букви, пробіли й інші символи, тому що в цьому випадку важко визначити правильність відповіді через можливі помилки користувача при введенні інформації (наприклад, введення двох замість одного пробілів).

Закриті питання складаються з формулювання питань і декількох варіантів відповіді. Цей тип питань рекомендується застосовувати в слабо формалізованих областях знань. Той, кого навчають, повинен вибрати один або кілька правильних варіантів відповіді. Рекомендується наявність від 3 до 6 варіантів відповідей. У залежності від цілей створення тестової системи і етапу оцінювання знань можливий випадок пред'явлення декількох відповідей, умовно прийнятих як правильні.

При застосуванні тесту на етапах рубіжного (підсумкового) контролю в якості абсолютно правильної відповіді може бути тільки один з варіантів. При цьому не допускається ситуація, коли усі відповіді на закриті питання є неправильними. Правильність від-

повіді можна зараховувати по сумі правильно обраних варіантів або по одному правильно обраному варіанті.

Таким чином, кожна з представлених структур дозволяє пред'являти навчальний матеріал, відповідно до послідовності, що забезпечує прийнятне пред'явлення навчального матеріалу відповідно до вимог предметної області

Базу знань по дисципліні можна представити у виді ієрархічної структури. Структура знань по дисципліні розбивається на розділи R, які впливають на результат діагностики з ваговими коефіцієнтами  $\mu_r$ . Кожний розділ R (модуль) складається з тем  $T_i$  з урахуванням вагових коефіцієнтів  $\mu_i$  (рис.1). Кожна тема складається з елементів знань (основні положення, визначення, формули, закони), яким відповідають тестові запитання  $q_i$  в системі діагностики знань.

Будемо вважати, що знання Y оператора є нечітка підмножина множини X знань системи з деякою функцією належності  $\mu_Y(x)$ , що характеризує ступень засвоєння об'єктом навчання елемента  $x_i$  множини знань X,  $\forall x_i \in X$ . При цьому кожному елементу  $x_i$  знань системи ставиться в відповідність тестове запитання  $q_i$ .

Нечітка підмножина Y множини X представляє собою множину пар:

$$Y = \{ (x / \mu_Y(x)) \}, x_i \in X, \mu_Y(x) \in [0 .. 1].$$

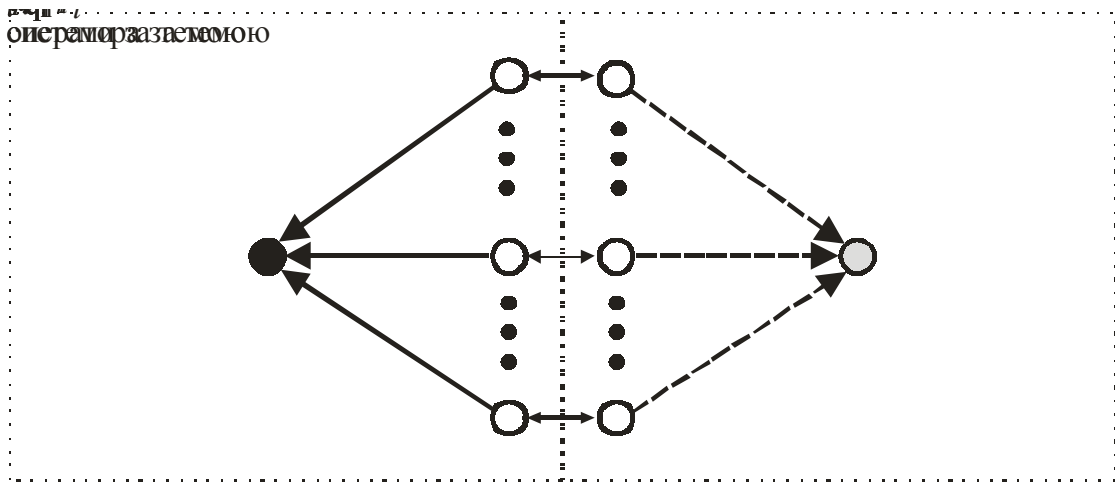


Рис 1. Множинна модель структури знань за темою

Рішення про рівень навченості по дисципліні приймається на основі результатів тестування на нижньому рівні знань (запитання за темою) шляхом згортання залежно від відповідних вагових коефіцієнтів.

Кожній змістовній одиниці знань  $x_i$  відповідає тестове запитання  $q_i$  з вагою  $\mu_{q_i}$  в шкалі нечітких множин  $[0..1]$ , яка призначається експертно та залежить від:

- міри вкладу певного елемента знань у знання по розділу типа;
- лінгвістичної форми подання питання;
- складності питання.

Міра вкладу певного елемента знань у знання по розділу визначається експертом зі знань – спеціалістом в галузі знань, яка досліджується.

Складність питання визначається на етапі попереднього налагодження тесту на контрольній групі операторів з метою виявлення найбільш складних та простих запитань на які не було надано жодної правильної відповіді. В випадку коли потрібно виявити особливо здібних студентів, слід залишити в тесті складні питання для виявлення евристичного мислення фахівців.

Лінгвістична форма подання питання  $q_i$  може бути класифікована на підставі логіко-семантичних еталонів:

1. Концептуальні питання “хто, що” і “визначити поняття”.  
 2. Концептуально-аналітичні питання “провести аналогію”.  
 3. Концептуально-семантичні питання  $q_i$ , які дозволяють визначити змістовну еквівалентність або близькість понять і ситуацій, і описують об’єкт  $S = f(X_i)$ , де  $X_i \subset X$  і є підмножиною змістовних одиниць знань з оператором відношення  $\sigma$  “один до одного” на множині  $X$  одиниць знань, що можна записати як

$$q_i < \sigma > x_i \in X .$$

4. Фактологічні питання  $q_i$  визначають існування явища або ситуації, які позначимо  $S_1$ , а факт їх існування з об’єктом  $S$  у момент часу  $t$ , визначає оператор  $\psi$ . Отже можна записати

$$S(t) < \psi > S_1(t) , \dots , S_n(t) .$$

5. Функціональні (цільові або причинні) питання  $q_i$  “для чого – навіщо – чому” дозволяють виявити характерні зміни об’єкта  $S$  в ланцюжку причинно-слідчих зв’язків

$$\rightarrow S_1(t-2) \rightarrow S_1(t-1) \rightarrow \rightarrow S_1(t) \rightarrow S(t+1) \rightarrow \dots$$

6. Структурні питання  $q_i$  “із чого” (або з яких частин складається) спрямовують сприйняття на аналіз зовнішнього вигляду об’єкта  $S$ , його структури і складових його частин  $S_1, S_2, \dots, S_n$ , що за допомогою оператора  $\chi$  утворять ціле:

$$S < \chi >> S_1, S_2, \dots, S_n .$$

7. Проблемно-операційні завдання  $q_i$  з метою розв’язання поставленої задачі припускають використання змістовних одиниць  $z_i \in Z$  знань поза межами розглядуваної множини  $X$  знань, що формально відображується

$$S < \sigma > x_i \in X, z_i \in Z .$$

Автоматизація процесу контролю знань дозволяє застосувати багатокритеріальну оцінку та значно спростити функцій викладача та зменшити суб’єктивний фактор при оцінюванні знань студента.

Розглянемо структуру тестової системи (рис.2) та методика формування кінцевої оцінки  $ball_{T_i}$  за результатами тестування та виведемо функціональну залежність знань оператора від впливу часу  $t$  та вагових коефіцієнтів  $\mu_q$ , які характеризують вклад кожного елементу знань в знання за розділом або темою

$$ball_{T_i} = f(ball_q, ball_{max1}, ball_{min1}, ball_{max2}, ball_{min2}, M_T, M_q, t, t_{max}) ,$$

де  $t_{max}$  – час що виділяється на відповідь та залежить від ваги питання  $M_q$ ,  $ball_{max1}$  та  $ball_{min1}$  – відповідно максимальний та мінімальний відносний бал, який може бути призначено за введення відповіді, що порівнюється з еталоном,  $ball_{max2}$  та  $ball_{min2}$  — відповідно максимальний та мінімальний відносний бал, який може бути призначено за вибір відповіді із запропонованих варіантів,  $t$  – час, затрачений на відповідь,  $M_T$  – вага теми відносно розділу, модулю або дисципліни.

Формування тестових запитань проводиться таким чином. В базі даних експертно задається еталон та варіанти відповіді, з якими в процесі тестування проводиться порівняння з відповіддю користувача. При цьому кожний варіант відповіді характеризує ступень відповідності еталону і оцінюється в шкалі розмитих множин.



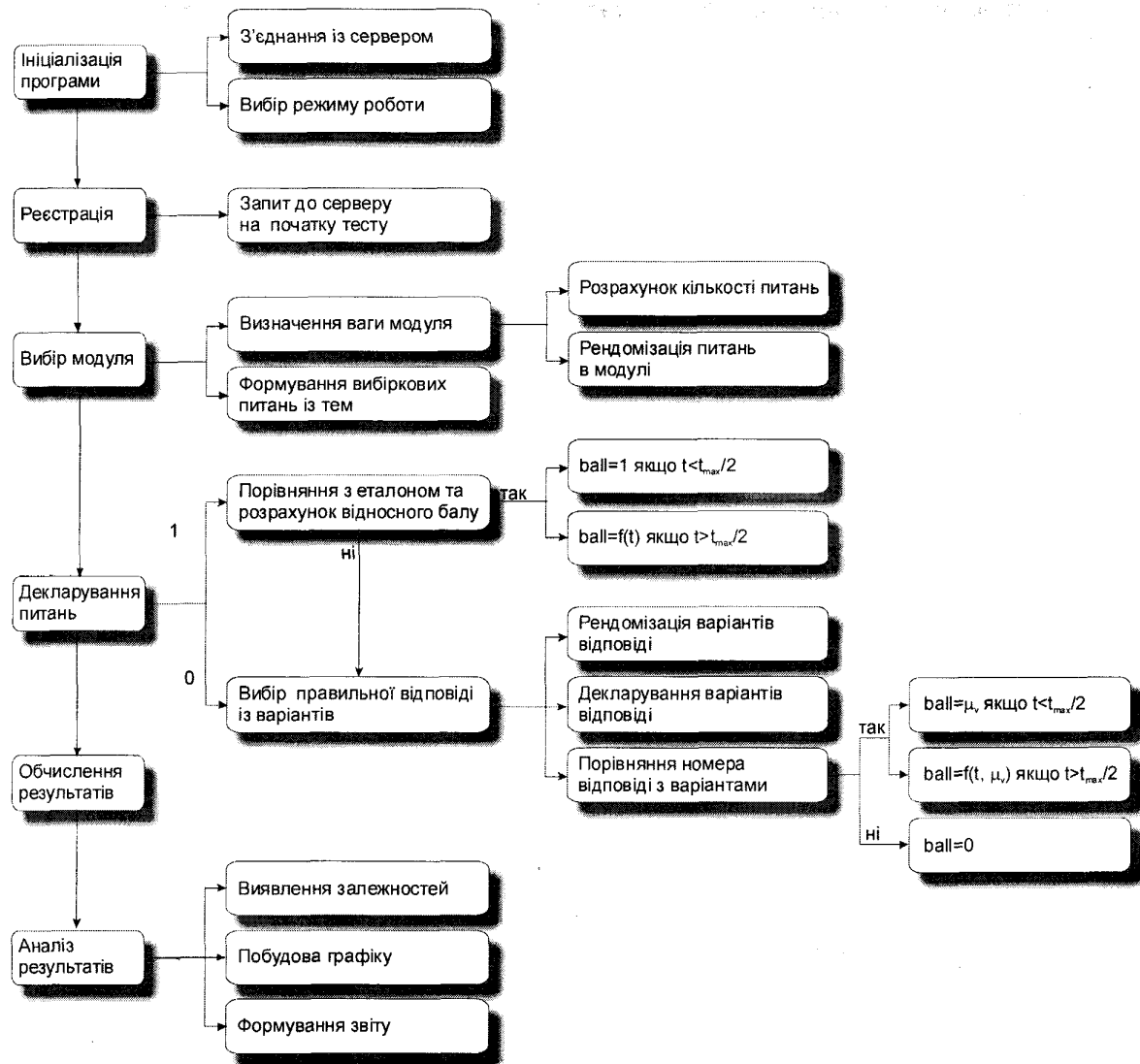


Рис 2. Структурна модель тестової системи

На етапі структуривання наукового змісту навчання експертно задаються: ваговий коефіцієнт  $\hat{r}_q$  кожної теми; ваговий коефіцієнт  $\mu_q$  тестового запитання, що однозначно відповідає елементарному інформаційному об'єкту  $x_i$ .

За кожне тестове питання об'єкт навчання отримує бал  $ball_q$ , що розраховується за формулою:

$$ball_q = ball \cdot \hat{r}_q,$$

де  $ball$  - відносний бал, який отримує студент.

На першому етапі процесу тестування відповідь порівнюється з еталоном. Час  $t_{max}$ , що виділяється на надання відповіді залежить від ваги питання  $\mu_q$ . При цьому системою динамічно враховується час, який об'єкт навчання витратив на відповідь. Таким чином, можна вивести функціональну залежність відносного балу  $ball$ , що призначається за відповідь від затраченого часу  $t$ :

$$\text{ball} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } 0 < t < \frac{t_{\max}}{2}; \\ 1 - \left( \frac{2t - t_{\max}}{t_{\max}} \right) \cdot \left( \frac{\text{ball}_{\max 1} - \text{ball}_{\min 1}}{\text{ball}_{\max 1}} \right), & \text{якщо } \frac{t_{\max}}{2} < t < t_{\max} \end{cases}$$

Якщо об'єкт навчання надав невірну відповідь, або час, виділений на відповідь, закінчився, переходимо до другого етапу тесту.

На другому етапі експертного оцінювання знань пропонуються вибір правильної відповіді із декількох варіантів. При цьому кожному варіанту відповіді експертно призначається ваговий коефіцієнт  $\mu_v$ , який дозволяє врахувати ступень відповідності відповіді еталону. Час  $t_{\max}$ , що виділяється на відповідь залежить від ваги питання  $\mu_q$ . При цьому динамічно враховується час, який оператор витратив на вибір варіанту відповіді. На цьому етапі функціональна залежність відносного балу ball, що призначається за відповідь від затраченого часу  $t$ , має такий спосіб:

$$\text{ball} = \begin{cases} rK, & \text{якщо } 0 < t < \frac{t_{\max}}{2}; \\ rK - \left( \frac{2t - t_{\max}}{t_{\max}} \right) \cdot \left( \frac{\text{ball}_{\max 2} - \text{ball}_{\min 2}}{\text{ball}_{\max 2}} \right), & \text{якщо } \frac{t_{\max}}{2} < t < t_{\max} \end{cases}$$

У зв'язку з тим, що при візуальному виборі варіанта іде звернення до короткочасної пам'яті і можливий процес „впізнання” інформації, відносний бал  $\text{ball}_{\max 2} < \text{ball}_{\max 1}$ .

У випадку слабоформалізованого середовища формування наукового змісту навчання, коли немає можливості однозначно задати еталон відповіді, процес оцінювання починається відразу з другого етапу, враховуючи, що  $\text{ball}_{\max 2} = \text{ball}_{\max 1}$ .

При прийнятті рішення про рівень  $\text{ball}_{rez}$  знань за дисципліною та проведення рубіжного контролю типу диференційований залік або екзамен проводять згортання оцінок за темами  $T_i$  у такий спосіб:

$$\text{ball}_{rez} = \sum_{i=1}^m \text{ball}_{T_i} \cdot rK_i^*$$

де  $m$  – кількість тем за дисципліною;  $rK_i^*$  – відносна вага теми, що задовольняє принципу повноти знань за дисципліною і дорівнює  $\sum_{i=1}^m rK_i^* = 1$ .

Технологія розподіленого мережного навчання припускає створення на базі комп'ютерних класів ефективного групового й індивідуального навчання в традиційному навчальному процесу. При наявності домашніх комп'ютерів мережне навчання забезпечує технічну можливість працювати не тільки в комп'ютерних класах навчального закладу.

Таким чином застосування комп'ютерної технології дозволяє відповідно до запропонованого підходу складати заочно іспити з урахуванням результатів тестування в інтерактивному режимі по мережі Internet. Розглянута методика дозволяє підвищити ефективність, об'єктивність і гнучкість процесу оцінювання знань завдяки впровадженню в процес навчання новітніх інформаційних технологій діагностики знань.

Distance Education System should provide consecutive guided ducation process, obtaining knowledge and skills, other process of maintenance of a specialist's qualification. The scientific research in field of computer training system and estimation of training process is described.

1. П.В.Дмитренко, Ю.А.Пасічник. Дистанційна освіта. Бібліотека працівника освіти. Київ:1999.
2. Про затвердження Програми розвитку системи дистанційного навчання на 2004-2006 роки // Постанова Кабінету Міністрів України від 23 вересня 2003 р. N 1494 – Київ.
3. Шибицька Н.М. Еталонний підхід експертного оцінювання дидактичних знань // Вісник НАУ. №.3, 2002 – Київ: КМУЦА, 2002.-С.166-170.
4. Савельев А.Я., Новиков В.А., Лобанов Ю.И. Подготовка информации для автоматизированных обучающих систем / под ред. Проф. А.Я. Савельева. – М.: Высшая школа, 1986. - 176 с.

## МОДЕЛІ ПЕРВИННИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ РЕФРАКТОМЕТРІВ НА ОСНОВІ ПРОЗОРИХ ПОРОЖНИСТИХ ЦИЛІНДРІВ

Теленик С.Ф., Гришко В.Ф., Долина В.Г.

### Вступ

У наш час проблема комплексної автоматизації у різних галузях народного господарства є однією з ключових. Її вирішення відноситься до одного з пріоритетних напрямків науково-технічної політики у всьому світі. Розв'язання цієї проблеми нерозривно пов'язане з розробкою принципово нових вимірювальних систем і комплексів, що базуються на сучасних досягненнях науки і техніки, які використовують нові способи одержання інформації. Одним із найважливіших параметрів технологічних процесів у багатьох галузях народного господарства є вміст сухих речовин у рідких продуктах.

Для визначення вмісту сухих речовин найбільше розповсюдження отримали оптичні прилади, зокрема рефрактометри, які відзначаються високою точністю у порівнянні з вібраційними, ультразвуковими, поплавковими та іншими засобами. Але можливості створення автоматичних рефрактометрів для визначення вмісту сухих речовин у рідких продуктах за традиційною схемою з використанням оптичних призм обмежені умовами переробки рідких продуктів, які призводять до швидкого забруднення чутливих елементів - призм. Конструктивні особливості первинних перетворювачів на основі призм не дозволяють швидко та ефективно їх промивати. Цих недоліків позбавлені первинні перетворювачі на основі прозорих циліндричних елементів [1], які можуть бути легко підключені до магістралі з рідиною, що промиває. Крім того, собівартість первинних перетворювачів на основі прозорих порожнистих циліндрів у кілька разів нижча від собівартості первинних перетворювачів на основі оптичних призм.

Для забезпечення серійного впровадження автоматичних рефрактометрів на основі прозорих циліндричних елементів необхідно провести фундаментальні дослідження.

### Визначення проблеми

Для проведення досліджень необхідно розробити математичну модель первинного перетворювача, яка б відображала залежність проходження світла від показника заломлення рідини, що вимірюється. Розроблену модель потрібно дослідити щодо впливу різноманітних параметрів, насамперед геометричних розмірів прозорого порожнистого циліндра (ППЦ), відхилень геометричних характеристик ППЦ, взаємного розташування випромінювача, ППЦ та світлочутливого елемента, температури, прозорості рідини, фізичних властивостей ППЦ. Для цього потрібно реалізувати зазначену модель на комп'ютері.

В цій статті проводиться розробка математичної моделі первинного перетворювача, її дослідження на предмет впливу геометричних розмірів ППЦ, взаємного розташування випромінювача, ППЦ та світлочутливого елемента, деяких фізичних властивостей ППЦ.

### Обґрунтування методу дослідження

Промені, що входять у порожнистий прозорий циліндричний елемент під певним кутом зазнають явища повного внутрішнього відбиття на межі внутрішньої поверхні цього елемента та вимірюваного середовища. Кути входу та виходу таких променів пов'язані між собою математичними залежностями, які включають показники заломлення циліндричного елемента, навколишнього та вимірюваного середовищ. Визначення цих залежностей дозволить встановити положення випромінювача та фотоприймача, поліпшити конструкцію первинних перетворювачів.

Для створення математичних моделей рефрактометрів на основі запропонованого способу визначення вмісту сухих речовин у рідких продуктах з використанням прозорих порожнистих елементів необхідно дослідити проходження світла через циліндричні об'єкти. Дослідження будемо проводити з використанням методів комп'ютерної оптики. Комп'ютерна оптика базується на двох основних підходах у вивченні природи світла та пов'язаних з ним процесів – це фізична та геометрична оптика [2].

На основі визначення точносних характеристик результатів досліджень проходження випромінювання через прозорі геометричні об'єкти методами фізичної та геометричної оптики, встановлено, що для більшості інженерних розрахунків доцільно використовувати закони геометричної оптики, оскільки вони забезпечують високу точність розрахунків і потребують менше часу та об'ємів пам'яті ЕОМ [3].

### Розробка моделі проходження світла крізь ППЦ

Розглянемо проходження випромінювання через прозорий циліндр із рідиною. Порожнистий прозорий циліндр (ППЦ) з рідиною представлений у вигляді двох середовищ з різними показниками заломлення  $n_y$  і  $n_{ж}$  відповідно.

У процесі опромінення ППЦ пучком рівнобіжних променів відбувається їхнє розсіювання. На характеристику розсіювання впливає також рідина, що знаходиться у середині ППЦ. Для вирішення задачі розподілу вихідного потоку ППЦ у просторі правомочна заміна пучка рівнобіжних променів на промінь, що сканує поперек поверхні ППЦ паралельно лінії реєстрації [4].

Проміжок відхилення променя від осі, що проходить через центр ППЦ, можна розділити на три зони:

1.  $0 \leq x \leq n_{ж} \cdot a$
2.  $n_{ж} \cdot a < x < n_y \cdot a$
3.  $n_y \cdot a < x \leq b$

де  $x$  – координата місця входу променя в ППЦ;  $a$  – внутрішній радіус ППЦ;  $b$  – зовнішній радіус ППЦ.

Хід променів для кожної з зон показаний на рис. 1-3.

Багаторазово відбиті промені, що не роблять істотного впливу на результуючу картину розсіювання, при цьому не розглядаються. Промені першої зони зазнають заломлення чотири рази на границях двох середовищ і виходять із ППЦ під кутом  $\theta$ . Визначаємо цей кут через параметри ППЦ і місце входу променя  $x$ .

Кут  $\theta_1$  визначається через кути падіння і заломлення за допомогою наступного рівняння:

$$\theta = -\alpha_7 + \alpha_6 - \alpha_5 + \alpha_4 + \alpha_3 - \alpha_2 + \alpha_1 - \alpha_0 \quad (1)$$

З огляду на рівність кутів  $\alpha_0 = \alpha_7$ ,  $\alpha_1 = \alpha_6$ ,  $\alpha_2 = \alpha_5$ ,  $\alpha_3 = \alpha_4$  рівняння (1) запишемо в наступному вигляді:

$$\theta = 2(\alpha_3 - \alpha_2 + \alpha_1 - \alpha_0) \quad (2)$$

Визначимо кути  $\alpha_0$ ,  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  через параметри ППЦ і рідини, а також координату  $x$ :

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{x}{b} \quad (3)$$

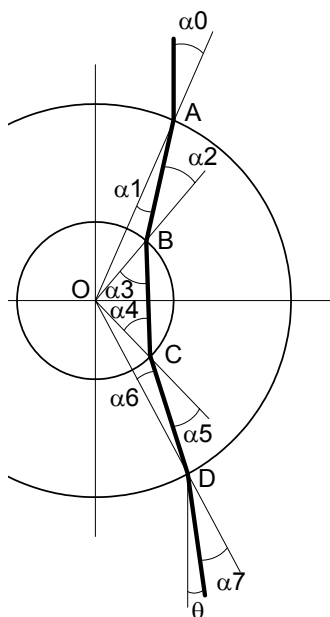


Рис. 1. Хід променів для зони

1.  $0 \leq x \leq n_{жс} \cdot a$ .

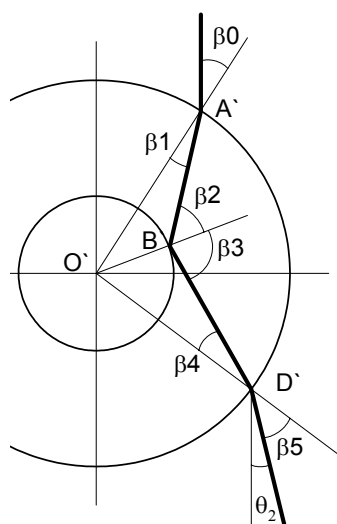


Рис. 2. Хід променів для зони

2.  $n_{жс} \cdot a < x < n_{ч} \cdot a$ .

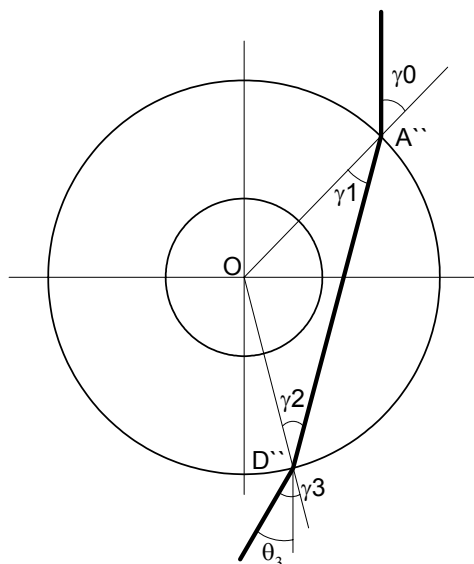


Рис. 3. Хід променів для зони 3.  $n_{ч} \cdot a < x \leq b$ .

Відповідно до рис. 1, кут  $\alpha_1$  знаходимо з закону заломлення променя на межі двох середовищ:

$$\frac{\sin \alpha_0}{\sin \alpha_1} = n_{ч} \quad (4)$$

Підставляючи в (4) значення  $\alpha_0$  і вирішуючи його відносно  $\alpha_1$ , одержимо:

$$\alpha_1 = \frac{\arcsin(x)}{n_{чм} \cdot b} \quad (5)$$

З метою визначення кута  $\alpha_2$  розглянемо  $\triangle OAB$  (рис. 1). У ньому маютья дві відомі сторони  $OA=b$ ,  $OB=a$ , а також кут  $\alpha_1$ . Відповідно до теореми синусів запишемо:

$$\frac{b}{\sin(180^\circ - \alpha_2)} = \frac{a}{\sin(\alpha_1)} \quad (6)$$

Вирішуємо (6) відносно  $\alpha_2$ :

$$\alpha_2 = \arcsin\left(\frac{x}{n_y \cdot a}\right) \quad (7)$$

знаходимо за законом Снеллія:

$$\frac{\sin(\alpha_2)}{\sin(\alpha_3)} = \frac{n_{жс}}{n_y} \quad (8)$$

вирішуємо щодо невідомого кута  $\alpha_3$ :

$$\alpha_3 = \arcsin\left(\frac{x}{n_{жс} \cdot a}\right) \quad (9)$$

Підставляючи (3),(5),(7),(9) знаходимо кут  $\theta_1$  через параметри ППЦ, рідини і координату місця входу променя:

$$\theta_1 = 2 \cdot \left( \arcsin\left(\frac{x}{n_{жс} \cdot a}\right) - \arcsin\left(\frac{x}{n_y \cdot a}\right) + \arcsin\left(\frac{x}{n_y \cdot b}\right) - \arcsin\left(\frac{x}{b}\right) \right) \quad (10)$$

Промені, що входять у ППЦ у другій зоні, двічі зазнають за час проходження ППЦ заломлення і один раз відбиття від внутрішньої стінки ППЦ. Кути  $\theta_2$  (рис. 2), під якими промені виходять із ППЦ, визначаються через кути падіння, заломлення і відбиття в такий спосіб:

$$\theta = 180 - \beta_5 + \beta_4 - \beta_3 - \beta_2 + \beta_1 - \beta_0 \quad (11)$$

З огляду на рівність кутів  $\beta_5 = \beta_0$ ,  $\beta_4 = \beta_1$ ,  $\beta_3 = \beta_2$ , рівняння (11) запишемо у виді:

$$\theta_2 = 2(90 - \beta_2 + \beta_1 - \beta_0) \quad (12)$$

Визначимо кути  $\beta_0$ ,  $\beta_1$ ,  $\beta_2$  через координати входу променя, параметри ППЦ і рідини:

$$\beta_0 = \arcsin \frac{x}{b} \quad (13)$$

Відповідно до закону Снеллія [4] запишемо:

$$\frac{\sin \beta_0}{\sin \beta_1} = n_y \quad (14)$$

Вирішуємо (14) відносно  $\beta_1$ :

$$\beta_1 = \arcsin \frac{\sin \beta_0}{n_{жс}} = \arcsin \frac{x}{n_y \cdot b} \quad (15)$$

З  $\Delta D'A'B'$  відповідно до теореми синусів запишемо:

$$\frac{b}{\sin(180^\circ - \beta_2)} = \frac{a}{\sin \beta_1} \quad (16)$$

Вирішуємо (16) відносно  $\beta_2$ :

$$\beta_2 = \arcsin \frac{b \cdot \sin \beta_1}{a} = \arcsin \frac{x}{n_y \cdot a} \quad (17)$$

Підставляємо значення через параметри ППЦ і координату місця входу  $x$ , кутів з (13), (4),(7) у формулу (12):

$$\theta_2 = 2 \cdot \left( 90^\circ - \arcsin \frac{x}{n_y \cdot a} + \arcsin \frac{x}{n_y \cdot b} - \arcsin \frac{x}{b} \right) \quad (18)$$

Рівняння (18) характеризує кути відхилення  $\theta_2$  променів, що вийшли з ППЦ у другій зоні, через параметри ППЦ і координати місця входу променів  $x$ .

На рис. 3 показана траєкторія променя, що входить у ППЦ у третій зоні. Промені цієї зони проходять ППЦ, не торкаючись внутрішньої стінки і рідкого середовища, що досліджується. Визначимо кут  $\theta_3$  через кути падіння і заломлення:

$$\theta_3 = \gamma_3 - \gamma_2 - \gamma_1 + \gamma_0 \quad (19)$$

З огляду на рівність кутів  $\gamma_0 = \gamma_3$ ,  $\gamma_2 = \gamma_1$ , запишемо:

$$\theta_3 = 2(\gamma_0 - \gamma_1) \quad (20)$$

Визначаючи кути  $\gamma_1$  і  $\gamma_0$  через параметри ППЦ і місце входу променя, одержимо:

$$\theta_3 = 2 \cdot (\arcsin \frac{x}{b} - \arcsin \frac{x}{n_u \cdot b}) \quad (21)$$

Кути  $\theta_1$ , обумовлені (21), характеризують відхилення променів, що входять у ППЦ у третій зоні.

Використовуючи формули (10), (18) і (21), побудовані графіки, що характеризують залежності між кутами  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  і координатами місць входу променів (рис. 4). При цьому  $a = \text{const}, b = \text{const}, n_u = \text{const}$ . Значення  $n_{ж1}, n_{ж2}$  і  $n_{ж3}$  також обрані фіксованими і характеризують криві 1, 2 і 3.

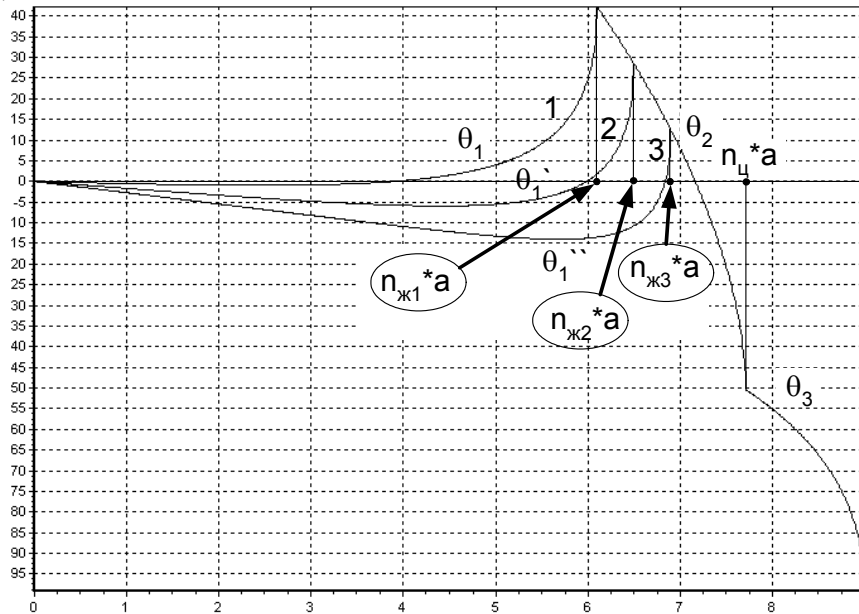


Рис. 4. Залежності  $\theta(x)$  при різних  $n_{ж}$

На рис. 4 добре помітні три характерні криві. Крива  $\theta_1$  характеризує зону проходження променів через досліджувану рідину,  $\theta_2$  – зону повного внутрішнього відбиття і  $\theta_3$  – зону проходження через стінки ППЦ. Крім того, зі збільшенням показника заломлення рідини зона повного внутрішнього відбиття зменшується.

У такий спосіб проведено дослідження проходження пучка рівнобіжних променів через ППЦ, яке показало, що кути відхилення  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  розділяються в залежності від місця входу променя  $x$ .

Отримано математичні залежності між кутами відхилення променів  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , оптико-геометричними параметрами ППЦ, координатою входу променя  $x$  і показником заломлення досліджуваної рідини.

### Визначення передавальної характеристики первинного перетворювача

З метою визначення передавальної характеристики первинного перетворювача концентрації розчинів розглянемо хід променів через вимірювальний елемент первинного перетворювача, показаний на рис. 5.

Відповідно до рівняння (8) граничний кут виходу променів із прозорого циліндричного об'єкту, що зазнали явище повного внутрішнього відбиття за умови  $x_i = a \cdot n_{ж}$ , характеризує положення фронту потоку світла, що попадає на фотоприймач, світлочутливий шар якого розташований у площині, яка проходить через пряму BD та перпендикулярна осі ОС. У загальному випадку пряма BD розташована під кутом  $90^\circ - \beta$  щодо осі виміру АВ, яка перетинає вісь прозорого циліндричного об'єкту.

Визначимо математичну залежність між положенням фронту світлових променів  $F_{oi}$  відносно початку відліку фотоприймача і показником заломлення вимірюваної рідини  $n_{ж}$ .



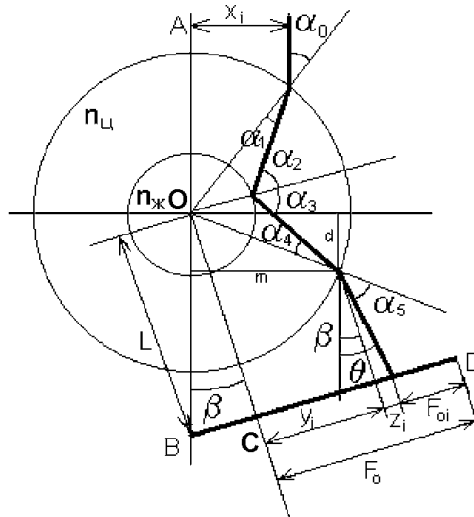


Рис. 5. Хід променів у первинному перетворювачі

Якщо розміри світлочутливого шару прийняти рівним  $F_0$ , кінець світлочутливої лінійки розмістити в місці підстави перпендикуляра, що опущений з центру циліндричного об'єкту на вісь  $BD$ , то можна записати рівняння:

$$F_{oi} = F_0 - F_i = F_0 - y_i - z_i \quad (22)$$

де  $y_i = b \cdot \sin(\alpha_0 + \theta_i - \beta)$ ,  $z_i = (L - M_i) \cdot \operatorname{tg}(\theta_i - \beta)$ ,  $L$  – відстань від центра циліндричного об'єкту до світлочутливого шару,  $M_i = b \cdot \cos(\alpha_0 + \theta_i - \beta)$ .

Приймаючи до уваги рівняння (8), залежність  $x_i = a \cdot n_{ж}$ , а також розташування світлочутливого шару на рис. 5, рівняння (22) запишемо у виді:

$$\begin{aligned} F_{oi} &= F - b \cdot \sin\left(\theta_i + \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b}\right) - \beta\right) - \left[ L - b \cdot \cos\left(\theta_i + \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b}\right) - \beta\right) \right] \cdot \operatorname{tg}(\theta_i - \beta) = \\ &= F_0 - b \cdot \sin\left(\pi - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{n_{ж}}{n_{ц}}\right) + 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b \cdot n_{ц}}\right) - \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b}\right) - \beta\right) - \\ &- \left[ L - b \cdot \cos\left(\pi - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{n_{ж}}{n_{ц}}\right) + 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b \cdot n_{ц}}\right) - \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b}\right) - \beta\right) \right] \times \\ &\times \operatorname{tg}\left(\pi - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{n_{ж}}{n_{ц}}\right) + 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b \cdot n_{ц}}\right) - 2 \cdot \arcsin\left(\frac{a \cdot n_{ж}}{b}\right) - \beta\right) \end{aligned} \quad (23)$$

Останнє рівняння встановлює залежність між параметром  $n_{ж}$ , що вимірюється, і вихідною величиною  $F_{oi}$ , що визначає положення фронту світлового потоку, що зазнав явища повного відбиття, і дозволяє, з урахуванням геометричних розмірів оптичного датчика, обчислити їхнє необхідне положення в просторі для забезпечення функції виміру.

### Комп'ютерна реалізація математичної моделі первинного перетворювача рефрактометра.

З метою дослідження передавальних характеристик первинних перетворювачів рефрактометрів на основі порожнистих прозорих циліндрів розроблена програма, написана на мові Delphi, що дозволяє емулювати роботу досліджуваного об'єкта з різними параметрами, проводити розрахунки вихідних параметрів у залежності від зміни вхідних параметрів, працювати з різними таблицями відповідності показників заломлення рідин процентному вмісту сухих речовин у розчинах, отримувати графіки результатів досліджень. Розроблена програма повинна забезпечувати розрахунок основних параметрів первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів за формулами (18), (23), а також визначати координати виходу променів з циліндру, що зазнали явища повного внутрішнього відбиття.

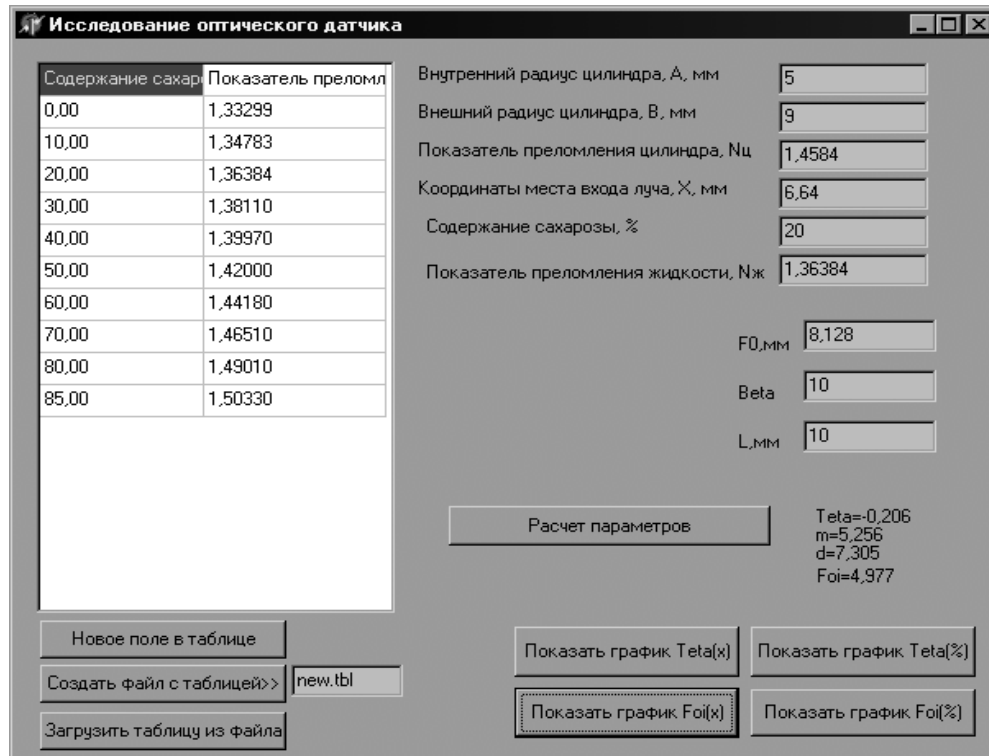


Рис.6. Вікно програми дослідження математичної моделі первинних перетворювачів рефрактометрів

При розробці програми ставилися такі завдання:

- результати програми повинні бути наочні;
- у програмі повинне бути передбачене ручне введення змінних параметрів;
- розрахунок вихідних параметрів відбувається автоматично відповідно до введених параметрів;
- можливість зміни таблиці відповідності процентного вмісту сухих речовин і показника заломлення;
- програма повинна формувати результати досліджень у вигляді графіків;
- легкість у роботі.

Вхідними параметрами є:

1. Внутрішній радіус циліндра  $a$ , мм;
2. Зовнішній радіус циліндра  $b$ , мм;
3. Відстань світлочутливої пластини від центру циліндра  $L$ , мм;
4. Довжина світлочутливої пластини  $F_0$ , мм ;
5. Кут відхилення пластини від осі виміру  $\beta$ , град;
6. Процентний вміст сахарози (або іншої розчинної речовини);
7. Відстань променя освітлення від осі циліндра  $x$ , мм;
8. Показник заломлення циліндра  $n_c$ ;

Вихідними даними є:

1. Межа неосвітленого відрізка  $F_{oi}$ , мм;
2. Координати, що визначають точку виходу променів з циліндру  $m$  і  $d$ , мм;
3. Кут відхилення променя на виході з циліндру  $\theta$ , град.

Для одержання передавальної характеристики первинного перетворювача концентрації розчинів введемо чисельні значення параметрів цього первинного перетворювача  $a=5$ мм,  $b=9$ мм,  $L=10$ мм,  $F_0 = 8.128$ мм,  $\beta=10^\circ$  і визначимо функцію  $F_{oi}=f(n_{жi})$  для декількох

значень  $n_{ц}$ , відповідно до складеної програми. За результатами проведених розрахунків побудуємо графік на рис. 7.

Побудований графік характеризується не лінійністю, максимальне відносне значення якої в діапазоні 1.3329 до 1.4584 не перевищує 11%.

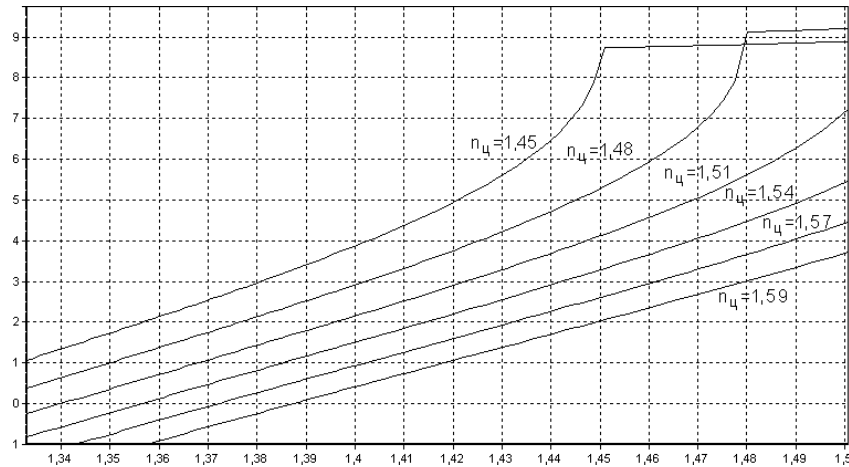


Рис. 7. Графік залежності  $F_{oi}$  від  $n_{ж}$ .

Для зменшення похибки, обумовленої не лінійністю характеристики перетворення, може бути використаний, наприклад, метод кусочно-лінійної апроксимації. Відомо, що для зменшення цього виду похибки весь діапазон виміру вхідної величини необхідно розбити на піддіапазони, число яких визначається залежністю:

$$m = \sqrt{\frac{A_n}{A_{nn}}}, \quad (24)$$

де  $A_{nn}$  і  $A_n$  – абсолютні похибки, обумовлені відповідно не лінійністю кожного з піддіапазонів і повного діапазону виміру вхідної величини,  $m$  – число ділянок кусочно-лінійної апроксимації. Тому, при поділі діапазону виміру на 10 ділянок, з похибкою, що не перевищує задану, усередині ділянки функції перетворення можна вважати лінійними. Крім того, графік на рис.7 може бути описаний функцією:

$$F_{oi} = A + B \cdot n_{жi} + C \cdot n_{жi}^2 \quad (25)$$

де  $A, B, C$  – постійні коефіцієнти квадратного полінома, що розраховуються рішенням системи рівнянь:

$$\begin{aligned} F_{oi} &= A + B \cdot n_{ж1} + C \cdot n_{ж1}^2 \\ F_{oi} &= A + B \cdot n_{ж2} + C \cdot n_{ж2}^2 \\ F_{oi} &= A + B \cdot n_{ж3} + C \cdot n_{ж3}^2 \end{aligned} \quad (26)$$

де  $n_{ж1}, n_{ж2}, n_{ж3}$  – значення показників заломлення досліджуваної рідини на початку, середині і кінці діапазону виміру.

Фотоприймач у виді оптоелектронного перетворювача здійснює перетворення геометричного положення фронту світлового потоку в інтервал часу  $T_i$ , так що:

$$T_i = K_{оэн} \cdot F_{oi} \quad (27)$$

При заповненні інтервалу часу  $T_i$  лічильними імпульсами частотою  $f_0$  на виході первинного перетворювача одержуємо кількість імпульсів:

$$N_i = T_i \cdot f_0 = K_{оэн} \cdot F_{oi} \cdot f_0 \quad (28)$$

З урахуванням останньої рівності характеристика перетворення первинного перетворювача датчика концентрації розчинів приймає вид:

$$N_i = K_{оэн} \cdot f_0 (A + B \cdot n_{жi} + C \cdot n_{жi}^2) \quad (29)$$

На практиці віддають перевагу кусочно-лінійній апроксимації з розбивкою діапазону виміру на  $m$  ділянок і лінійним представленням інформації у межах проміжного діапазону.

Розроблена математична модель первинного перетворювача вмісту сухих речовин у рідких продуктах, рівняння (23), дозволила встановити, що лінійність передавальної характеристики залежить зокрема від матеріалу циліндричного чутливого елемента та кута  $\beta$ , під яким розміщено чутливий шар фотоприймача по відношенню до осі вимірювання. Для порівняння наведені характеристики перетворення для кутів  $\beta_1 = -30^\circ$ ,  $\beta_2 = 0$  та  $\beta_3 = 30^\circ$  на рис. 8 для чутливого елемента з сіталлу ( $n_{\text{д}}=1,5447$ ). Різні матеріали мають різні показники заломлення, що може бути використано для підвищення точності вимірювання.

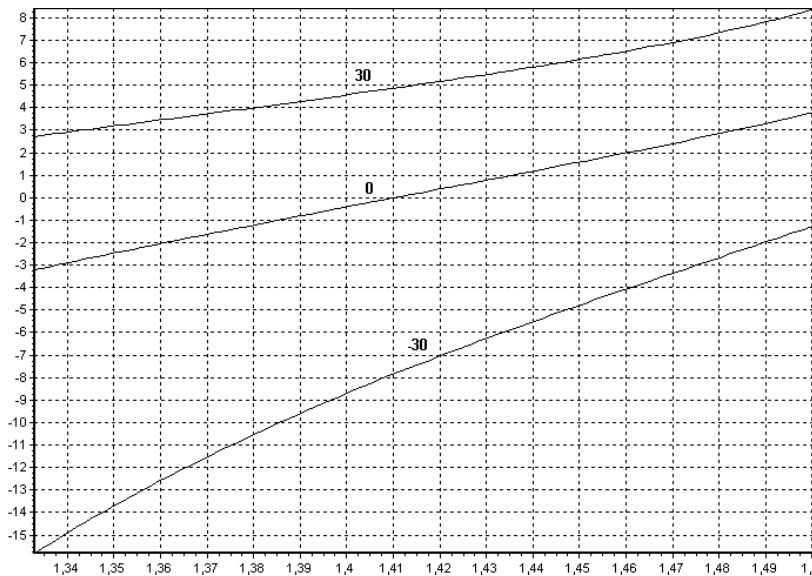


Рис. 8. Графіки залежності  $FoI$  від  $n_{\text{ж}}$  при різних значеннях кута  $\beta$ .

Для графічного аналізу доцільного розташування світлочутливої частини первинного перетворювача по відношенню до чутливого елемента необхідно розрахувати координати місця виходу з ППЦ променів, що зазнали явища повного внутрішнього відбиття (рис.5), за формулами:

$$d = b \cdot \cos(\alpha_0 + \theta_i) \tag{30}$$

$$m = b \cdot \sin(\alpha_0 + \theta_i) \tag{31}$$

Останні залежності дозволяють визначити місце виходу променів з ППЦ, визначити доцільне місце розташування світлочутливого елемента та обмежити проходження променів, що не несуть інформацію про величину, що вимірюється.

**Дослідження математичних моделей первинних перетворювачів для високоточних рефрактометрів**

Отримані моделі первинних перетворювачів на основі прозорих циліндричних елементів (23) дозволяють провести аналіз впливу величин, що входять у ці моделі як складові елементи, на результат вимірювання, знайти способи зменшення похибок вимірювання і запропонувати шляхи створення високоточних лабораторних та автоматичних рефрактометрів.

Проведемо оцінку впливу на результати вимірювання основних параметрів: внутрішнього та зовнішнього діаметрів чутливого елемента, відхилення осі внутрішньої пове-

рхні чутливого елементу від зовнішнього та температури вимірюваної рідини, чутливого елементу та навколишнього середовища.

Основними геометричними параметрами чутливого елементу, що впливають на результати вимірювання, є внутрішній та зовнішній діаметри чутливого елементу, відхилення осі внутрішньої поверхні чутливого елементу від зовнішнього.

Для оцінки впливу внутрішнього та зовнішнього діаметрів чутливого елементу на результати вимірювання підставимо у рівняння (23) значення внутрішнього  $a$  та зовнішнього  $b$  радіусів чутливого елементу спочатку заданих, а потім отриманих у результаті виготовлення чутливого елементу. Задані розміри чутливого елементу: внутрішній радіус  $a = 3,75$  мм та зовнішній радіус  $b = 6,75$  мм, обрані з необхідності забезпечення умови, що  $b > n_{жс} \cdot a$ , а також з необхідності забезпечення вільного проходження вимірюваної величини через внутрішній об'єм чутливого елементу. Виготовлення чутливого елементу з радіусом меншим  $a = 3,75$  мм ускладнює вимірювання сиропів з вмістом сухих речовин більшим 50% в наслідок збільшення їх в'язкості. Ускладнюється також проходження через чутливий елемент з меншим діаметром рідин, що містять додаткові включення, наприклад, мезгу у дифузійному соку цукрового виробництва.

На графіках рисунку 9 показані залежності вихідної величини  $F_{oi}$  від вмісту сухих речовин у вимірюваній рідині для заданих радіусів  $a = 3,75$  мм та  $b = 6,75$  мм (крива 1), радіусів  $a = 3,65$  мм та  $b = 6,65$  мм (крива 2) та радіусів  $a = 3,85$  мм та  $b = 6,85$  мм (крива 3).

На графіках рисунку 10 показані залежності вихідної величини  $F_{oi}$  від вмісту сухих речовин у вимірюваній рідині для заданих радіусів  $a = 3,75$  мм та  $b = 6,75$  мм (крива 1), радіусів  $a = 3,65$  мм та  $b = 6,85$  мм (крива 2) та радіусів  $a = 3,85$  мм та  $b = 6,65$  мм (крива 3). Випадок для кривої 3 на рис.4.2 найбільше ймовірний, тому що пов'язаний з необхідністю полірування внутрішньої та зовнішньої поверхонь чутливого елементу у процесі виготовлення.

Розглянемо вплив на результати вимірювання відхилення осі внутрішньої поверхні прозорого порожнистого циліндру від осі зовнішньої поверхні. Для цього використаємо математичну модель (1.47) та систему рівнянь (2.32).

На рисунку 11 наведено графік залежності вихідної величини первинного перетворювача рефрактометрів від відхилення осі внутрішньої поверхні чутливого елементу від осі зовнішньої поверхні для значень відхилення осей  $\Delta x = \Delta y = 0,05$  мм (крива 1) та  $\Delta x = \Delta y = 0,1$  мм (крива 2) у Декартовій системі координат.

На рисунку 12 наведено графік залежності вихідної величини первинного перетворювача рефрактометрів від кута повороту осі внутрішньої поверхні чутливого елементу навколо осі зовнішньої поверхні для значень відхилення осей  $r_1 = 0,05$  мм (крива 1) та  $r_2 = 0,1$  мм (крива 2) у векторній системі координат.

З графіків на рис.9- 12 видно, що навіть незначні відхилення геометричних розмірів від номінальних, при жорстких допусках виготовлення, приводять до значних похибок вимірювання, що перевищують допустимі похибки 0,2 % ( $B_{гix}$ ) вмісту сухих речовин. Тому треба зробити висновок про необхідність індивідуальної градировки первинних перетворювачів рефрактометрів з метою врахування похибок, що обумовлені неточністю виготовлення чутливих елементів у вигляді прозорих порожнистих циліндрів.

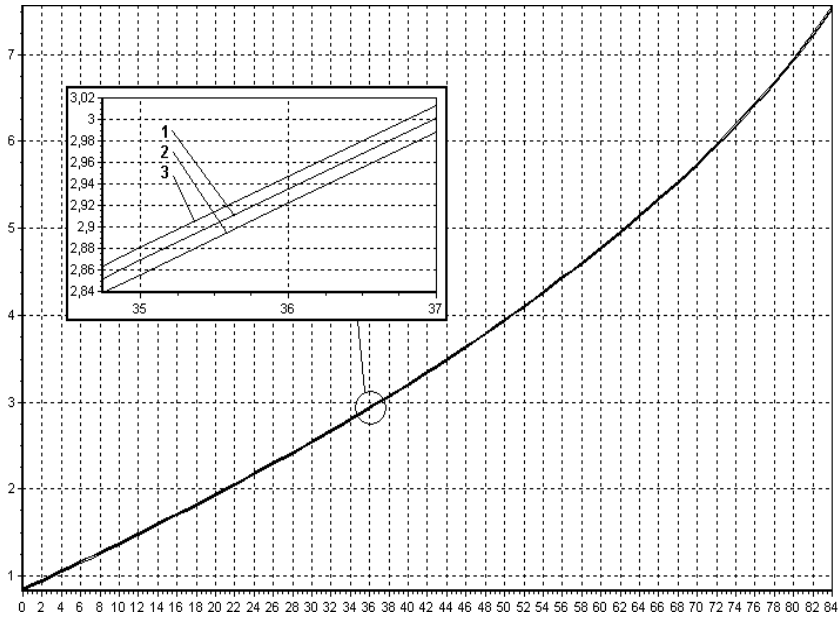


Рис. 9 Залежності вихідної величини  $F_{oi}$  від вмісту сухих речовин у вимірюваній рідині для внутрішніх та зовнішніх радіусів, що синхронно зменшуються чи збільшуються

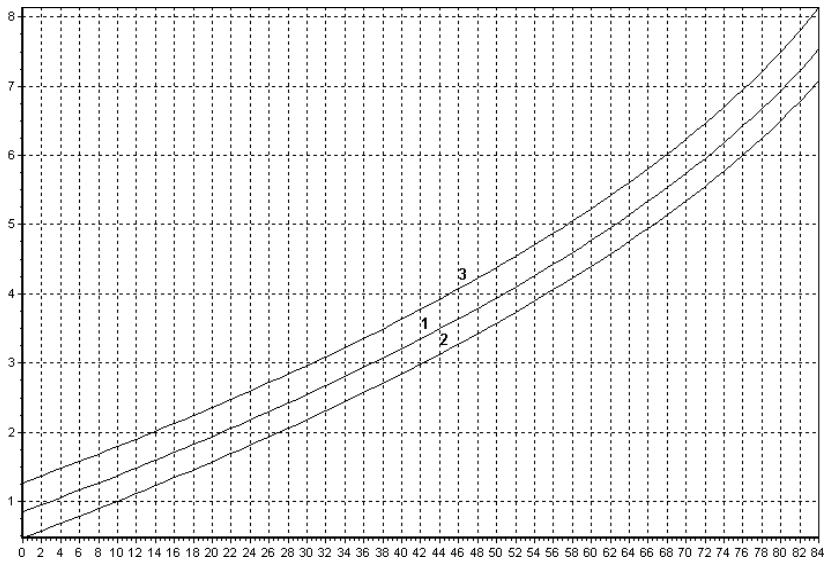


Рис. 10 Залежності вихідної величини  $F_{oi}$  від вмісту сухих речовин у вимірюваній рідині для внутрішніх та зовнішніх радіусів, що зменшуються чи збільшуються у протилежних напрямках

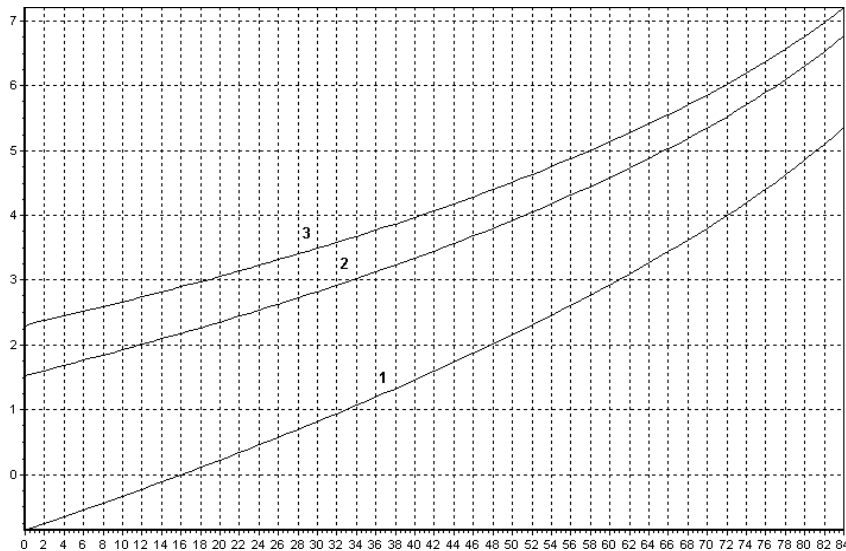


Рис. 11 Залежності вихідної величини первинного перетворювача рефрактометрів від відхилення осі внутрішньої поверхні чутливого елемента від осі зовнішньої поверхні

Математична модель первинного перетворювача (23) та рівняння (30), (31) дозволяють у процесі розробки конструкції рефрактометра розрахувати геометричне положення випромінювача та світлочутливої поверхні фотоприймача по відношенню до прозорого порожнистого циліндру.

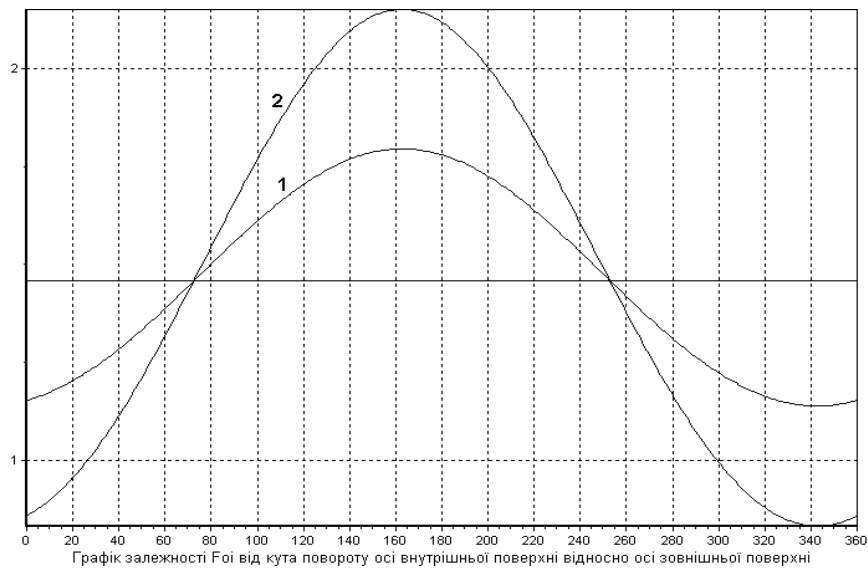


Рис. 12 Залежності вихідної величини первинного перетворювача рефрактометрів від кута повороту осі внутрішньої поверхні чутливого елемента навколо осі зовнішньої поверхні

Для оптимального розташування світлочутливої поверхні фотоприймача з точки зору максимальної чутливості та лінійності перетворення вхідної величини для конкретного матеріалу стінок циліндра з відомим показником заломлення (наприклад, для сіталлу  $n_{ci} = 1,5447$ ) за формулами (18), (30), (31) розраховуються відповідно кут  $\theta$ , координати  $d$  і  $m$  виходу променів, що пройшли крізь циліндр з вимірюваною рідиною та зазнали явище повного внутрішнього відбиття. Знаючи траєкторію променів на виході з чутливого елемента та залежність діапазону зміни вихідної величини у залежності від вхідної (23) з урахуванням відстані  $L$  світлочутливої поверхні від центру прозорого порожнистого

циліндру, можна розрахувати положення фотоприймача по відношенню до чутливого елемента.

Мінімальна не лінійність перетворювача забезпечується вибором потрібного кута  $\beta$  між нормаллю до світлочутливої частини фотоприймача та віссю виміру, що перетинає вісь чутливого елемента, згідно математичної моделі (23) та графіків на рис.6.

Якщо вплив геометричних параметрів чутливого елемента первинного перетворювача може бути виявлений при виготовленні та налаштуванні рефрактометрів, то вплив температури на результати вимірювання проявляється перш за все у процесі експлуатації вимірювачів показника заломлення рідин. Знати вплив температури на результати вимірювання важливо, тому що від температури залежить показник заломлення самої вимірюваної величини, показник заломлення матеріалів чутливого елемента, що приводить до зміни траєкторії променів, які несуть інформацію про вимірювану величину; від температури змінюються геометричні розміри чутливих елементів, що, як виявлено вище ( графіки на рис.9 – 12), приводить до значних похибок вимірювання.

Зміна температури чутливого елемента може бути викликана зміною температури вимірюваної рідини. Зміна температури вимірюваної величини може відбуватися у широких межах – від 0 до 100°C, особливо при вимірюванні процесів, пов'язаних з випарюванням. Тому розглянемо, похибки, що виникають при контролі таких процесів. Якщо у чутливий елемент з температурою 20°C попадає рідина з температурою 80°C, то у прозорому порожньому циліндрі утворюється розподіл температури, що описується рівнянням (2.100). При такому розподілі температури похибка вимірювання розраховується за формулою (23). Результати розрахунків наведені на рисунку 13

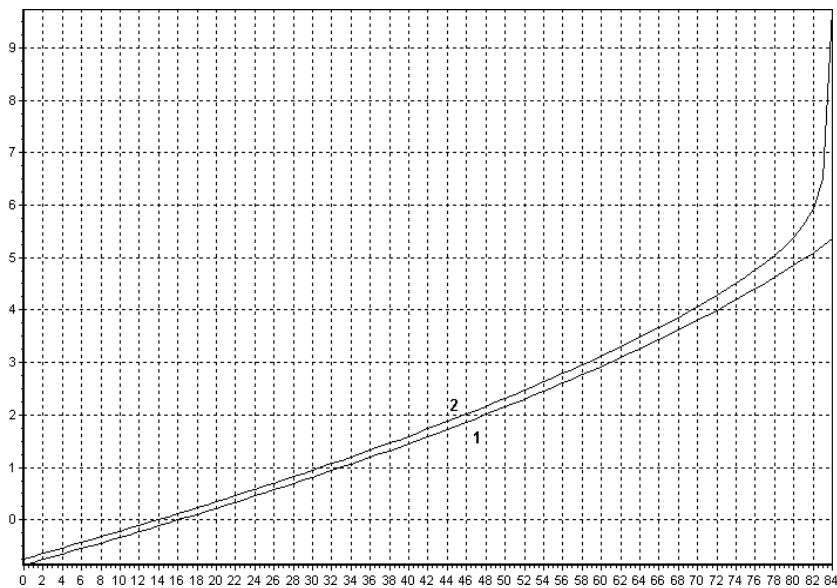


Рис. 13 Перехідні характеристики первинних перетворювачів при різних температурах внутрішньої та зовнішньої стінок чутливого елемента

Через певний проміжок часу температура чутливого елемента набирає рівномірного розподілу, при цьому значення температури залежить від багатьох факторів, основні з яких: температура, швидкість і кількість вимірюваної рідини у чутливому елементі, температура навколишнього середовища, наявність теплообмінника і охолоджуючої рідини, її температура, витрати, розміри теплообмінника, конструктивні матеріали первинного перетворювача. Тому час температурного перехідного процесу визначають експериментально. При рівномірному розподілі температури змінюється показник залом-



лення чутливого елементу та самої вимірюваної рідини. Результати розрахунку похибок вимірювання вхідної величини при зміні температури чутливого елементу для значень 30, 50, 70°C наведені на рисунку 14.

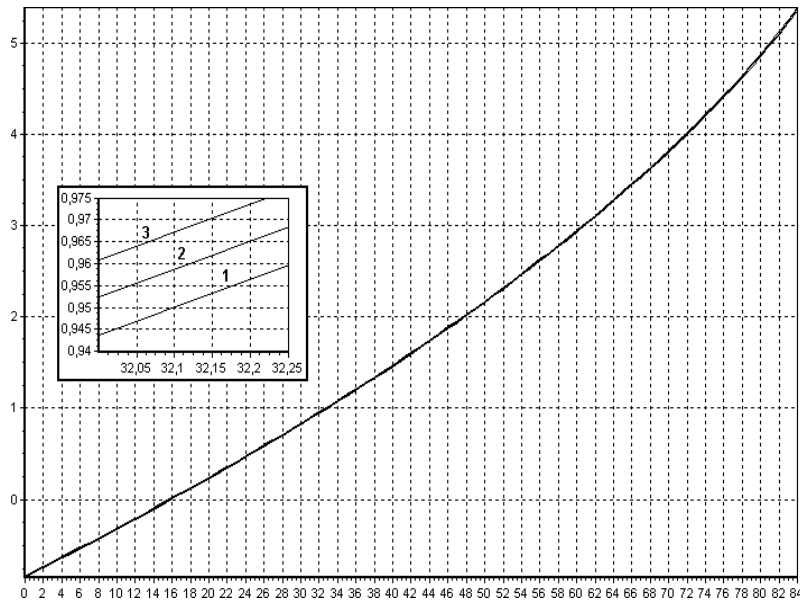


Рис. 14 Перехідні характеристики первинних перетворювачів при рівних температурах

#### Дослідження структурних способів зменшення похибок

Проведені вище дослідження математичних моделей первинних перетворювачів рефрактометрів показали, що у процесі експлуатації рефрактометрів в наслідок впливу дестабілізуючих факторів, перш за все температури, можуть виникати значні похибки вимірювання, не сумісні з потрібною точністю. Тому авторам були запропоновані структурні способи зменшення похибок вимірювання, які реалізовані у пристрої для вимірювання показника заломлення [6].

Зробимо оцінку ефективності запропонованих способів на основі математичної моделі первинних перетворювачів рефрактометрів (23). Запропоновані способи температурної стабілізації та регулювання струму випромінювача слід застосовувати не окремо, а сукупно, тому що вони, виконуючи окремі задачі, доповнюють один одного і забезпечують потрібну точність виміру.

Спосіб температурної стабілізації використовується тому, що дозволяє максимально зменшити вплив температури навколишнього середовища та вимірюваної рідини на точність вимірювання. Можна було обрати метод виміру температури рідини та чутливого елементу з врахуванням додаткових похибок у розрахунках кінцевого результату. Але такий підхід пов'язаний з складністю фізичної реалізації, оскільки первинний перетворювач автоматичного рефрактометра з вимірюваною рідиною являє собою динамічний об'єкт, на який впливає велика кількість дестабілізуючих факторів: температура, швидкість і кількість вимірюваної рідини у чутливому елементі, температура навколишнього середовища, температура та витрати охолоджуючої рідини, розміри теплообмінника, конструктивні матеріали первинного перетворювача. Реалізація вимірів рефрактометричним способом без залучення теплообмінника та охолоджуючої рідини не представляється можливим, оскільки вимірювана рідина з температурою 100°C не може бути підведена до первинного перетворювача, оскільки більшість електронних компонентів розраховані на температуру експлуатації не більше 85°C. При такому впливі дестабілізуючих величин у широкому діапазоні вимірювання, температура чутливого елементу буде постійно змінюватися, врахування цих змін буде ускладнене через чисельність впливових факторів.

Тому у схему вимірювача введено теплообмінник, через який протікає охолоджуюча рідина, що забезпечує певний температурний режим первинного перетворювача рефрактометра, наприклад, забезпечує температуру чутливого елементу 20°C для вимірюваних рідин з температурою, яка не перевищує 40°C, і 50°C для вимірюваних рідин з температурою від 40°C до 100°C.

Введення теплообмінника потребує певних умов його застосування. Треба використати у якості зразкової міри рідину з відомим значенням показника заломлення, наприклад, це може бути дистильована вода чи конденсат у цукровому виробництві. Конденсат може містити сліди цукру, тому слід використовувати конденсат з першої випарної установки, де поява слідів цукру мало ймовірна. Для забезпечення рівних температур зразкової міри і вимірюваної рідини потрібен певний час, тому рекомендовано ввести цикл вимірювання з терміном циклу 2 хвилини. За цей час при достатніх витратах охолоджуючої рідини (2л/хв.) і малому розході вимірюваної рідини і конденсату (0.05 л/хв.) вимоги забезпечення рівності температур будуть забезпечені. При цьому похибки від зміни температури вимірюваної рідини ( $\pm 30^\circ\text{C}$ ) та навколишнього середовища ( $\pm 25^\circ\text{C}$ ) будуть зменшені до похибок від зміни температури теплообмінника ( $\pm 0,5^\circ\text{C}$ ), або в десятки разів.

Теоретичні розрахунки показали, що реалізація запропонованих способів підвищення точності за рахунок температурної стабілізації та регулювання струму випромінювача забезпечує можливість створення автоматичних рефрактометрів, похибка вимірювання яких не перевищує 0,2%, що відповідає вимогам більшості технологічних процесів.

## Висновки

Таким чином отримана передавальна характеристика первинного перетворювача залежить зокрема від матеріалу циліндричного чутливого елементу, що визначає його показник заломлення, кута  $\beta$ , під яким розміщено чутливий шар фотоприймача по відношенню до осі вимірювання, розташування випромінювача. Також слід відмітити, що для підвищення лінійності передавальної характеристики слід використовувати матеріали ППЦ з більшим показником заломлення. Це в свою чергу дозволить розширювати можливості вимірювання складу речовин завдяки розширенню діапазону прийнятних значень показника заломлення рідини, що вимірюється.

Отримана математична модель дозволяє досліджувати вплив на показники точності рефрактометрів наступних чинників: геометричні розміри ППЦ, положення випромінювача та положення світлочутливого елементу, що також дозволяє визначати оптимальні розміри ППЦ та взаємне розташування елементів первинного перетворювача. Розроблена модель дає можливість створити серійні автоматичні рефрактометри.

Для підвищення точності вимірювання складу речовин необхідно також провести дослідження щодо впливу відхилень геометричних характеристик ППЦ, температури, прозорості рідини.

A new method of creation of primary transformers of refractometers is offered on the basis of transparent hollow cylinders. Developed mathematical model of passing of light through the transparent hollow cylinder filled with a liquid. Certain transmission description of primary transformer of refractometer and basic factors which influence on her.

1. Патент України № 6711, МКІ G01N21/41, Спосіб вимірювання показника заломлення/В.Ф. Гришко, Ю.А.Попадюха, С.Д.Хомук та ін. (Україна). – Заявлено 09.09.92; Опубл. 29.12.94. Офіц. бюл. № 8-1// Промислова власність. – 1994. - № 8-1.
2. Маркузе Д. Оптические волноводы. - М.: Мир, 1974, 576 с.
3. ЛазаревЛ.П., Мировицкая С.Д. Контроль геометрических и оптических параметров волокон. – М.: Радио и связь, 1988. – 280 с.

4. Smithgall D.H. Light scattering model for the determination of fiber location in silicone coatings. *Applied Opt.*, 1982, v.21, №7, p.1326-1331.
5. Нащокин В.В. Техническая термодинамика и теплопередача: Учеб. пособие для вузов. — 3-е изд., испр. и доп. — М: Высш. школа, 1980. — 469 с.
6. Патент України № 66630, МКІ G01N21/41, Пристрій для виміру показника заломлення/В.Ф. Гришко, В.Г.Долина. (Україна). — Заявлено 13.08.03; Опубл. 17.05.04. Бюл. № 5, 2004 р.

# ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 621.391.Б1

## СИНТЕЗ НЕЧЕТКИХ РЕГУЛЯТОРОВ НА ОСНОВЕ ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Кондратенко Г. В., Кондратенко Ю. П., Мухортова К. В.

Повышение эффективности управления является актуальной проблемой в условиях возрастающей сложности технологического оборудования, процессов и систем. Для проектирования систем управления сложными объектами важную роль играет решение задач построения адекватных математических или имитационных моделей и синтеза алгоритмов управления, обеспечивающих решение задач в условиях неопределенности. Интеллектуальные системы принятия решений (ИСПР), имитирующие принципы мышления человека, находят все более широкое применение при управлении и формализации сложных объектов и систем. Одним из эффективных подходов, применяемых при синтезе современных ИСПР, является использование теории нечетких множеств и нечеткой логики [1]. Оперирование расплывчатыми понятиями в теории нечетких множеств максимально приближает описание объекта управления к обычной человеческой речи, что значительно облегчает построение модели системы. В свою очередь нечеткое управление реализуется на основе правил в форме «если - то», также интуитивно понятных человеку.

ИСПР на нечеткой логике способны решать множество разноплановых задач управления в условиях неопределенности, в частности при управлении морскими подвижными объектами в экстремальных условиях. Так, например, в практике судовождения это задачи: а) автоматизации процессов принятия решений для своевременного и адекватного реагирования экипажа при управлении судном в экстремальных условиях; б) имитационного моделирования морской среды, нестационарных возмущающих воздействий и соответствующих алгоритмов принятия решений и управления для оптимизации программно-алгоритмического и аппаратного обеспечения судовых ИСПР на этапе их проектирования, в частности на основе вычислительных систем параллельного действия [2].

При создании ИСПР на основе нечеткой логики целесообразно либо разрабатывать программный модуль, реализующий алгоритм нечеткого логического вывода под конкретную задачу, либо использовать готовые программные разработки, предварительно адаптируя их для решения поставленной задачи. Анализ существующего программного обеспечения (ПО) для обработки нечеткой информации позволяет выделить две основные группы ПО такого типа:

- специализированные коммерческие программные продукты (ПП), использующие аппарат нечеткой логики для решения задач в различных отраслях. Такие ПП, к сожалению, не предназначены для кооперации с другими программами в реальном времени (Matlab, Matematica, CubiCalc, RuleMaker, FuziCalc, fuzzyTECH и др.);
- небольшие библиотеки классов с ограниченными возможностями настройки либо разработанные под конкретный программный продукт (Free Fuzzy Logic Library, fuzzyCLIPS).

Перечисленные ПП не обладают достаточным уровнем универсальности, чтобы их компоненты можно было программно встраивать при создании собственных разработок и гибко настраивать в соответствии с требованиями системы.

Данная статья посвящена вопросам создания расширенной объектно-ориентированной библиотеки классов [3] для обработки нечеткой информации в ИСПР

в виде универсального встраиваемого программного модуля с возможностью гибкой настройки всех этапов нечеткого логического вывода. Использование объектно-ориентированной методологии проектирования ПО [4, 5] предоставляет разработчику значительные преимущества на этапах его создания, отладки, внедрения и сопровождения за счет декомпозиции системы на отдельные объекты, отделения описания внутреннего устройства объектов от протоколов взаимодействия между ними (инкапсуляция), построения иерархии объектов (наследование), повторного использования кода, реализации особенностей поведения близких по функциональности объектов (полиморфизм).

На рис.1 приведены основные классы разработанной с использованием объектно-ориентированной методологии библиотеки, которые отражают ключевые сущности, используемые при выполнении нечеткого логического вывода: лингвистические переменные (Var), входные (InputVar) и выходные (OutputVar) переменные; термы лингвистических переменных (Term); функции принадлежности термов (MemberFunc – класс-родитель в иерархии классов функций принадлежности), правила выполнения нечеткого логического вывода (Rule). Также на рис.1 представлены дополнительные классы: FSystem – система нечеткого логического вывода, именно с этим классом и будет реализовываться пользовательский интерфейс; Fuzzy – вспомогательный статический класс, в котором заложена логика реализации всех этапов нечеткого логического вывода; FuzzySet – нечеткое множество (применяется для хранения результата).

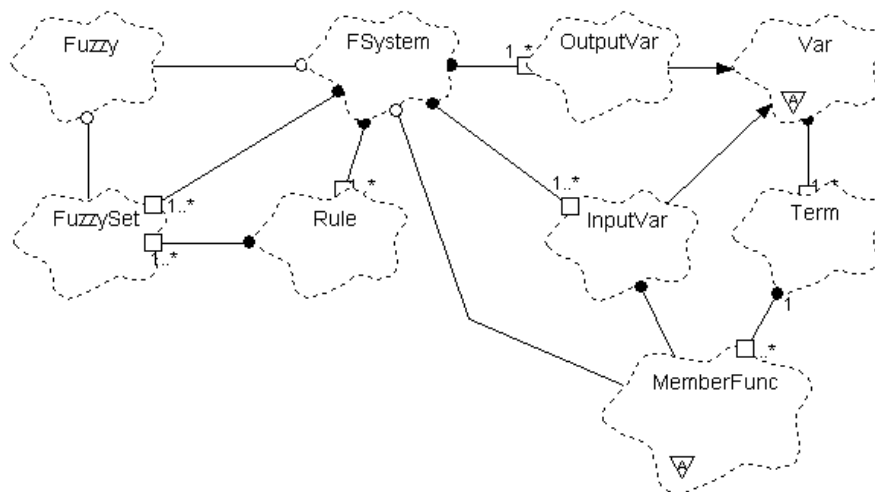


Рис. 1 Диаграмма основных классов библиотеки:

- |  |                                    |  |                          |
|--|------------------------------------|--|--------------------------|
|  | - абстрактный класс;               |  | - агрегация по ссылке;   |
|  | - отношение использования;         |  | - мощность связи (1..n); |
|  | - отношение агрегации (включения); |  | - отношение наследования |

При разработке данного ПО большое внимание уделено универсальности библиотеки классов: программный код написан на языке C# под платформу .NET Framework, обеспечивая аппаратную независимость, возможность использования на различных платформах (при наличии установленной .NET Framework). Широкий набор настроек позволяет применять библиотеку для решения разноплановых задач при проектировании нечетких ИСПР, в частности, как при выборе соответствующего алгоритма нечеткого логического вывода (Mamdani, Sugeno, Tsukamoto, Singleton, алгоритм классификации) [5], так и при выборе формы функций принадлежности для нечетких термов (21 вид).

В библиотеке классов предусмотрены также различные способы реализации каждого из этапов нечеткого логического вывода [6] (рис. 2): фаззификации (для четких и нечетких входных значений); агрегации, активации, аккумуляции (всего 50 видов); импликация (23 вида); дефаззификации (6 видов). Возможность проектирования иерархических многоуровневых систем нечеткого логического вывода при помощи классов создан-

ной библиотеки является весьма важным преимуществом разработанного специализированного ПО.

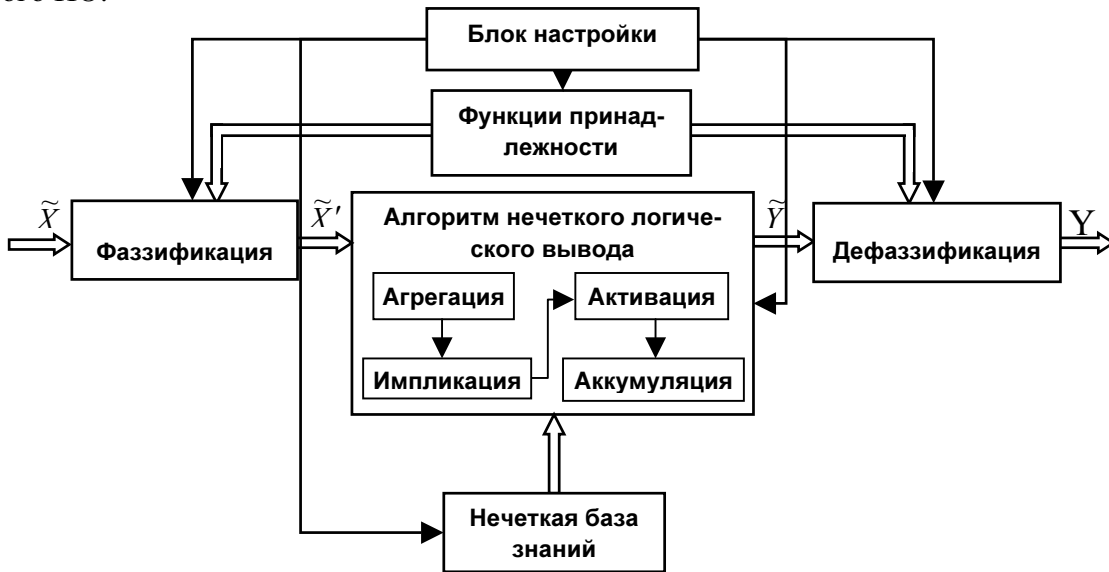


Рис.2. Взаимосвязи компонентов в структуре нечеткого логического вывода:

$\tilde{X}$  – входной вектор (четкие или нечеткие значения);  $\tilde{X}'$  – вектор параметров нечетких множеств, соответствующих входному вектору  $\tilde{X}$ ;  $\tilde{Y}$  – результат логического вывода в виде вектора нечетких множеств;  $Y$  – выходной (четкий) вектор

Гибкость настроек представленной библиотеки классов также обеспечивает широкие возможности для оптимизации нечеткого логического вывода в ИСПР. Преимущества использования библиотеки классов продемонстрируем на примере проектирования простейшего ПД-регулятора (с минимально возможным числом лингвистических термов входных и выходных переменных) для нескольких типов объектов управления (рис. 3), в частности:

интегратора с апериодическим звеном 
$$W(p) = \frac{K}{p(Tp + 1)}, \tag{1}$$

колебательного звена 
$$W(p) = \frac{K}{T^2 p^2 + 2T\xi p + 1}, \tag{2}$$

объекта управления с запаздыванием 
$$W(p) = \frac{Ke^{-\tau p}}{p(Tp + 1)}, \tag{3}$$

где  $K$  – коэффициент передачи;  $T$  – постоянная времени;  $\xi$  – декремент затухания;  $\tau$  – время запаздывания.

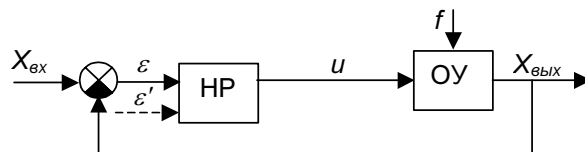


Рис. 3 – Структура системы управления с нечетким регулятором:

$X_{вх}$  – входной сигнал;  $X_{вых}$  – выходной сигнал;  $\varepsilon$  - отклонение;  $\varepsilon'$  – производная от отклонения;  $u$  - управляющий сигнал;  $f$  - возмущающее воздействие; НР – нечеткий регулятор; ОУ - объект управления

Для реализации нечеткого регулятора остановимся на алгоритме нечеткого логического вывода типа Mamdani. Входными переменными для нечеткого ПД-регулятора являются отклонение ( $\varepsilon$ ) выходного сигнала  $X_{вых}$  от установленного на входе значения  $X_{вх}$  (положительное, отрицательное) и производная ( $\varepsilon'$ ) от этого отклонения (положительная, отрицательная). Переменная  $u$  представляет собой уровень значения управляющего сигнала, формируемого на выходе нечеткого регулятора (положительное, нулевое, отрицательное). На рис. 4 приведены термы соответствующих лингвистических переменных НР.

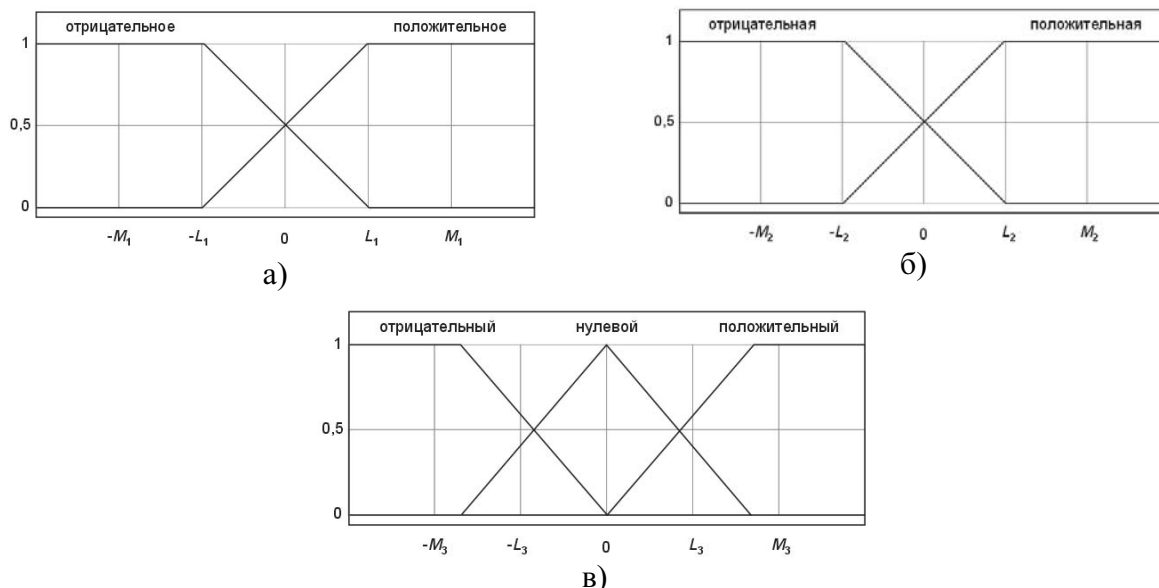


Рис. 4 – Термы лингвистических переменных:

а) переменной «отклонение»; б) переменной «производная от отклонения»; в) переменной «управляющий сигнал»

Приведенная в таблице 1 база нечетких правил отражает зависимости между входными и выходной лингвистическими переменными НР.

Таблица 1

База нечетких правил НР

Значение $\varepsilon$	Значение $\varepsilon'$	Значение $u$
положительное	положительное	положительное
положительное	отрицательное	нулевое
отрицательное	положительное	нулевое
отрицательное	отрицательное	отрицательное

Для реализации процессов регулирования с НР сформированы следующие рекуррентные дискретные модели объектов управления (1)-(3):

- для объекта управления (1):

$$x[n + 2] = x[n + 1]C_1 + x[n]C_2 + u[n]d_0, \tag{4}$$

где  $C_1 = 2 - \frac{h}{T}$ ;  $C_2 = \frac{h}{T} - 1$ ;  $d_0 = \frac{K \cdot h^2}{T}$ ;

- для объекта управления (2) рекуррентная модель также имеет вид (4),

где  $C_1 = 2 \cdot \left(1 - \frac{\xi \cdot h}{T}\right)$ ;  $C_2 = \frac{2 \cdot \xi \cdot h}{T} - 1 - \frac{h^2}{T^2}$ ;  $d_0 = \frac{K \cdot h^2}{T^2}$ ;

- для объекта управления (3):

$$x[n+2] = x[n+1]C_1 + x[n]C_2 + u[n-k]d_0, \quad (5)$$

где  $C_1 = 2 - \frac{h}{T}$ ;  $C_2 = \frac{h}{T} - 1$ ;  $d_0 = \frac{K \cdot h^2}{T}$ ;  $k = \frac{\tau}{h}$ .

В приведенных дискретных моделях использованы следующие обозначения:  $h$  – шаг дискретизации ( $\Delta t = h = 0,01c$ );  $u[n]$  - управляющий сигнал на  $n$ -м итерационном шаге (в нечетком регуляторе  $u[n]$  формируется посредством нечеткого логического вывода, а в классическом ПД-регуляторе [7] – как  $u[n] = k_p \cdot \varepsilon + k_D \cdot \varepsilon'$ , где  $k_p, k_D$  - коэффициенты настройки ПД-регулятора).

Структурно-параметрическая оптимизация нечеткого ПД-регулятора осуществлена с использованием различных настроек, предоставляемых разработанной на основе объектно-ориентированных технологий библиотекой классов. При этом решались задачи оптимального выбора методов алгоритмической реализации всех этапов нечеткого логического вывода и нахождения оптимальных параметров лингвистических термов входных и выходной переменных. Результаты структурно-параметрической оптимизации НР приведены в таблицах 2-4.

Таблица 2

Результаты структурно-параметрической оптимизации нечеткого регулятора для объекта управления (1)

Этап нечеткого логического вывода	Метод реализации	Формула
Агрегация	t-норма Minimum	$T(a, b) = \min(a, b)$
Импликация	Gödel	$I(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } a \leq b \\ b, & \text{иначе} \end{cases}$
Активация/аккумуляция	t-норма Minimum	$T(a, b) = \min(a, b)$
Дефаззификация	Bisector	-
Параметры термов нечетких лингвистических переменных		
$L_1 = 1; L_2 = 3; L_3 = 1; M_1 = M_2 = M_3 = 3$		

Таблица 3

Результаты структурно-параметрической оптимизации нечеткого регулятора для объекта управления (2)

Этап нечеткого логического вывода	Метод реализации	Формула
Агрегация	t-норма Nilpotent	$T(a, b) = \begin{cases} \min(a, b), & \text{если } (a+b) > 1 \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$
Импликация	Zadeh	$I(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } a \leq b \\ \frac{b}{a+(1-b)}, & \text{иначе} \end{cases}$
Активация/аккумуляция	среднее Geometric	$M(a, b) = (a \cdot b)^{1/2}$
Дефаззификация	Bisector (медиана)	-
Параметры термов нечетких лингвистических переменных		
$L_1 = 1; L_2 = 3; L_3 = 1; M_1 = M_2 = M_3 = 3$		



Результаты структурно-параметрической оптимизации нечеткого регулятора для объекта управления (3)

Этап нечеткого логического вывода	Метод реализации	Формула
Агрегация	t-норма Minimum	$T(a, b) = \min(a, b)$
Импликация	Gödel	$I(a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } a \leq b \\ b, & \text{иначе} \end{cases}$
Активация/аккумуляция	среднее Geometric	$M(a, b) = (a \cdot b)^{1/2}$
Дефаззификация	Weight center (центр масс)	-
Параметры термов нечетких лингвистических переменных		
$L_1 = 1; L_2 = 3; L_3 = 1; M_1 = M_2 = M_3 = 3$		

Для оценки эффективности процессов оптимизации нечеткого ПД-регулятора сравним его с классическим ПД-регулятором с оптимальными коэффициентами настроек.

Для оптимизации классического ПД-регулятора необходимо прежде всего сформировать желаемый переходный процесс (рис. 5), параметры которого приведены в таблице 5, а в дальнейшем выполнить параметрическую оптимизацию соответствующих коэффициентов пропорциональной и дифференциальной составляющих.

Таблица 5

Требуемые параметры желаемого переходного процесса

Наименование параметра	Единица измерения	Значение
Время регулирования	с	2
Время нарастания переходного процесса	с	1,5
Статическое отклонение (относительно уровня входного сигнала)	%	5
Величина выходного сигнала в момент первого достижения установленного значения	%	95
Перерегулирование (относительно установившегося уровня выходного сигнала)	%	1
Отрицательное перерегулирование (относительно установившегося уровня выходного сигнала)	%	1

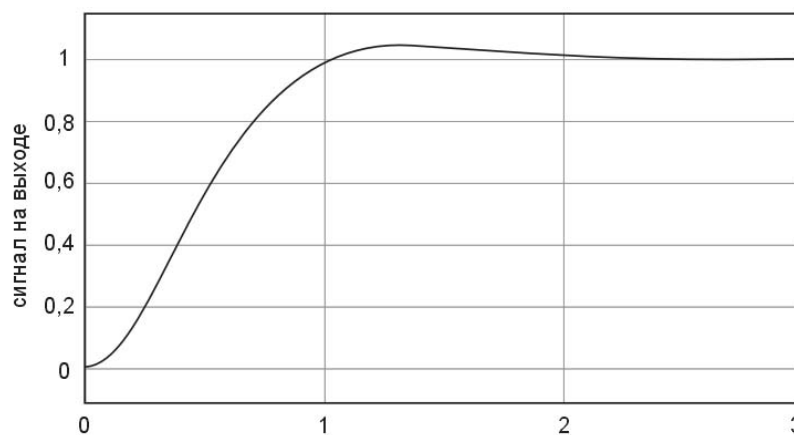


Рис. 5 Желаемый переходный процесс для оптимизации параметров ПД-регулятора

Результаты оптимизации параметров традиционных ПД-регуляторов

Модель объекта управления	Настройка $k_P$ для пропорциональной составляющей	Настройка $k_D$ для дифференциальной составляющей
Согласно (1) при $K = 10, T = 1$	1,3697	0,5940
Согласно (2) при $K = 2, T = 1, \xi = 0,25$	10	3,8882
Согласно (3) при $K = 1, T = 1, \tau = 0,2$	4,7774	2,8279

Сравнительный анализ эффективности нечетких и соответствующих классических ПД-регуляторов легко осуществить на основе переходных процессов, приведенных на рис.6-8.

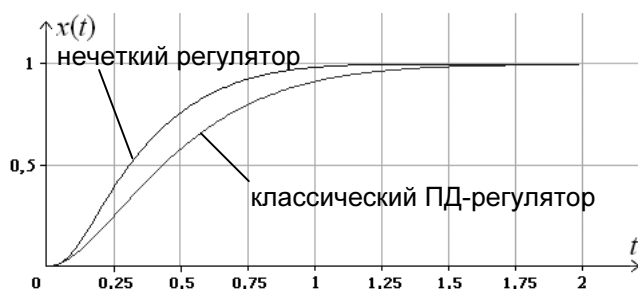


Рис. 6 Сравнение классического и нечеткого ПД-регуляторов для объекта управления (1)

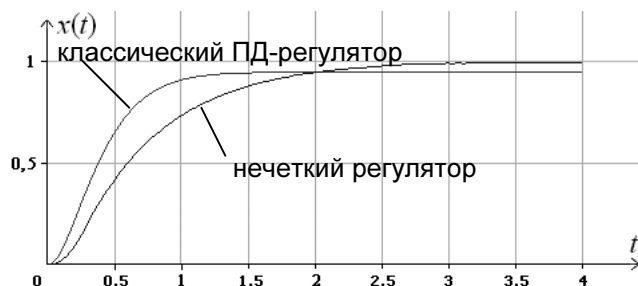


Рис. 7 Сравнение классического и нечеткого ПД-регуляторов для объекта управления (2)

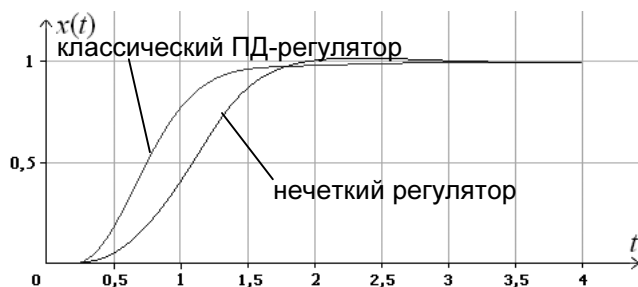


Рис. 8 Сравнение классического и нечеткого ПД-регуляторов для объекта управления (3)

Сравнительный анализ показывает, что использование нечетких и классических ПД-регуляторов после их оптимальной настройки дают достаточно хорошие и близкие

результаты. Вместе с тем, для объекта управления (1) нечеткий регулятор обеспечивает более высокое быстродействие, для объекта управления (2) – меньшую статическую ошибку, а для объекта управления (3) – меньшую длительность времени нарастания сигнала.

**Выводы.** Результаты моделирования подтверждают высокую эффективность использования разработанной библиотеки классов при синтезе и структурно-параметрической оптимизации нечетких регуляторов для различных объектов управления. Показатели качества переходных процессов при нечетком управлении с использованием синтезированного НР не уступают показателям качества соответствующих классических регуляторов, а в некоторых случаях и превосходят их. При этом следует отметить, что преимуществом НР при их аппаратной реализации является отсутствие динамических составляющих, а значит зависимости между возможными значениями входов и выхода НР могут быть предварительно рассчитаны на стадии проектирования, а на основе характеристических поверхностей НР реализованы с помощью табличного спецпроцессора [8].

Разработанная библиотека классов дает широкие возможности при проектировании нечетких регуляторов, а также при осуществлении их структурно-параметрической оптимизации. В дальнейшем целесообразно проведение исследований по синтезу и оптимизации нечетких ПИД-регуляторов на основе библиотеки классов, созданию библиотеки объектов управления различных типов и настройке регуляторов для эффективного управления такими объектами в условиях неопределенности.

This paper covers the issues of designing fuzzy information processing class library as a universal programming module which allows tuning all of the fuzzy logic inference stages. The functionality of the library is illustrated while synthesizing and optimizing fuzzy PD-regulator in comparison with classic PD-regulator.

1. Заде Л.А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных/интеллектуальных систем. – Новости Искусственного Интеллекта, №2-3, 2001, с. 7 – 11.
2. Кондратенко Ю.П. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений при управлении судами в экстремальных условиях – Судходство, №3, 2004. – с. 21.
3. Кондратенко Ю.П., Мухортова К.В. Обобщенная библиотека классов для обработки нечеткой информации // Материалы научно-практической конференции "Информационные технологии - в науку и образование". - Харьков, 2005. - с. 100 - 101
4. Буч Г. Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на C++, 2-е изд. – Москва: Издательство Бином, СПб: Невский диалект, 2001. – 560 с.
5. Кондратенко Г. В. Об'єктна декомпозиція задачі оптимального планування маршрутів // Матеріали науково-практичної конференції. Стан і перспективи розвитку новітніх науково-освітніх комп'ютерних технологій. – Миколаїв: Видавництво МДГУ ім. П. Могили, 2003. – с. 98–100
6. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер. с польск. И. Д. Рудинского. – Москва: Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
7. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп; Пер с англ. Б. И. Копылова. – Москва: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 832 с.: илл.
8. Кондратенко Ю. П., Сидоренко С. А. Методи синтезу нечітких контролерів для підвищення швидкодії та точності процесів формування управляючих сигналів // Збірник наукових праць УДМУ. – Миколаїв. – 2002. – Вип. 1 (379). – с. 121-129

## СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

Луцька Н.М.

В харчовій промисловості функціонують технологічні комплекси неперервного типу (ТК НТ), що являються складними технологічними об'єктами. Серед них існує багато підсистем ТК, які характеризуються багатьма зв'язаними між собою регульованими координатами. Часто кілька регульованих координат, кількість яких  $n \geq 4$  мають одну фізичну природу, а контури регулювання будуються за однією структурою. Це відноситься, наприклад, до багатокорпусних випарних установок цукрового заводу, в яких регулюється рівень в кожному з корпусів ( $n = 4, 5$ ) та збірниках перед і після випарної установки, а також до дифузійних установок нахилоного типу, в яких регулюються  $n \geq 4$  температур в різних зонах.

Таким чином, на промислових підприємствах можна виділити один клас об'єктів, які характеризуються такими властивостями:

- мають  $n \geq 4$  однакових координат стану однієї фізичної природи;
- мають внутрішні взаємозв'язки між параметрами;
- описуються схожими за структурою математичними моделями;
- регулюються за однією схемою.

В традиційних системах автоматизації для регулювання кожної з координат використовується окремий локальний автоматичний регулятор (типу П, ПІ, ПІД), що приводить до небажаних впливів одного контуру на інші і, як наслідок, погіршення якості перехідних процесів та збільшення енерговитрат.

Якщо розглянути умови функціонування таких об'єктів, то стане зрозумілим, що для забезпечення мінімальності загальних витрат та необхідної якості підтримання технологічного режиму система автоматизації повинна бути побудована на критерії оптимізації, що мінімізує енергетичні витрати, відхилення технологічних змінних від норм та максимальне усунення збурюючих впливів. Наприклад, для випарної установки існують такі оптимальні в кожен момент часу рівні, при яких коефіцієнт теплопередачі має максимальне значення, а отже витрата пари мінімальна; для дифузійної установки існують оптимальні температури в кожній зоні, при яких коефіцієнт дифузії в тканинах буряку має максимальне значення, враховуючи обмеження щодо перегріву стружки.

Отже, для побудови системи управління такими підсистемами ТК необхідно використати багатовимірний підхід, при якому будуть виконуватися умови оптимальності щодо якості перехідних процесів, зменшення витрат енергоносіїв, а також автономність окремих контурів керування.

При побудові багатовимірної системи автоматизації виділеними підсистемами ТК критерії управління можуть бути наступні.

1. Інтегрально-квадратичний критерій

$$I = \Delta x^T(t_k)G\Delta x(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} (\Delta x^T(t)P\Delta x(t) + \Delta u^T(t)D\Delta u(t))dt, \quad (1)$$

де перша складова визначає відхилення реального стану системи від бажаного на кінцевому інтервалі часу, друга – на всьому проміжку, а третя – мінімізація енергетичних витрат. Матриці  $G$ ,  $P$ ,  $D$  – вагові матриці відповідних розмірностей, що визначаються за даними експертів або їх визначення може бути окремою оптимізаційною задачею;  $x(t)$  – вектор координат стану системи;  $u(t)$  – вектор управління;  $t_0$ ,  $t_k$  – початковий та кінцевий час

регулювання. Наприклад, синтез оптимального керуючого пристрою ведеться за алгоритмом аналітичного конструювання оптимальних регуляторів, а коефіцієнт підсилення лінійного регулятора зі зворотнім зв'язком визначається з розв'язку диференціального матричного рівняння типу Ріккати. Якщо не всі складові вектора координат стану досяжні, то необхідно включити в структуру оптимальної системи керування крім алгоритму управління алгоритм оцінки стану – це так звана лінійно-квадратична гаусівська задача (LQG) [1]. Для дифузійної установки такий алгоритм приведений в [2], оптимальний регулятор отримано у вигляді

$$u(t) = -K\hat{x}(t), \quad (2)$$

де  $\hat{x}(t)$  – вектор оцінки координат стану системи, що знаходиться шляхом розв'язку відповідного диференціального рівняння та рівняння типу Ріккати для фільтрації (задача оцінки стану);  $K$  – матриця, що знаходиться з рівняння типу Ріккати для управління.

2. Критерій максимальної швидкодії (задача максимальної швидкодії)
- 3.

$$I = \int_{t_0}^{t_k} 1 dt = (t_k - t_0). \quad (3)$$

Для визначеного класу об'єктів задача максимальної швидкодії постійно розв'язується при переході з одного режиму на інший та при змінюванні умов роботи. Наприклад, в дифузійній установці температура в зонах змінюється в діапазоні 68-72 °С, що відповідає розв'язку задачі оптимального керування та вибору оптимального режиму, а при побудові квазістаціонарної системи середня частота змінювання температурного режиму складає 60-100 хв.

4. Норма  $\|H\|_2$  (окремим випадком може бути лінійно-квадратична гаусівська задача оптимального синтезу);

$$\|H\|_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \text{tr}[H^T(-j\omega)H(j\omega)] d\omega}, \quad (4)$$

де  $H(s)$  – передаточна функція від входу матриці збурень до матриці контролюємих виходів ( $s = j\omega$ ), аналітична в правій напівплощині ( $\text{Re } s < 0$ ),  $\text{tr}(\cdot)$  – слід відповідної матриці.

5. Норма  $\|H\|_{\infty}$  (задача  $H_{\infty}$  - оптимального або субоптимального синтезу);

$$\|H\|_{\infty} = \max_{\omega \in [0, \infty)} \bar{\sigma}(\omega), \quad (5)$$

де  $\bar{\sigma}(\omega)$  – максимальне сингулярне число матриці  $H(j\omega)$  (корінь квадратний з максимального власного значення ермітової матриці  $H(j\omega)^T H(j\omega)$ ).

Введення цього критерію обумовлене тим, щоб єдиним регулятором забезпечити стійкість замкненої системи не тільки для номінального (без врахування помилок моделі) об'єкта, але й для будь-якого об'єкта, що належить до множини "збурених" об'єктів, які визначені класом невизначеності. Ця задача відноситься до класу робастних задач та вирішується на основі "2-Ріккати підходу", а регулятор отримується у формі спостерігача, при цьому на кожній ітерації (якщо це субоптимальне управління) необхідно вирішувати загальні алгебраїчні рівняння Ріккати для управління та фільтрації [3].

6. Задачі мінімізації вказаних норм для “зважених” передаточних матриць  $HS_1$ , де  $S_1$  – задана вагова матрична функція (наприклад, задачі середньоквадратичного оптимального синтезу та синтезу гарантуючих регуляторів відповідно).

Зважена норма  $\|HS_1\|_2$

$$\|HS_1\|_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \text{tr} [S^T(-j\omega)H^T(-j\omega)H(j\omega)S(j\omega)] d\omega} \quad (6)$$

Зважена норма  $\|HS_1\|_\infty$

$$\|HS_1\|_\infty = \max_{\omega \in [0, \infty)} \overline{\sigma}_v(\omega), \quad (7)$$

де  $\overline{\sigma}_v(\omega)$  – максимальне сингулярне число матриці  $H(j\omega)S_1(j\omega)$ . Вагові функції дозволяють задати вимоги в частотній області до характеристик замкненої системи за якістю перехідних процесів та робастною стійкістю, що приводить до зменшення енергетичних витрат.

Слід відмітити, що даний перелік вказаних критеріїв не обмежується, зокрема, при необхідності врахування розподіленості змінних, а отже, оптимальний регулятор синтезується на основі математичних моделей з розподіленими параметрами, слід використовувати більш складний інтегральний критерій, в який входить інтеграл по просторових змінних, а управління отримується у зворотнього зв'язку від функції стану системи [4].

Вказані задачі потребують розробки або підбору математичних моделей відповідних підсистем та адаптування їх до необхідного алгоритму оптимізації. Відмітимо, що в залежності від того, яка вибрана математична модель залежить подальша розробка оптимальної структури автоматизованої системи управління. Зокрема, при використанні лінійних математичних моделей та алгоритму аналітичного конструювання оптимальних регуляторів, оптимальний керуючий пристрій також вкладається в клас лінійних регуляторів.

Ефективність наведеної методики доведена при імітаційному моделюванні системи, яка складається з математичної моделі у вигляді лінійних диференціальних рівнянь та оптимального регулятора у вигляді зворотного зв'язку, синтезованих за наведеними алгоритмами. При дії на систему детермінованих збурень LQG-регулятор не задовольняє необхідній якості регулювання, на відміну від  $H_\infty$ -регулятора, але при дії випадкових збурень LQG-регулятор забезпечує необхідну якість регулювання. Слід також відмітити, що значення має вибір вагових коефіцієнтів та функцій для вказаних алгоритмів.

Для поєднання вказаних задач розробляється інтелектуальна підсистема підтримки прийняття рішень для підсистем ТК дифузійної установки та випарної установки, що базується на експертній системі та може включатися в експертну систему ТК. Крім основних задач експертної системи (розпізнавання виробничих ситуацій, в тому числі передаварійних та аварійних; аналіз ситуацій та видача рекомендацій щодо прийняття рішень; накопичення даних та знань для наступних періодів прийняття рішень) дана підсистема на базі ідентифікованої ситуації за логічними процедурами вибирає найкращий критерій та структуру оптимального управління, що призведе до мінімізації матеріальних та енергетичних витрат, максимального усунення збурень, необхідної якості перехідних процесів для даного режиму роботи системи [5].

In given article on chosen feature stands out the class an object to which pertain multiple-effect evaporator and tilted diffuser. For they are motivated need of the use optimum regulator, including robust control and happen to the findings on result of their modeling.

1. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Ш. Оптимальное управление системами: Пер. с англ./ Под. ред. Б.Р. Левина. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с., ил. – (Второе изд.: США, 1979).
2. Розробка багатовимірних оптимальних регуляторів для об'єктів одного класу / Ладанюк А.П., Луцька Н.М., Лобок О.П. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2004. - № 1 (13). – с. 140 – 144.
3. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 744с.
4. Синтез оптимального керування для технологічних процесів харчової промисловості / Лобок О.П., Луцька Н.М. // Автоматизація виробничих процесів. – 2003. – № 1 (16). – с. 81 – 84.
5. Оптимальные регуляторы в подсистемах поддержки принятия решений / Ладанюк А.П., Луцкая Н.Н., Лобок А.П. // Проблемы управления и информатики. – 2004. - № 2. – с. 138-142.

## МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.311:681.5

### МЕТОД ПОСТРОЕНИЯ САМОНАСТРАИВАЮЩИХСЯ РЕГУЛЯТОРОВ ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Полищук И.А.

При разработке систем автоматического регулирования (САР) промышленными объектами в большинстве случаев применяют ПИ и ПИД алгоритмы.

Ввиду того, что большинство объектов являются нелинейными, обладают значительной априорной и текущей параметрической неопределённостью, возникает задача автоматизации настройки регуляторов как при вводе в действие, так и процессе их функционирования, то есть задача построения самонастраивающихся регуляторов.

Среди большого количества самонастраивающихся систем автоматического регулирования (СНС АР) наиболее простыми в реализации являются системы, использующие информацию только о регулируемой координате и об оценке её производной.

Известно[1, 2], что для объекта выше первого порядка по времени  $t_1$  достижения максимума первой производной выходной величины  $y(t)$  в точке перегиба, а также по модулю  $y(t_1)$  и производной от  $y(t)$  можно судить о статических и динамических свойствах объекта. Для построения СНС АР используются результаты анализа начального участка переходной характеристики разомкнутой АСР, получаемой путём подачи ступенчатого управляющего воздействия. Однако предложенный способ коррекции настроек не всегда применим, так как требует размыкания АСР при подаче идентифицирующего воздействия.

В статье рассматривается метод построения СНС АР стабилизации в классе типовых ПИ, ПИД законов регулирования, обеспечивающий при простоте технической реализации создание высококачественных контуров управления квазистационарными техническими объектами. Метод основан на коррекции общего коэффициента усиления  $K_p$  по результатам анализа реакции замкнутой АСР на ступенчатое изменение задания и коррекции времени интегрирования  $T_u$  по оценкам прямых показателей качества АСР.

Экспериментально установлено наличие зависимости коэффициента передачи регулятора от величины  $A(t_1, |\varepsilon(t_1)|, |\dot{\varepsilon}(t_1)|)$ :

$$A = \frac{|\varepsilon(t_1)|}{t_1 \cdot |\dot{\varepsilon}(t_1)|}, \quad (1)$$

где  $\varepsilon(t) = y(t) - y_{зад}$ ,  $y_{зад}$  - заданное значение выходной величины. Рекомендуемый адаптивный ПИД закон регулирования имеет следующий вид [3]:

$$u(t) = K_p^{(n+1)} \cdot (\varepsilon(t) + \frac{1}{T_u} \cdot \int \varepsilon(t) dt + T_d \cdot \dot{\varepsilon}(t)), \quad (2)$$

$$K_p^{(n+1)} = K_p^{(n)} \cdot \alpha \cdot A, \quad (3)$$

где  $n=0,1,2,\dots$  - номер шага коррекции коэффициента передачи (шага самонастройки), а соотношение  $T_u$  и времени дифференцирования  $T_d$  постоянно. С помощью коэффициента  $\alpha$  задаются показатели качества регулирования. На рис.1 показаны переходные характеристики СНС АР объекта с коэффициентом усиления  $k_{об} = 1$ , постоянной времени



$T=200$ сек, запаздыванием  $\tau=50$ сек при начальных настройках  $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100, T_D = 0$  в конце процесса самонастройки (адаптации) при различных значениях  $\alpha$  :

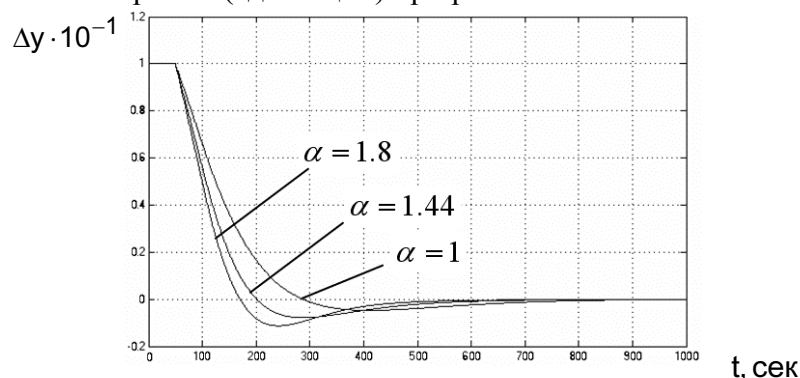


Рис.1. Переходные характеристики при различных значениях  $\alpha$  .

Известно, что при небольшом диапазоне изменения параметров объекта однопараметрическая настройка регулятора в достаточной мере обеспечивает качество регулирования при сохранении соотношения между отдельными составляющими в выражении (2). При отклонении параметров объекта от базовых для достижения заданных показателей качества достаточной является коррекция только  $K_p$  .

На рис. 2 показаны переходные характеристики в АСР при настройке регулятора вышеупомянутого объекта путём коррекции только  $K_p$  при существенном отличии  $K_p^{(0)}$  от требуемого значения и  $T_u^{(0)}$  близком к оптимальному. Переход от  $K_p^{(0)}=1,9$  к  $K_p^{(3)} = 1,1$  осуществлён за три шага адаптации, то есть при  $n=3$ .

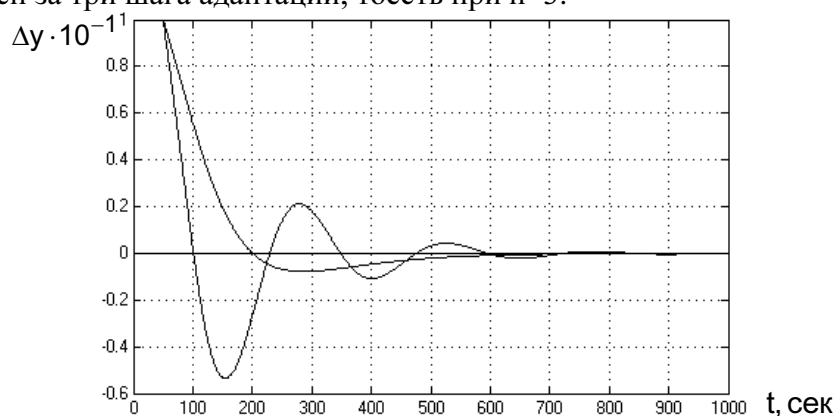


Рис. 2. Переходные характеристики в замкнутой АСР

- а - переходная характеристика при
- б – переходная характеристика при  $K_p^{(3)} = 1.1$ .

В том случае, когда постоянная времени объекта оценена с большой погрешностью и, следовательно,  $T_u^{(0)}$  значительно отличается от оптимального значения, показатели качества переходного процесса после коррекции  $K_p$  далеки от требуемых. Предложена стратегия коррекции  $T_u$ , основанная на использовании упорядоченных правил регулирования, которые действительно для выбранных характеристик качества переходного процесса и подобно нечёткому регулятору представляют базу знаний.

Введём переменные  $H(t), \Delta, t_{pez}$  :

$$H(t) = \begin{cases} \varepsilon, & \text{если } \varepsilon(t) < 0, \\ 0, & \text{если } \varepsilon(t) \geq 0, \end{cases} \quad (4)$$

$$\Delta = \begin{cases} y_{зад} - y(T), & \text{если } e(t) > 0, \forall t \in (0; T), \\ 0, & \text{если } y(t) \geq y_{зад}, e(t) \leq 0, \forall t \in (0; T), \end{cases} \quad (5)$$

$$t_{pez} = t, \text{ если } |\varepsilon(t)| \leq \delta, \forall t > t_{pez}, \quad (6)$$

где  $y(T)$  - значение выходной величины в момент  $t = T$  от начала переходного процесса. Время  $T$  выбирается для определённого класса объектов по априорным данным. Значение  $T$  влияет только на скорость нахождения оптимальных настроек и не определяет результирующие качественные показатели АСР.

Правила, описывающие стратегию коррекции, имеют вид:

$$\text{если } H(t) > 0, \Delta \leq 0 \quad \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{(m+1)} = T_u^{(m)} - \beta \cdot H(T), \quad (7)$$

$$\text{если } H(t) \leq 0, \Delta > 0 \quad \forall t \in (0; T), \text{ то } T_u^{(m+1)} = T_u^{(m)} + \gamma \cdot \Delta, \quad (8)$$

где  $m$  – номер шага коррекции  $T_u$ .

Величины  $\beta, \gamma, T$  определяются экспериментально для выделенного класса объектов и могут уточняться в процессе наладки. Критерием останова итерационного процесса является выполнение неравенств:

$$|k_p^{(n+1)} - k_p^{(n)}| \leq \varepsilon_1; \quad |T_u^{(m+1)} - T_u^{(m)}| \leq \varepsilon_2, \text{ где } n, m - \text{число шагов адаптации, } T_u^{(m)} - \text{значение времени интегрирования на } m\text{-ом шаге, } \beta \text{ и } \gamma - \text{весовые коэффициенты.}$$

Экспериментально определённые рекомендации для нахождения величин  $\beta, \gamma$  представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1.

Значения величины  $\beta$  в зависимости от диапазона изменения величины  $t_{pez}$

$t_{pez}$	[0..50]	[50..150]	> 150
$\beta$	50	500	1000

Таблица 2.

Значения величины  $\gamma$  в зависимости от диапазона изменения величин  $t_{pez}$  и  $\Delta$ .

$t_{pez} \backslash \Delta_{dim}$	[0..50]	[50..150]	> 150
[0..0.02]	0	0	0
[0.02..0.2]	100	200	500
> 0.2	200	500	1000

Начальные значения  $K_p^{(0)}, T_u^{(0)}, T_d^{(0)} = K_d \cdot T_u^{(0)}$  приближенно определяются по априорным данным, величины  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  находятся в пределах  $0.001 \div 0.1$  и устанавливаются в процессе отладки.

При построении СНС с коррекцией  $T_u$  с помощью упорядоченных правил могут использоваться и другие прямые показатели качества, а также их лингвистические описания, что позволяет формулировать другие законы коррекции.

На рис. 3 представлена структурная схема СНС АР объектом первого порядка с запаздыванием, разработанной с использованием предлагаемого подхода:

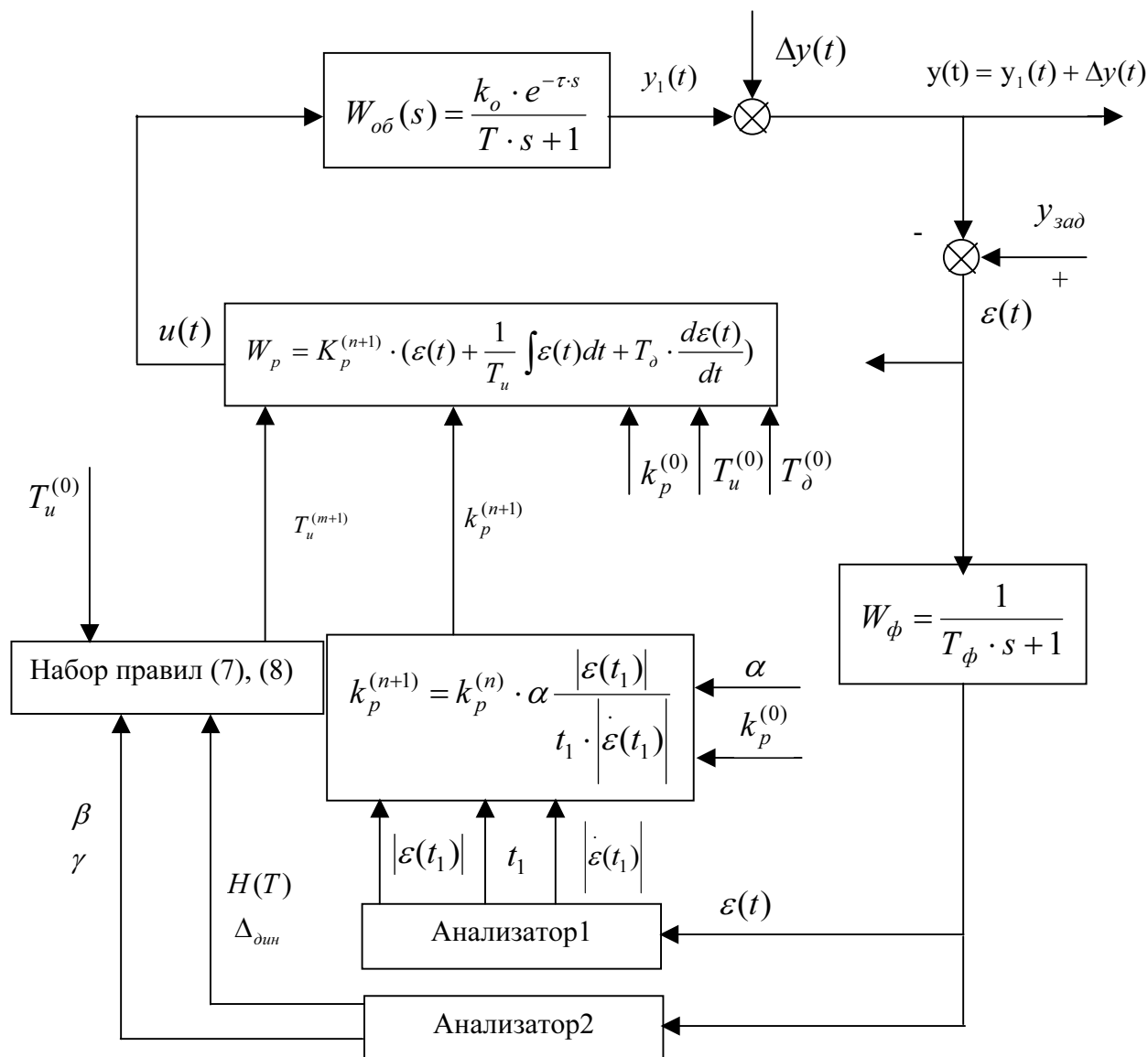


Рис. 3. Структурная схема АСР с адаптивным регулятором.

Анализатор1 производит определение максимума модуля производной ошибки, время достижения этого максимума и значения модуля ошибки в этот момент.

Анализатор2 производит определение величин  $H(T)$ ,  $\Delta$ ,  $t_{pez}$ , по значениям которых определяются согласно информации, приведенной в таблицах 1, 2, величины  $\beta$  и  $\gamma$ . Коррекция времени интегрирования производится согласно правил коррекции (7), (8), подстройка коэффициента передачи по формуле (3).

Фильтр с передаточной функцией  $W_\phi$  вводится для обеспечения гарантированного значения порядка анализируемого объекта выше первого, а также фильтрации анализируемого сигнала от помех.

На примере объекта с  $T=200$  сек,  $\tau=50$  сек и  $k_{об}=1$  покажем преимущество СНС АР с коррекцией  $K_p$  и  $T_u$ .

Пусть переходный процесс должен удовлетворять требованию, чтобы динамическая ошибка  $\Delta_{дин}$  была меньше 2%.

Работа рассматриваемой СНС АР может быть проиллюстрирована переходными процессами на каждом шаге самонастройки.

Кривая **а** соответствует начальным настройкам регулятора  $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100$ . Кривая **б** соответствует настройкам после первого шага коррекции  $K_p$ , при этом  $K_p^{(1)} = 0.8, T_u^{(0)} = 100$ . После выполненного шага критерий останова по  $K_p$  больше заданного  $\varepsilon_1 = 0.1$ , поэтому выполняем ещё один шаг адаптации  $K_p$ . Кривая **в** соответствует настройкам после второго шага коррекции  $K_p$ , при этом  $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(0)} = 100$ . После второго шага коррекции  $K_p$  критерий останова становится меньше заданного, поэтому далее выполняется коррекция  $T_u$  при  $K_p^{(2)} = 1.1$ . Кривая **г** соответствует настройкам после выполнения коррекции  $T_u$ , при этом  $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(1)} = 192.3$ . Далее снова выполняем коррекцию  $K_p$ , так как критерий останова не выполняется. Кривая **д** – переходный процесс после третьего шага коррекции  $K_p$ , при этом  $K_p^{(3)} = 1.75, T_u^{(1)} = 192.3$ . Таким образом мы получаем величины параметров  $K_p^{(3)}$  и  $T_u^{(1)}$ , при которых критерии останова меньше заданных значений и процесс самонастройки прекращается.

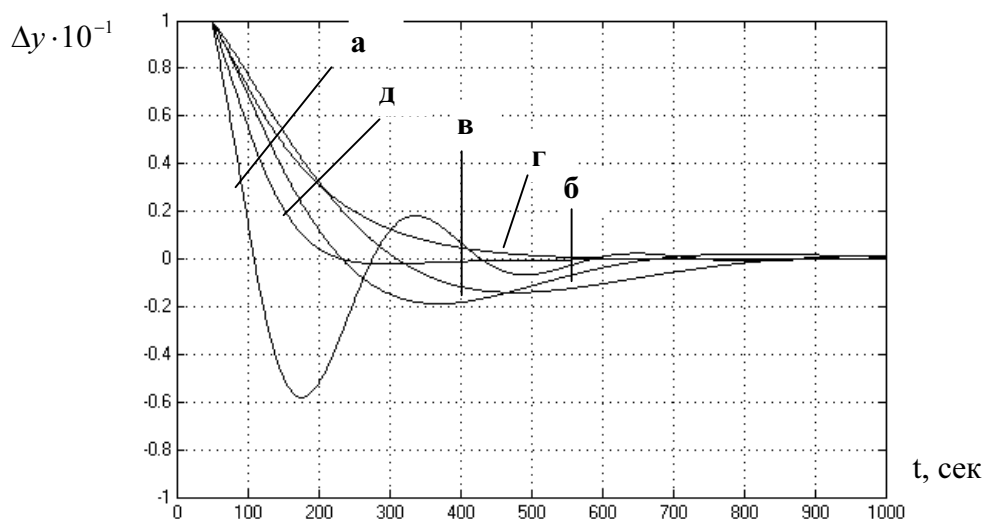


Рис.4 Переходные характеристики в замкнутой АСР.

**а** - переходная характеристика без контура адаптации при  $K_p^{(0)} = 3, T_u^{(0)} = 100$ ,  
**б** - переходная характеристика при  $K_p^{(1)} = 0.8, T_u^{(0)} = 100$ , **в** - переходная характеристика при  $K_p^{(2)} = 1.1$  и  $T_u^{(0)} = 100$ , **г** – переходная характеристика при  $K_p^{(2)} = 1.1, T_u^{(1)} = 192.3$ , **д** – переходная характеристика при  $K_p^{(3)} = 1.75, T_u^{(1)} = 192.3$

### Основные результаты и выводы.

1. Предложен метод построения СНС АР, основанный на коррекции величины  $K_p$  по информации, полученной путём анализа начального участка переходного процесса в замкнутой АСР при подаче ступенчатого идентифицирующего сигнала по выходной величине объекта и изменении величины  $T_u$  с помощью упорядоченных правил на основе введенных в рассмотрение величин, косвенно характеризующих качество переходного процесса. Установлено, что постоянный коэффициент  $\alpha$  в алгоритме коррекции коэффициента передачи регулятора определяет конечные показатели качества регулирования при однопараметрической настройке. При коррекции только величины  $k_p$  для дости-

жения динамической ошибки меньше двух процентов рекомендовано выбирать  $\alpha = 1.44$ .

2. Предложенный метод построения СНС АР обеспечивает эффективную работу при изменении параметров объекта в диапазоне:  $0.1 \leq \frac{\tau}{T} \leq 10, \tau > 10, T > 5$ , коэффициент усиления объекта может изменяться в 20 раз. Процесс самонастройки заканчивается за  $2 \div 8$  итераций в зависимости от начальных значений параметров настройки регулятора.

The technique for building the self-tuned regulators of industrial quasi-stationary objects is proposed. It consists in tuning of the total amplification coefficient for closed automatic regulation system with respect to its error absolute value and derivative as well as correction of the integration constant with the use of the estimation of direct quality factors. The results of modeling are presented. The operability of self-tuned regulator within wide range of the object parameters change is shown.

1. Шубладзе А.М., Уланов А.Г., Ткачев В.П., Гулзев В.С., Ланченко Н.П. Адаптивные промышленные регуляторы // Приборы и системы управления. - 1981. - №7.- С.15-16.

2. Загарий Г.И., Шубладзе А.М. Синтез систем управления на основе критерия максимальной степени устойчивости // Энергоатомиздат. -1988. -104с.

3. Полищук И.А., Ковриго Ю.М., Мовчан А.П. Адаптивный регулятор с идентификацией в замкнутом контуре // Энергетика: экономика, технологии, экология. – 2004. - №2. - С. 16-22.

## ЗАСТОСУВАННЯ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ДЛЯ НЕСТАЦІОНАРНИХ ОБ'ЄКТІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ КОМПЛЕКСІВ НЕПЕРЕРВНОГО ТИПУ

Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Луцька Н.М.

В технологічних комплексах неперервного типу (наприклад цукрових, спиртових та ін. заводів) функціонують технологічні агрегати, які є нестационарними, нелінійними, характеризуються невизначеністю параметрів, тому застосування традиційних одноконтурних систем регулювання не дають бажаного ефекту. Такі агрегати є також багатозв'язними та багатовимірними об'єктами, що потребує нових підходів до ефективного керування ними та узгодження їх роботи з іншими агрегатами та підсистемами в складі технологічних комплексів неперервного типу.

В сучасній теорії керування для синтезу та дослідження багатовимірних систем керування використовуються методи адаптивного, робастного управління, які останнім часом доповнюються методами  $H_2$ - та  $H_\infty$ - оптимізації. Для конкретного технологічного об'єкта оцінка доцільності застосування адаптивних систем передбачає виконання таких процедур: аналіз функціонування, оцінка нестационарності, розробка структури системи керування, дослідження ефективності керування.

В статті розглядається нахилена дифузійна установка (ДУ) цукрового заводу, що характеризується несприятливими властивостями як об'єкт керування і в той же час ДУ є одним з основних об'єктів, де формуються техніко-економічні показники роботи комплексу. Основними параметрами, які визначають економічну ефективність процесу екстракції цукру з цукрової стружки, є вміст цукру у дифузійному соці та втрати цукру в жомі, що підтримуються за рахунок необхідного температурного та гідродинамічного режимів.

Типова схема системи автоматизації ДУ передбачає [1]: стабілізацію питомого навантаження апарата, стабілізацію концентрації дифузійного соку, стабілізацію температурних режимів по зонах дифузійного апарата, стабілізацію рівня у головній частині апарата, вимірювання витрати стружки, дифузійного соку, жомової та сульфітованої води, рН суміші стружки та води.

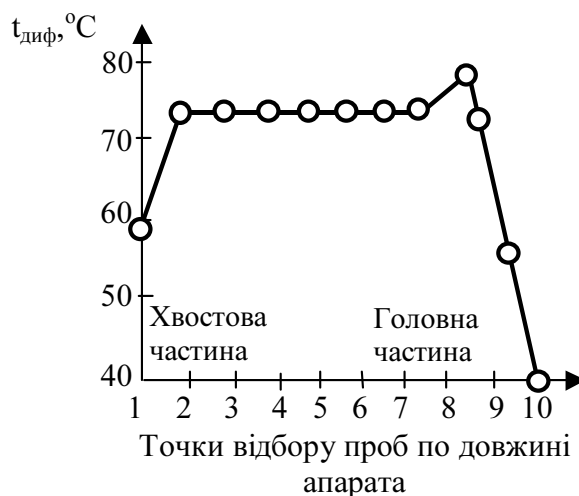


Рис. 1. Залежність коефіцієнта дифузії сахарози від температури в тканинах цукрового буряку.

На процес екстрагування впливають: температурні режими по зонах апарата (по його довжині), якість бурякової стружки, рН середовища в апараті, співвідношення витрат

стружки та води, якість живильної води, час перебування стружки в апараті. Так коефіцієнт дифузії сахарози в тканинах буряку визначається залежністю [2] :

$$D = (1.89 \cdot 10^{-8} R_{екв}^2 t^{2.9}) / \tau^{0.54}, \quad (1)$$

де  $R_{екв}$  – еквівалентний радіус стружки, м;  $t$  – температура активної дифузії, °С;  $\tau$  - тривалість процесу, с.

На рис.1 показано вплив температури на коефіцієнт дифузії в тканинах буряку, звідки видно, що зі зростанням температури коефіцієнт дифузії збільшується, але збільшення температури до 80 °С призводить до перегрівання стружки, при цьому стружка втрачає пружність та можливе її злипання.

Таким чином, для отримання дифузійного соку з необхідними технологічними якостями необхідно швидко нагріти стружку до температури денатурації білків та підтримувати температуру активної екстракції в інтервалі 72...75 °С. Приблизний температурний режим обезцукрювання бурякової стружки в нахиленому шнековому дифузійному апараті приведено на рис.2. [2]. Отже, підтримання заданого температурного режиму по зонах нахиленої дифузійної установки являється одним з основних завдань при розробці автоматизованої системи управління ДУ.

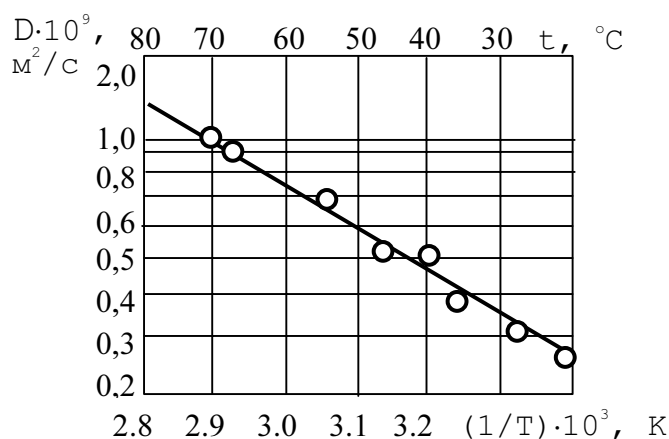


Рис.2. Приблизний температурний режим в нахиленому дифузійному апараті.

Існуючі системи автоматизації виділених підсистем не забезпечують необхідної якості соку на виході ДУ, а недостатня точність підтримання технологічного режиму призводить до збільшення витрати енергоносіїв та втрат цукру в жомі. В нахилений ДУ регулюється кілька значень температури в різних зонах, причому ці технологічні змінні зв'язані між собою. Як правило, на підприємствах підтримання заданого температурного режиму здійснюється локальними регуляторами типу П та ПІ, але за рахунок зв'язності температур в різних зонах регулювання кожної з них окремо приводить до відхилень інших. Таким чином в загальному випадку на основі якісних та деяких кількісних показників можна зробити висновок про доцільність застосування адаптивних систем.

Математична модель теплообмінної частини ДУ, що отримана на основі теплових балансів, приведена до виду (машинний час  $t=100\tau$ , де  $\tau$ , с)

$$\left\{ \begin{array}{l} 1.157 \frac{d\Delta\theta_1}{dt} + \Delta\theta_1 = 0.43\Delta\theta_c + 0.54\Delta\theta_2 + 0.03\Delta\theta_{n1} - 0.27\Delta G_c + 0.15\Delta G_{dc}; \\ 1.169 \frac{d\Delta\theta_2}{dt} + \Delta\theta_2 = 0.43\Delta\theta_1 + 0.54\Delta\theta_3 + 0.03\Delta\theta_{n2} - 0.14\Delta G_c + 0.04\Delta G_{dc}; \\ 1.181 \frac{d\Delta\theta_3}{dt} + \Delta\theta_3 = 0.43\Delta\theta_2 + 0.54\Delta\theta_4 + 0.03\Delta\theta_{n3} - 0.04\Delta G_c + 0.03\Delta G_{dc}; \\ 1.193 \frac{d\Delta\theta_4}{dt} + \Delta\theta_4 = 0.43\Delta\theta_3 + 0.33\Delta\theta_6 + 0.03\Delta\theta_{n4} + 0.21\Delta\theta_{жс} + 0.92(\Delta G_6 + \\ \quad + \Delta G_{жс}) - 0.87\Delta G_{dc} + 0.09\Delta G_c; \\ 0.0887 \frac{d\Delta\theta_{n1}}{dt} + \Delta\theta_{n1} = \Delta\theta_1 + 279.91\Delta G_{n1}; \\ 0.0393 \frac{d\Delta\theta_{n2}}{dt} + \Delta\theta_{n2} = \Delta\theta_2 + 288.9\Delta G_{n2}; \\ 0.0489 \frac{d\Delta\theta_{n3}}{dt} + \Delta\theta_{n3} = \Delta\theta_3 + 286.5\Delta G_{n3}; \\ 0.0715 \frac{d\Delta\theta_{n4}}{dt} + \Delta\theta_{n4} = \Delta\theta_4 + 282.3\Delta G_{n4}; \end{array} \right. \quad (2)$$

де  $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4, \Delta\theta_{n1}, \Delta\theta_{n2}, \Delta\theta_{n3}, \Delta\theta_{n4}$  - координати стану об'єкта, що складаються з температур сокостружкової суміші та пари в парових камерах по відповідних зонах апарату;  $\Delta G_{n1}, \Delta G_{n2}, \Delta G_{n3}, \Delta G_{n4}$  - управління, що складається з витрати пари по відповідних зонах апарату;  $\Delta\theta_c, \Delta G_c, \Delta G_{dc}, \Delta\theta_6, \Delta\theta_{жс}, \Delta G_{жсв}$  - збурення, де  $\Delta G_c, \Delta G_{dc}, \Delta G_6, \Delta G_{жс}$  - витрати відповідно стружки, дифузійного соку, барометричної та жомопресової води ( $\Delta G_{жсв} = \Delta G_6 + \Delta G_{жс}$ ),  $\Delta\theta_c, \Delta\theta_6, \Delta\theta_{жс}$  - температури стружки на вході в дифузійний апарат, барометричної та жомопресової води відповідно.

В процесі функціонування об'єкта його параметри змінюються в досить широкому діапазоні, що суттєво впливає на зміну постійних часу та коефіцієнтів передачі об'єкта:

$$- T_i = \frac{MLH_i\rho_i c_i}{kF + G_c^{ij}C_c^{ij} + G_{dc}^{ij}C_{dc}^{ij}}, \text{ де } M, H_i, L, \rho, c_i - \text{ширина, рівень, довжина, густина та}$$

теплоємність сокостружкової суміші відповідно;  $k, F$  - коефіцієнт теплопередачі та площа нагріву парової рубашки,  $G_c^{ij}, G_{dc}^{ij}, C_c^{ij}, C_{dc}^{ij}$  - витрата та теплоємність бурякової стружки, дифузійного соку з

$i$ -ої в  $j$ -ту зону відповідно

$$- T_{ni} = \frac{Vc_{ni}}{kF}, \text{ де } V, c_{ni} - \text{об'єм однієї парової рубашки та теплоємність пари в } i\text{-ій}$$

зоні відповідно.

$$- k_{Ui} = \frac{r_i}{kF}, \text{ де } r_i - \text{теплота пароутворення в } i\text{-ій зоні ДУ.}$$

Таким чином у вирази для постійних часу та коефіцієнтів передачі об'єкта входить коефіцієнт теплопередачі  $k$ , який в процесі роботи змінюється в 1,5 – 3 рази, що приводить до необхідності застосування адаптивних систем. Необхідно побудувати оптимальний адаптивний регулятор для виділеного об'єкта, що забезпечує підтримання температур по зонам ДУ  $\Delta\theta_1, \Delta\theta_2, \Delta\theta_3, \Delta\theta_4$  згідно з оптимальним режимом та зменшення витрат енергоносіїв в умовах змінюваних параметрів об'єкта.



В среде Matlab было построено математическую модель диффузионной установки та проведено серию экспериментов с адаптивным регулятором из эталонной моделью при незначительных параметрах объекта. Основным возмущением температуры по зонах диффузионного аппарата является начальная температура стружки  $\Delta\theta_c$ , другими возмущениями являются витрата стружки  $\Delta G_c$  та диффузионного соку  $\Delta G_{dc}$ . В качестве эталонной модели объекта используется математическая модель диффузионной установки с номинальными расчетными значениями параметров. Как адаптивный алгоритм используем зависимость  $k_p \cdot k_{OY} \cdot r = const$ , где  $r$  - выход управляющего устройства адаптации в адаптивном регуляторе. Оптимальные значения температурного режима по зонах наклонной диффузионной установки в эталонной модели и объекте постоянно сравниваются и в случае возникновения сигнала рассогношения, он используется для изменения характеристик системы в необходимом направлении.

Проведено статистический анализ технологических изменений та зроблено висновок що всі змінні, в тому числі збурення, є випадковими процесами та не існує детермінованих збурень, тому при моделюванні збурень використовувався генератор випадкових чисел, які розподілені за нормальним законом в заданому діапазоні.

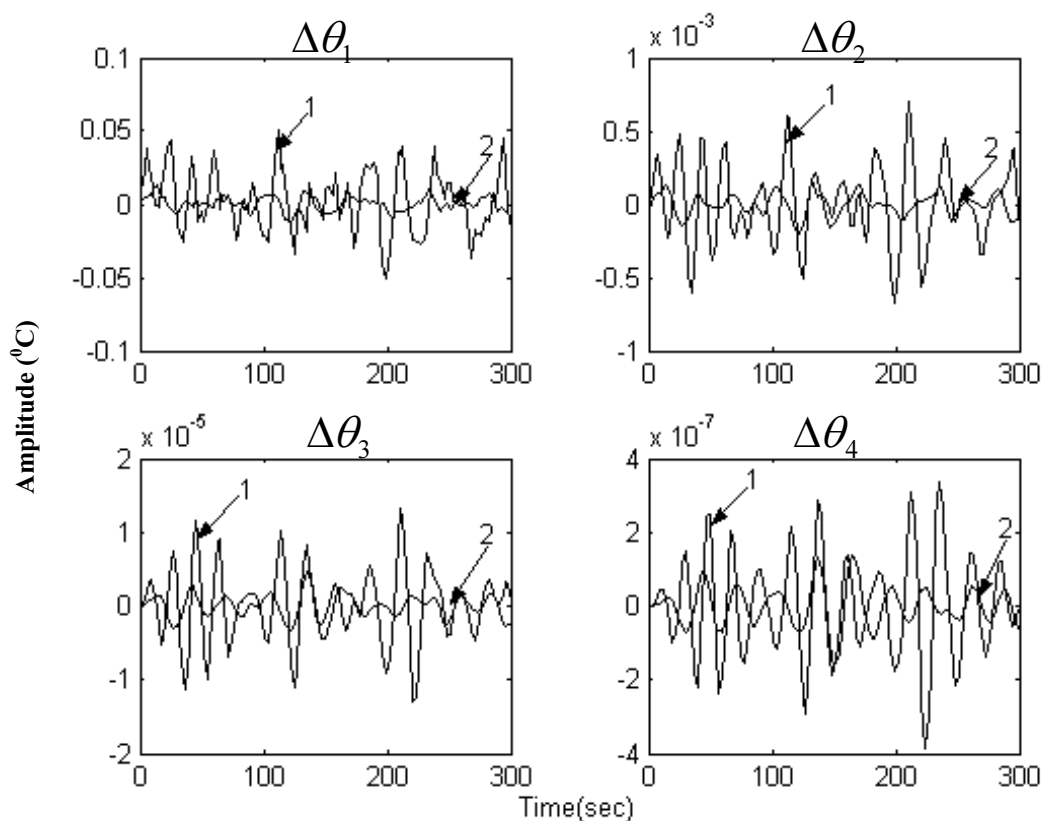


Рис.3. Перехідні процеси при дії основного збурення з використанням ПІ (1) та адаптивного (2) регуляторів.

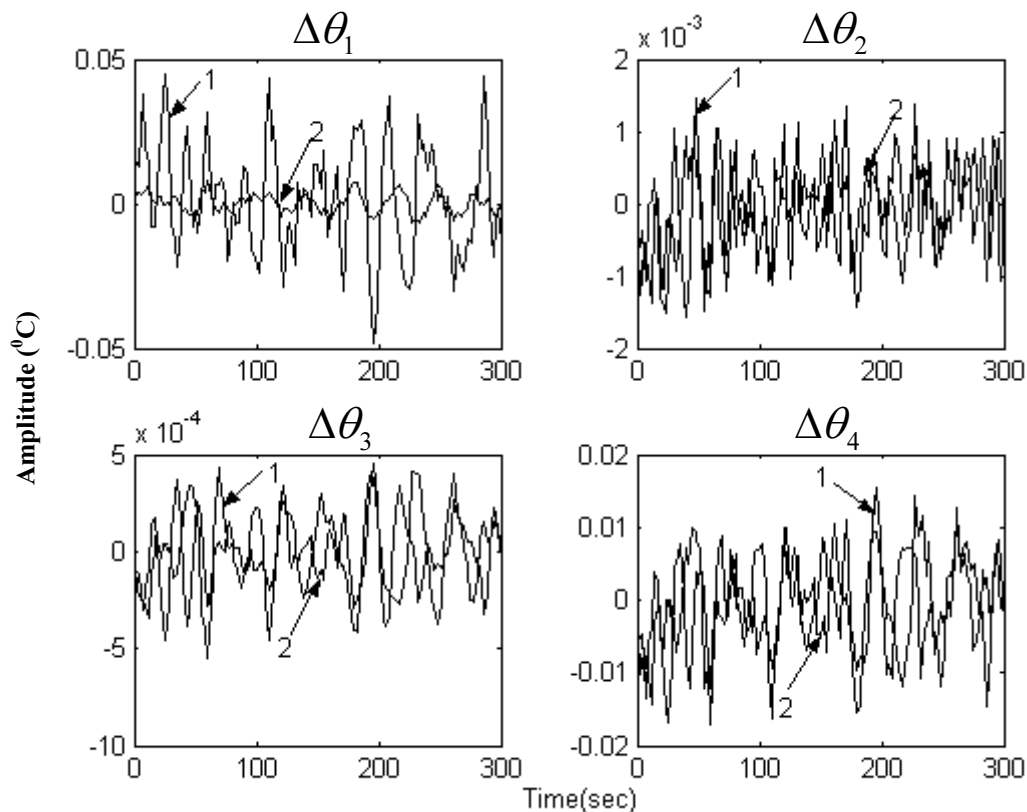


Рис.4. Перехідні процеси при дії всіх збурень з використанням ПІ (1) та адаптивного (2) регуляторів.

Як видно з графіків (рис.3, 4) використання адаптивного регулятора значно зменшує частоту та амплітуду коливань вихідного сигналу, а інтегрально-квадратичний критерій зменшується з величини 0.1212 до 0.0074.

Для підвищення якості процесів регулювання необхідно враховувати, що адаптивні системи функціонують ефективно, коли вони призначені для компенсації параметричних збурень, а коли одночасно діють і координатні збурення, вони працюють незадовільно. Цю проблему буде розглянуто в подальшому шляхом застосування до об'єкта адаптивних та робастних систем.

In the given activity the necessity of application of adaptive regulators for non-steady objects of a food-processing industry on an example of the inclined diffusive vehicle is esteemed. Is built mathematical model of the diffusive vehicle and is executed a series of experiments with the adaptive regulator with a standard model at acritical parameters of object and the efficiency of its application is demonstrated.

1. Автоматизация технологических процессов и производств пищевой промышленности: Пособие / Ладанюк А.П., Трегуб В.Г., Ельперин И.В., Цюцюра В.Д. – К.: Аграрна освіта, 2001. – 224с.
2. Сапронов А.Р. Технология сахарного производства. – М.: Колос, 1998. – 495с.: ил. – (Учебник и учеб. пособие для студентов высших учебных заведений).

**ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА**

УДК 65.012

**ОРГАНИЗАЦИЯ КООРДИНАЦИИ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ  
ОБЪЕКТАМИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

Соколова Н.А., Ходаков Д.В., Ходаков В.Е.

**Введение.**

Начало появления и использования системного подхода связывают с работой Берта-ланфи [1].

Системный подход состоит в повсеместном и взаимосвязанном решении всех этапов развития системы и опирается на следующие принципы [2,3]:

- 1) взаимосвязь и развитие, зависимость и автономность, качественное различие целого и части;
- 2) иерархичность исследования: собственный уровень – изучение самой системы; вышестоящий уровень – изучение системы как элемента более широкой системы (метасистемы); нижестоящий уровень – изучение системы во взаимосвязи с компонентами;
- 3) интеграция исследования: изучение общих свойств и закономерностей системы, раскрытие принципов объединения в целое;
- 4) формализация исследования: создание методов, нацеленных на получение количественных характеристик.

К сложным системам относится и объект хозяйственной деятельности (ОХД).

Под ОХД будем понимать предприятие, организацию, учреждение, фирму, учебное заведение и т.д., как совокупность материальных ресурсов, технологических процессов (производства, обслуживания, обучения, лечения, управления и т.д.), трудовых ресурсов и организационной структуры, обеспечивающую функционирование системы и взаимодействие с внешней средой как целого. Таким образом, по определению, ОХД это универсальный элемент социально-экономической системы с практически неограниченной сферой деятельности, например: банки, страховые компании – в финансовой сфере; предприятия – в производственной сфере, транспортные, информационные, ремонтные, образовательные – в сфере услуг.

**Постановка задачи.**

Динамизм настоящего периода вызывает необходимость изучения процессов развития ОХД.

При управлении развитием системы (ОХД) необходимо руководствоваться следующими положениями, вытекающими из системного подхода: пропорционально-последовательное продвижение по этапам развития системы; координация (согласование) целей, информационных, надежности, ресурсных и других характеристик; правильное соотношение отдельных уровней иерархии в системе; целостность отдельных обособленных стадий развития. При этом должен реализовываться главный принцип – обеспечение максимальной эффективности системы в результате развития.

Использование системного подхода привело к повышению роли координации. При использовании системного подхода координация «пронизывает» процесс развития ОХД от начальной стадии до конечной, что в свою очередь требует развития методов и моделей координации в сложных системах для формирования концепции развития ОХД. Таким образом появление и развитие системного подхода обусловило необходимость развития методов и концепции координации в сложных системах. Однако, несмотря на более чем тридцатилетнюю историю начала использования системного подхода, количество работ по координации исчисляется единицами [4,5].

**Основная часть.**

Решение задач координации начинает осуществляться с самого верхнего уровня системы и заключается в достижении такого состояния системы (ОХД), чтобы интересы всех компонентов (звеньев) системы были скоординированы, т.е. согласованы.

Объекты хозяйственной деятельности относятся к сложным многоуровневым системам, состоящим из определенного количества в определенной степени самостоятельных объектов. Для наглядности описания представим ОХД в виде двухуровневой системы, что является допустимым потому что в двухуровневых системах проявляются все существенные характеристики многоуровневых, и более сложные системы могут быть построены из двухуровневых (рис.1). На верхнем уровне двухуровневой ОХД находится головной орган, а на нижнем – отдельные элементы. Головной орган (ГО) берет на себя функции управления и координации деятельности элементов нижнего уровня, а также занимается собственной деятельностью (в зависимости от вида ОХД выпускает продукцию, оказывает услуги). Каждый из элементов низшего уровня обладает определенной самостоятельностью в организации собственной деятельности, но головной орган оказывает влияние на их состояние.

Описание ОХД как крупномасштабной системы должно включать набор переменных, задающих состояние всех элементов и системы в целом.

Состояние ОХД, как системы, описывается вектором  $y$ :

$$y = \{y_i, i \in I\},$$

где состояние каждого элемента описывается вектором  $y_i$ :

$$y_i = \{y_{ij}, j \in J_i\} = \{y_{ij}\}. \quad J_i = \{j | j = 1, 2, \dots, m_i\}. \quad (1)$$

Для каждого  $i$ -го элемента, где  $I$  – множество элементов ОХД (причем  $i=0$  – индекс головного ( $C_0$ ) элемента, а  $i=1, n$  – индексы остальных элементов), определен вектор:

$$y_i = (y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{im_i}),$$

где  $m$  – число показателей для описания состояния  $i$ -го элемента.

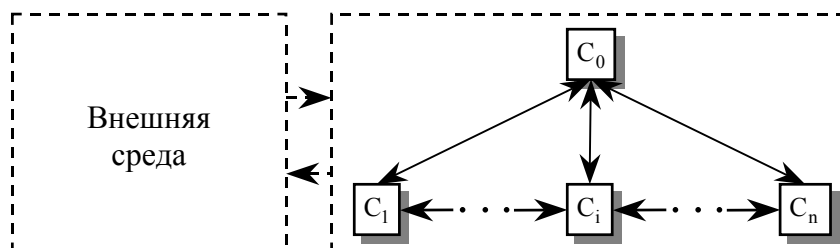


Рис.1 Укрупненная схема ОХД

Элементы  $C_i$  ОХД достаточно самостоятельны, чтобы организовать свою деятельность с наибольшей выгодой для себя. Однако в ОХД все элементы взаимозависимы и взаимосвязаны, т.е. от каждого из них зависит состояние других подразделений и системы в целом. Возможности элементов по организации собственной деятельности ограничены взаимосвязями и взаимозависимостями с другими элементами ОХД и контролируются головным элементом  $C_0$ , который разрабатывает общую стратегию, определяет плановые задания, распределяет ресурсы и пр.

Вектор состояний  $i$ -го элемента можно представить как объединение векторов:

$$y_i = (v_i, u_i^*, u_i),$$

где  $v_i$  – вектор расхода ресурсов;

$u_i^*$  – вектор результатов деятельности, определяемый головным органом;

$u_i$  – вектор результатов, определяемый самим элементом.

В свою очередь  $v_i \in V_i(u_i^*)$ , где  $V_i(u_i^*)$  – допустимое множество расходов ресурсов,

$$u_i \in U_i(v_i),$$

где  $U_i(v_i)$  – допустимое множество результирующих векторов при допустимом расходе ресурсов.

Тогда множество состояний  $i$ -го элемента будет определяться следующим образом:

$$Y_i = \{y_i(v_i, u_i^*, u_i) \mid v_i \in V_i(u_i^*) \cap V_i, u_i^* \in U_i^*, u_i \in U(v_i)\}.$$

Элементы ОХД действуют в сложной взаимосвязи не только друг с другом, но и с внешней средой. Влияние внешней среды вносит неопределенности и риск. При этом существенно влияние головного органа  $C_0$ , который определяет основные стратегические задачи элементов  $C_1 \div C_k$ , распределяет ресурсы. Состояние каждого элемента характеризуется глобальными и локальными ограничениями.

Взаимосвязь между элементами координируется головным элементом  $C_0$  (рис.1). Согласно подходу к координации в иерархических системах, впервые предложенному М. Месаровичем [4], координирование поведения элементов означает такое воздействие на них со стороны головного элемента, которое заставляет их действовать согласованно. Деятельность внутри системы координируется выполнением глобальной цели системы. Но отдельные элементы системы действуют ещё и так, чтобы достичь своих индивидуальных целей, из-за чего возможна конфликтная ситуация рассогласования интересов, а это может привести к невыполнению глобальной цели. Поэтому для получения устойчивого развития ОХД необходимо выполнение постулата совместимости.

Согласно постулату совместимости, решаемые на нижнем уровне задачи, координируются относительно задачи, решаемой на уровне всей системы всякий раз, когда они скоординированы относительно задачи, решаемой на уровне вышестоящего элемента.

Постулат совместимости определяет условия координируемости целей различных элементов системы, что является необходимым для согласованного достижения глобальной цели.

Во время развития системы решения задач координации проводятся последовательными шагами:

- координация целей – согласование целей деятельности элементов и всей системы, направленное на устранение противоречий в интересах на этапе разработки глобальной стратегии развития;
- координация в общем – установление определенных правил, определяющих действия элементов системы (стратегия);
- координация в деталях – практическая реализация выполнения установленных правил взаимодействия между головным элементом и нижестоящими элементами системы, между самими элементами.

Представим организацию, последовательность и взаимосвязь процессов координации в системе управления развитием ОХД (рис.2).

Начальным этапом решения задачи является определение общего объема работ по развитию ОХД, затем последовательная декомпозиция целей, функций и структур (выделение составляющих, уровней параллелизма, элементов декомпозиции) и распределение инноваций – работ по развитию по уровням параллелизма. Далее осуществляется выбор механизмов координации, решение задач развития на выделенных уровнях и элементах детализации для построения вариантов путей развития ОХД, контроль реализации развития, определение размеров и причин несоординированности, оценка координируемости и управляемости, прогнозирование и определение эффективности хода развития и координируемости.

Необходимо планировать работу системы в соответствии с прогнозируемым поведением внешней среды. Подобные планы должны быть согласованы с возможностями отдельных компонентов системы в соответствии со стратегическим планом развития ОХД. Управляемость обеспечивается структурой организаций процессов координации, которая предопределяет возможность при помощи определенных ресурсов и средств, функциональных служб целенаправленно влиять на работу отдельных элементов системы.

Разработанная концепция организации процессов координации (рис.2) обеспечивает выполнение принципа рекурсивности, поскольку система управления отдельной частью полностью соответствует принципам построения всей системы управления развитием ОХД.

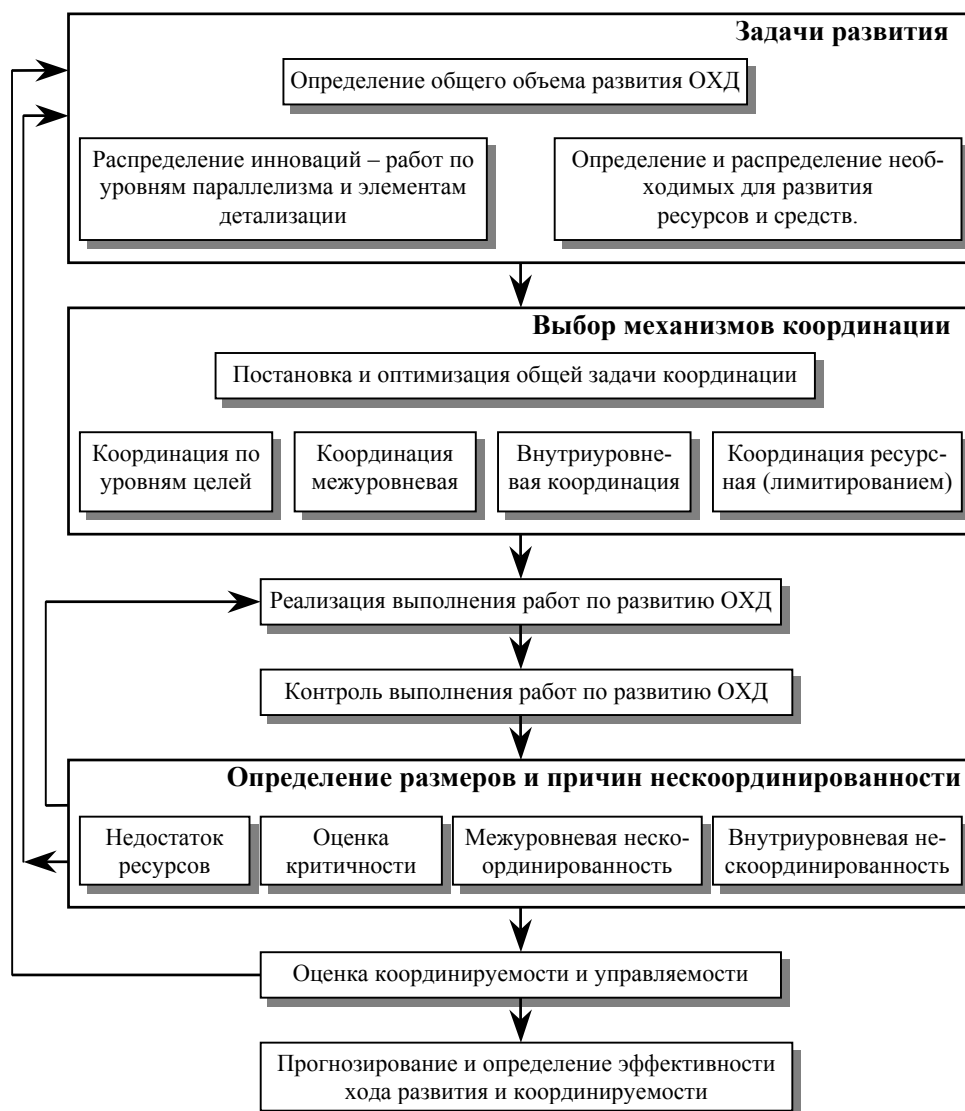


Рис.2 Схема организации процессов координации в системе управления ОХД.

Рекурсивность означает, что любой из элементов системы также является жизнеспособной системой и в свою очередь имеет такую же структуру, что и главная система, которая, возможно, является частью ещё более глобальной системы. Таким образом, на всех уровнях выполняются вышеперечисленные принципы организации.

Действительно, при более детальном рассмотрении схему-проект управления развитием можно представить в виде совокупности отдельных подпроектов, которые, в свою очередь, состоят из отдельных комплексов работ. Комплексы работ можно разбить на операции и т.д. При этом организация процессов координации подсистем нижнего уровня соответствует тем же принципам, что и всей системы.

В процессе реализации проекта развития предусматриваются возможности выявления степени и причин несоординированности. При этом, среди возможных причин несоответствия выделим три основных типа.

1. Объективная невозможность выполнения работ из-за нехватки ресурсов. Это может быть вызвано недостаточным качеством планирования, при котором не были учтены

все необходимые затраты на выполнение работ; внезапными действиями внешней среды (возмущениями), которые не могли быть предусмотрены в плане и, соответственно, на локализацию которых не было предусмотрено дополнительных средств.

2. Невыполнение по причине межуровневой несогласованности целей. Такая ситуация имеет место, когда локальные цели подсистем не согласованы с целями вышестоящей управляющей системы, то есть их целевые функции не являются «связанными». В этом случае для локальных (нижестоящих) управляющих подсистем отсутствуют стимулы для качественного выполнения своих обязанностей, они не заинтересованы в этом. Такая ситуация является следствием плохой работы на этапе планирования целей.

3. Невыполнение по причине внутриуровневой несогласованности, то есть в результате нерациональных взаимосвязей между элементами одного уровня. Такая ситуация может возникнуть в результате некачественного распределения работ или же некачественной работы отдельных элементов этого же уровня. При этом подобная негативная тенденция может иметь каскадный характер и распространяться на эффективность работы остальных элементов (например, задержка выполнения работы, лежащей на критическом пути, ведет к сдвигу и несвоевременному выполнению всех остальных работ). Такая ситуация требует своевременной координации.

После определения размеров и причин несоответствия запускаются в работу процессы координации.

Несоответствие, первого типа решается путем координации на уровне ограничений. При этом происходит перераспределение ресурсов в рамках данной подсистемы управления, то есть проблема сначала решается на локальном уровне. Если несоответствие имеет такой масштаб, что мобилизации ресурсов на данном уровне недостаточно, в координацию вовлекаются управляющие системы более высокого уровня. В худшем случае может оказаться, что проблема в рамках установленного объема ресурсов проекта не решается, вообще, тогда для решения проблемы будут привлекаться инвесторы и будет решаться вопрос о пересмотре объема ресурсов и дополнительном финансировании.

Несоответствие, вызванное причинами второго типа, решается путем координации на уровне целей. Такая координация лежит в основе процессов активизации в управлении. При этом решаются задачи согласования целей нижестоящих и вышестоящей управляющих систем.

Если декомпозиция проекта развития ОХД произведена по предметному принципу и целевые функции управляющих подсистем всех уровней привязаны непосредственно к степени выполнения определенного типа работ, то такая рассогласованность целей в большом масштабе заведомо исключена, поскольку целевая функция вышестоящей управляющей системы сепарабельна и будет складываться из целевых функций всех нижестоящих в данной ветви иерархии подсистем.

Несоответствие, вызванное внутриуровневой несогласованностью решается путем применения одного из наиболее подходящих в данной ситуации принципов координации: прогнозирования и согласования взаимодействий.

Таким образом обеспечивается эффективность работы отдельных подразделений и гарантируется возможность организовать своевременную координацию выполнения проекта развития на всех уровнях и на любой стадии.

Однако для эффективной координации необходимо не только знать, какие из подсистем работают неэффективно, но и уметь оценить степень координируемости этих подсистем для определения целесообразности вложения средств на их координацию. Ведь вполне возможно, что стоимость дополнительных ресурсов, привлекаемых для координации данной подсистемы, превышает получаемый в результате координации эффект. Для этого необходимо уметь оценить степень важности неэффективно функционирующей работы. Показатель важности можно оценить, например, при помощи двух параметров:

1. Степень критичности данного вида работ, которая отражает расстояние данной работы от критического пути, которое можно выразить через резервы времени данной работы.

2. Степень заменяемости данного вида работ. Вполне возможно, что дополнительные ресурсы, необходимые для организации координации, рациональнее было бы использовать для применения, например, другой технологии или вообще привлечения других (например, более компетентных) исполнителей.

Сравнение величин затрат на координацию и эффекта от ее реализации, скорректированного на показатель важности данного вида работ, может дать представление об уровне координируемости данной системы и целесообразности проведения мероприятий по координации.

#### **Заключение.**

Показана взаимосвязь системного подхода при функционировании и развитии сложных систем с процессами координации. Разработана организация процессов координации в системе управления объектом хозяйственной деятельности. Показано, что сравнение величин затрат на координацию и эффекта от ее реализации, скорректированного на показатель важности данного вида работ, может дать представление об уровне координируемости данной системы и целесообразности проведения мероприятий по координации.

Management of development of complex systems on the basis of the system approach demands decision of tasks of coordination which are realized in systems consistently, since coordination of the purposes, then coordination in general, and at last in details. Questions of the organization, sequence and interrelation of processes of coordination a boundary of level type and inside of level type are considered. The circuit of the organization of processes of coordination in control system OEA is developed.

1. Берталанфи Л. Общая теория систем – обзор проблем и результатов. – В кн.: Системные исследования; Ежегодник. – М.: Наука, 1969. – С. 30-40.

2. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Системотехника. – М.: Радио и связь, 1985. – 200 с.

3. Николаев В.И., Брук В.М. Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, 1985. – 199 с.

4. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 332 с.

5. Алиев Р.А., Либерзон М.И. Методы и алгоритмы координации в промышленных системах управления. – М.: Радио и связь, 1987. – 208 с.



## РЕФЕРАТЫ

**Хомченко А.Н., Моисеенко С.В.** Лагранжева модель потенциального поля. – С. 6 – 9.

В статье показана возможность конструкции многочлена в форме Лагранжа для интерполяции потенциального поля. Представляет интерес прямое построение девятипараметрического полинома Лагранжа на шаблоне повышенной точности с целью получения соответствующего КР-аналога.

**Бабичева И.Ф., Бабичев С.А., Шарко А.В.** Компьютерная модель автоматизированной системы технической диагностики механических характеристик металлов на основе вейвлет-анализа и нейросетевых технологий. – С. 10 – 15.

Рассмотрены возможности использования вейвлет-анализа и нейронных сетей в автоматизированных системах технической диагностики механических характеристик металлов. Разработана методика вейвлет-обработки одномерного сигнала, позволяющая получить наиболее оптимальный уровень вейвлет разложения.

**Багашов И. И.** Математическое моделирование работы горнорудного предприятия, функционирующего в различных рыночных условиях.. – С. 16 – 21.

Рассмотрены вопросы математического моделирования горнорудного предприятия по обогащению руды в условиях современной конкуренции и монополии с целью максимизации прибыли. Для этих целей используется аппарат производственных функций и методы условной оптимизации.

**Баранов Ю.В., Гречухин А.В., Гагарин В.В.** Об одном методе построения нелинейной модели прогнозируемого процесса. – С. 22 – 25.

Рассматривается задача построения нелинейной модели Гаммерштейна, используемой в целях прогнозирования. Предлагаются алгоритмы оценивания линейной и несимметричной нелинейной частей модели.

**Болычевцев А.Д., Болычевцева Л.А., Быстрицкая Л.Б.** Оценка качества числового многопараметрического контроля. – С. 26 – 30.

Рассмотрены особенности структуры показателей качества числового многопараметрического контроля. Приведены выражения потерь качества его положительных и отрицательных результатов.

**Бразалук Ю.В., Евдокимов Д.В., Поляков Н.В.** Исследование устойчивости вихревых структур путем численного эксперимента. – С. 31 – 36.

Статья посвящена проблеме устойчивости вихревых структур. Развитый в настоящей работе подход позволяет эффективно разрешать указанные задачи.

**Волков Д.А., Донец Л.Ю., Мирошниченко А.С.** Характеристика комплексной специализированной информационной системы управления инженерными сетями на примере СПРВ. – С. 37 – 41.

В статье рассматривается возможность и целесообразность создания комплексной специализированной информационной системы управления инженерными сетями, основанной на интерфейсе ГИС и обладающей всеми преимуществами специализированных информационных систем. В статье предложена структура такой системы и приведен список задач, которые она может решать.

**Гнатушенко В.В.** Моделирование процесса формирования цифровых сканерных изображений дистанционного зондирования. – С. 42 – 46.

Работа посвящена разработке та дослідженню властивостей паралельно-проекційної моделі формування цифрових сканерних зображень дистанційного зондування з урахуванням специфіки їхнього формування.

**Дуравкин Е.В., Амер Таксин Каламех Абу Джаккар** Использование аппарата E-сетей для анализа распределенных программных систем. – С. 47 – 51.

Рассмотрены методы моделирования распределенных программных систем с использованием сетей Петри и их обобщений – E-сетей.

**Корчинский В.М.** Информативность многоспектральных проекционных изображений. – С. 52 – 55.

Предложены количественные характеристики пространственных распределений яркости многотонных проекционных изображений, полученных в различных спектральных диапазонах электромагнитного излучения. Приведена процедура их использования для определения относительной информационной значимости таких изображений.

**Деревянко А.И., Михалев А.И., Власова Т.Е.** Определение контуров на скейлинговых растровых изображениях. – С. 56 – 59.

Предложен метод определения порога бинаризации для выделения контуров растровых изображений, который основан на теории фракталов. В качестве критерия оценки порога бинаризации используются нарушения топологических свойств изображения, что связано со сменой фрактальной размерности.

**Олейник Ю.Т.** Моделирование инновационных рыночных стратегий. – С. 60 – 66.

Методами теории нечетких множеств и нечетких отношений построены модели зависимости качественных характеристик рыночного положения фирмы от соотношения предложения и спроса при реализации инновационных стратегий на товарном рынке.

**Подмогильный С.Н., Бараненко Р.В.** Информационная система территориального управления земельными ресурсами. – С. 67 – 74.

Излагается информационно-аналитическая система управления земельными ресурсами региона, цель, задачи, ее структура, основные функции. Использование подобных систем позволит повысить эффективность хозяйственной деятельности в регионе.

**Песчанский А.И., Приходько Р.А.** Модель последовательно - параллельной технологической системы с учётом частичного календарного технического обслуживания. – С. 75 – 79.

Построена математическая модель и найдены приближенные значения стационарных характеристик надежности последовательно - параллельной системы с частичным календарным техническим обслуживанием её последовательной части. Определены оптимальные сроки проведения технического обслуживания.

**Рымша В.В., Радимов И.Н., Меркулов И.В.** Математическое моделирование индукторных линейных двигателей постоянного тока. – С. 80 – 84.

Рассмотрены основные принципы реализации поэтапного подхода к математическому моделированию индукторных линейных двигателей постоянного тока. Приведены результаты моделирования распределения магнитного поля и электромагнитных сил.

**Рябченко И.Н., Свиридов С.А., Белик Р.А.** Математическое моделирование физических процессов, протекающих в системах подачи и распределения воды в нештатных ситуациях. – С. 85 – 89.

Предложена модель, адекватно отражающая физические процессы, протекающие в СПРВ при возникновении аварийной ситуации, с учетом топологических и управленческих преобразований как структуры сети, так и режимов функционирования.

**Ахметшин А.М., Степаненко А.А.** Повышение чувствительности ультразвуковой диагностики на основе псевдоэллипсометрических параметров аналитических импульсных характеристик. – С. 90 – 94.

Рассмотрены информационные возможности нового метода анализу ультразвуковых медицинских изображений. Представлены результаты экспериментальной проверки работоспособности метода.

**Юхимчук С.В., Шаригін О.А.** Механізм виведення в системах підтримки прийняття рішень керівника ліквідації надзвичайних ситуацій при нечітких вхідних даних. – С. 95 – 98.

Доповнено стандартний механізм нечіткого виведення. Новий механізм може адекватно обробляти неповні або нечіткі відповіді оператора. Система підтримки прийняття рішень, що використовує цей механізм виведення, може формувати рекомендації керівнику ліквідації надзвичайних ситуацій у випадках неповних та нечітких вхідних даних.

**Борковська Л.О.** Інформаційно-керуючий програмний комплекс координатно-вимірювальних машин. – С. 99 – 105.

В статті представлена структурна схема інформаційно-керуючої системи в трьох ієрархічних рівнях, що дозволяє розробляти спеціальне програмне забезпечення по вдосконаленню вимірювальних процесів геометричних розмірів об'єктів, покращенню метрологічних характеристик, обробки результатів вимірювання та представлення їх у графічному вигляді для оператора-метролога.

**Булкин В.И., Шаронова Н.В.** О некоторых вопросах идентификации знаний в интеллектуальных системах. – С. 106 – 112.

В статье рассматриваются вопросы идентификации и формального описания знаний в информационных интеллектуальных системах с использованием алгебрологического подхода, что позволяет путем перехода к переключаемым цепям конструировать технические средства обработки и хранения знаний в виде некоторого интеллектуального процессора обработки знаний.

**Рогальський Ф.Б., Корніловська Н.В., Рогальський О.Ф., Лур'є І.А.** Високочутливий активний LRC-фільтр нижніх частот з малим вхідним опором. – С. 113 – 116.

Рассматриваются требования к высокочувствительным фильтрам нижних частот с малым входным сопротивлением и принципы их построения. В основу построения фильтра нижних частот положены принципы построения усилителей постоянного тока, которые характеризуются высоким уровнем „дрейфа" нуля. Специальными решениями обеспечивается малое входное сопротивление и большие коэффициенты передачи. Приведена схема и результаты исследований параметров и характеристик предложенного фильтра.

**Шибицька Н.М.** Експертне оцінювання знань в системі дистанційного навчання. – С. 117 – 123.

Розглянуто актуальну наукову задачу розробки та застосування новітніх інформаційних технологій експертного оцінювання знань в системі дистанційного навчання з можливістю подальшого контролю та інваріантності оцінки якості засвоєння декларованих знань. Запропоновано класифікація тестових питань на підставі логіко-семантичних ета-

лонів та наведено функціональні залежності рівня знань оператора від впливу часу та вагових коефіцієнтів елементів тестових запитань.

**Теленик С.Ф., Гришко В.Ф., Долина В.Г.** Моделі первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів. – С. 124 – 139.

Досліджено новий спосіб створення первинних перетворювачів рефрактометрів на основі прозорих порожнистих циліндрів. Розроблена детальна математична модель проходження світла крізь наповнений рідиною прозорий порожнистий циліндр. Виконана комп'ютерна реалізація. Проаналізована передавальна характеристика первинного перетворювача рефрактометра, виявлені основні чинники впливу на передавальну характеристику.

**Кондратенко Г. В., Кондратенко Ю. П., Мухортова К. В.** Синтез нечетких регуляторів на основі об'єктно-ориєнтованих технологій. – С. 140 – 147.

В данной статье обсуждаются вопросы создания библиотеки классов для обработки нечеткой информации как универсального встраиваемого программного модуля с возможностью гибкой настройки всех этапов нечеткого логического вывода. Функциональность библиотеки иллюстрируется при синтезе и оптимизации нечеткого ПД-регулятора и сравнении его с классическим ПД-регулятором.

**Луцька Н.М.** Синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу. – С. 148 – 151.

У даній статті розглядається клас об'єктів, до якого належать багатокорпусні випарні установки, а також дифузійні установки нахилоного типу.

**Ковриго Ю.М., Мовчан А.П., Полицук І.А.** Метод построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения. – С. 152 – 157.

Запропонований метод побудови самоналагоджуваних систем автоматичного керування загальнопромисловими квазістаціонарними об'єктами, що полягає в підстроюванні загального коефіцієнта підсилення замкнутої АСР по модулю помилки і її похідній, а також часу досягнення максимуму похідної, з корекцією постійної інтегрування по оцінках прямих показників якості. Наведені результати моделювання, показана його працездатність в широких межах зміни параметрів об'єкту.

**Ладанюк А.П., Засць Н.А., Луцька Н.М.** Застосування адаптивних систем керування для нестационарних об'єктів технологічних комплексів неперервного типу. – С. 158 – 162.

В даній статті розглядається необхідність застосування адаптивних регуляторів для нестационарних об'єктів харчової промисловості на прикладі нахилоної дифузійної установки. Побудовано математичну модель дифузійної установки та проведено серію експериментів з адаптивним регулятором із еталонною моделлю при невизначених параметрах об'єкта та доведено ефективність його застосування.

**Соколова Н.А., Ходаков Д.В., Ходаков В.Е.** Организация координации в системах управления объектами хозяйственной деятельности. – С. 163 – 168.

Управление развитием сложных систем на основе системного подхода требует решения задач координации, которые реализуются в системах последовательно, начиная с координации целей, затем координации в общем, и наконец в деталях. Рассмотрены вопросы организации, последовательности и взаимосвязи процессов координации межуровневого типа и внутриуровневого типа. Разработана схема организации процессов координации в системе управления ОХД.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Амер Таксин Каламех Абу Джаккар** – аспирант кафедры теоретической и прикладной информатики Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина.

**Ахметшин А.М.** – д.ф.-м.н., профессор кафедры автоматизированных систем обработки информации Днепропетровского национального университета.

**Бабичев С.А.** – к.т.н., доцент кафедры общей и прикладной физики Херсонского национального технического университета.

**Бабичева И.Ф.** – преподаватель математики физико-технического лицея при Херсонском национальном техническом и Днепропетровском национальном университетах.

**Багашов И. И.** – к.т.н., заведующий кафедрой экономической кибернетики института предпринимательства «Стратегия».

**Бараненко Р.В.** – ассистент кафедры Информационных технологий и Дизайна ХНТУ., аспирант кафедры Информационных технологий и Дизайна ХНТУ.

**Баранов Ю.В.** – соискатель Харьковской национальной академии городского хозяйства, начальник проектного отдела ГОКП «ДОНЕЦКОБЛВОДОКАНАЛ».

**Белик Р.А.** – соискатель Харьковской национальной академии городского хозяйства, заместитель генерального директора ГОКП «ДОНЕЦКОБЛВОДОКАНАЛ», г. Донецк.

**Болычевцев А.Д.** – д.т.н., профессор кафедры АРЭ УИПА.

**Болычевцева Л.А.** – аспирант кафедры КиТЭВС Курского государственного технического университета.

**Борковська Л.О.** – ассистент кафедры інформаційних технологій інституту інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету (м. Київ)

**Бразалук Ю.В.** – научный сотрудник кафедры прикладной газовой динамики Днепропетровского национального университета.

**Булкин В.И.** – кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий Макеевского экономико-гуманитарного института.

**Быстрицкая Л.Б.** – приват-доцент кафедры АРЭ УИПА

**Власова Т.Е.** – к.т.н., с.н.с. кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

**Волков Д.А.** – аспирант кафедры информационных технологий Харьковской национальной академии городского хозяйства.

**Гагарин В.В.** – аспирант Харьковской национальной академии городского хозяйства.

**Гнатушенко В.В.** – к.т.н., доцент кафедры электронных средств телекоммуникаций Днепропетровского национального университета.

**Гречухин А.В.** – соискатель Харьковской национальной академии городского хозяйства, начальник отдела компьютерной техники ГОКП «ДОНЕЦКОБЛВОДОКАНАЛ».

**Деревянко А.И.** – к.т.н., доцент кафедры информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

**Донец Л.Ю.** – аспирантка Харьковской национальной академии городского хозяйства.

**Дуравкин Е.В.** – к. т. н., доцент кафедры теоретической и прикладной информатики Харьковского национального университета имени В. Н. Каразина.

**Евдокимов Д.В.** – зав. лабораторией моделирования процессов гидрогазодинамики Днепропетровского национального университета.

**Заєць Н.А.** – Национальный университет пищевой промышленности.

**Ковриго Ю.М.** – Заведующий кафедрой автоматизации теплоэнергетических процессов, к.т.н. Национальный технический университет Украины “КПИ”, г. Киев.

**Кондратенко Г. В.** – к.т.н., Национальный университет кораблестроения им. адм. Макарова, доцент кафедры компьютеризированных систем управления.

**Кондратенко Ю. П.** – д.т.н., профессор, Николаевский государственный гуманитарный университет им. Петра Могили, профессор кафедры интеллектуальных информационных систем.

**Корніловська Н.В.** – к.т.н., доцент кафедры Информатики і комп'ютерних технологій Херсонського національного технічного університету.

**Корчинский В.М.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой электронных средств телекоммуникаций Днепропетровского национального университета.

**Ладанюк А.П.** – Зав. кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевой промышленности, профессор, доктор техн. наук.

**Лур'є І.А.** – к.т.н., доцент кафедры Информатики і комп'ютерних технологій Херсонського національного технічного університету.

**Луцька Н.М.** – Национальный университет пищевой промышленности.

**Меркулов И.В.** – ст. преподаватель кафедры теоретических основ и общей электротехники Одесского национального политехнического университета.

**Мирошниченко А.С.** – соискатель Харьковской национальной академии городского хозяйства.

**Михалев А.И.** – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой информационных технологий и систем Национальной металлургической академии Украины.

**Мовчан А.П.** – Доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов, к.т.н. Национальный технический университет Украины “КПИ”, г. Киев.

**Моисеенко С.В.** – Магистрант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов. Национальный технический университет Украины “КПИ”, г. Киев.

**Мухортова К. В.** – магистр, Николаевский государственный гуманитарный университет им. Петра Могили, соискатель кафедры интеллектуальных информационных систем.

**Олейник Ю.Т.** – к.э.н., профессор, зав. кафедрой прикладной математики и информационных технологий Макеевского экономико-гуманитарного института, член-корреспондент МАН ВШ (Санкт – Петербургское отделение).

**Песчанский А.И.** – доц., канд. физ.-мат. наук, Севастопольский национальный технический университет

**Подмогильный С.Н.** – аспирант кафедры Информационных технологий и Дизайна ХНТУ.

**Полищук И.А.** – Заведующий кафедрой автоматизации теплоэнергетических процессов, к.т.н. Национальный технический университет Украины “КПИ”, г. Киев.

**Поляков Н.В.** – д. ф.-м. н., профессор, ректор Днепропетровского национального университета.

**Приходько Р.А.** – Севастопольский национальный технический университет.

**Радимов И.Н.** – к.т.н., доцент, заместитель начальника научно-производственного отдела НПП «Одесмонтажспецпроект».

**Рогальський О.Ф.** – аспірант кафедри інформаційних технологій і дизайну.

**Рогальський Ф.Б.** – завідувач кафедри Інформатики і комп'ютерних технологій Херсонського національного технічного університету, к.т.н., професор.

**Рымша В.В.** – к.т.н., доцент, доцент кафедры электрических машин Одесского национального политехнического университета.

**Рябченко И.Н.** – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Информационных технологий» Харьковской национальной академии городского хозяйства, академик Академии наук Высшей школы Украины.

**Свиридов С.А.** – аспирант Харьковской национальной академии городского хозяйства.

**Соколова Н.А.** – профессор, зав. кафедрой экономической кибернетики Херсонского национального технического университета, кандидат технических наук.

**Степаненко А.А.** – асс. кафедры программных средств Запорожского национального технического университета.

**Теленик С.Ф.** – доктор технических наук, профессор, Национальный технический университет Украины «КПИ»

**Ходаков В.Е.** – Заслуженный деятель науки и техники, заведующий кафедрой Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета, доктор техн. наук, профессор.

**Ходаков Д.В.** – заместитель декана факультета, кандидат технических наук.

**Хомченко А.Н.** – Заслуженный деятель науки и техники, заведующий кафедры прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета, доктор физ.-мат. наук.

**Шаронова Н.В.** – доктор технических наук, профессор, и.о. заведующего кафедрой педагогики и психологии управления социальными системами Национального технического университета «Харьковский политехнический институт».

**Шаригін О.А.** – аспірант кафедри інтелектуальних систем Вінницького національного технічного університету.

**Шарко А.В.** – д.т.н., профессор кафедры общей и прикладной физики Херсонского национального технического университета.

**Шибицкая Н.Н.** – кандидат технических наук, доцент, зав. кафедры “Компьютерные технологии” КИМиТ при Национальном авиационном университете.

**Юхимчук С.В.** – д.т.н., професор, завідувач кафедри інтелектуальних систем Вінницького національного технічного університету.



# ВНИМАНИЮ АВТОРОВ ЖУРНАЛА!

## ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ СТАТЕЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ»:

1. Тексты статей (до 10 стр.) представляются в электронном и печатном виде. Аннотации - на украинском, русском и английском языках, экспертное заключение о возможности опубликования, рецензия. Сведения об авторах должны включать: Ф.И.О., адрес, телефон (домашний и служебный), место работы, научные степень и звание, должность.

2. Статьи должны отражать (Постановление ВАК Украины № 7-06/1 от 15 января 2003г.): постановку проблемы в общем виде и ее связь с важными научными практическими заданиями; анализ последних исследований и публикаций; выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья; формулировку целей статьи; изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов; выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

3. Материалы, полученные некомплектно, оформленные небрежно и не в соответствии с настоящими правилами, редколлегией не рассматриваются.

4. Авторы представляют в редакцию текст статьи и аннотации в виде файла формата Microsoft Word на дискете 3,5 дюйма.

### *ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВОМУ ФАЙЛУ.*

Страницы: размер бумаги - 210 x 297 мм (A4), без нумерации, переносы не допускаются.

Поля: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, правое – 2 см, левое – 2,5 см.

Шрифт – Times New Roman. Интервал – одинарный.

Материалы представляются в следующем порядке:

- УДК. Шрифт – 12 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по левому краю, интервал после – 12 пт.
- Название статьи. Шрифт – 14 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по центру.
- Фамилии и инициалы авторов. Шрифт – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 12 пт.
- Текст статьи. Шрифт – 12 пт. Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине.
- Литература. Слово «ЛИТЕРАТУРА»: шрифт – 12 пт, прописные; абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до -12 пт., после – 6 пт. Список источников: нумерованный список, шрифт – 12 пт.; абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине. Список источников оформляется в соответствии с требованиями ВАК Украины.
- Рисунки. Формат – Рисунок Microsoft Word, объект Corel Draw (версия не старше 10, текст должен быть преобразован в кривые) или точечный рисунок. Положение рисунка – в тексте. Под рисунком располагается надпись вида: «Рис. 1 Название рисунка». Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 6 пт.
- Формулы. Набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. параметры настройки редактора: обычный – 12 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 18 пт., мелкий символ – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру. Справа от формулы в скобках указывается её порядковый номер.
- Таблицы. Формат – Microsoft Word или Excel. Над таблицей справа указывается номер таблицы вида: «Таблица 1». Ниже, по центру, размещается её название. Интервал до и после – 6 пт.
- Аннотации. Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине, интервал до и после – 6 пт. Аннотации представляются на украинском, русском и английском языках. Шаблон документа для оформления материалов можно взять в редакции.

Научно-технический журнал для публикации принимает работы по следующим научным направлениям:

- моделирование объектов и систем управления
- информационно-измерительные системы
- информационно-управляющие комплексы и системы
- оптимальное управление объектами и системами
- методы построения адаптивных систем управления
- цифровые и дискретные системы управления
- современные технические средства, комплексы и системы
- энергетический менеджмент
- экономика научно-технического прогресса

*Научно-технический журнал "Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы" приглашает к сотрудничеству организации на взаимовыгодных условиях. Журнал имеет общегосударственную сферу распространения.*

*Обращаться по адресу:*

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24  
ХГТУ, Редакция журнала ААЭКС  
Бражнику Александру Михайловичу  
т.: (0552) 552968, 326937  
E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

---

Рефераты научно-технического журнала аннотируются по сети INTERNET

---

Работы следует направлять в редакцию журнала по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХГТУ, Редакция журнала ААЭКС  
E-mail: [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

Справки по телефону: (0552) 552968, 326937