

ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

**А  
В  
Т  
О  
М  
А  
Т  
И  
К  
А  
  
А  
В  
Т  
О  
М  
А  
Т  
И  
З  
А  
Ц  
И  
Я  
  
Э  
Л  
Е  
К  
Т  
Р  
О  
Т  
Е  
Х  
Н  
И  
Ч  
Е  
С  
К  
И  
Е  
  
К  
О  
М  
П  
Л  
Е  
К  
С  
Ы  
И  
  
С  
И  
С  
Т  
Е  
М  
Ы**

**№ 1 (19) 2007**

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(19)**

**ХЕРСОН**

**2007**

*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.

© Херсонский национальный технический университет

Офсетная печать

Цена договорная

## С ЮБИЛЕЕМ



Доктору технических наук, профессору, академику Академии наук Высшей школы Украины, главному редактору международного научно-практического журнала ААЭКС: «Автоматика автоматизация, электротехнические комплексы и системы», члену Национального комитета Украинской Ассоциации по автоматическому управлению, члену правления Украинского ядерного общества, отличнику образования Украины, заведующему кафедрой

автоматизации теплоэнергетических процессов Одесского национального политехнического университета Тодорцеву Юрию Константиновичу в феврале месяце исполнилось 70 лет.

Основная часть творческой и трудовой жизни Юрия Константиновича связана с Одесским политехническим институтом (ОПИ), ныне Одесским национальным политехническим университетом. С первого сентября 1954 года - дня поступления на учебу и до сегодняшнего дня, когда с его именем ассоциируются достижения университета в области теории и практики автоматизации теплоэнергетических процессов. Автор более двухсот научных трудов, десятков изобретений, ученый и педагог Юрий Константинович подготовил двенадцать кандидатов наук и пять докторов наук.

Пройдя путь от ассистента до заведующего кафедрой, Юрий Константинович активно участвовал в развитии отечественной науки, в различные периоды успешно выполняя работу проректора по учебной работе ОПИ, директора энергетического института при ОПИ, члена правления экспертного совета ВАК Украины, члена специализированного ученого совета. За успешную работу в должности проректора по учебной работе ОПИ награжден орденом «Дружба народов».

Сегодняшний день Юрия Константиновича – это заботы о кафедре, увлеченная работа в науке, руководство молодыми учеными – теми, кто скоро вместе со многими учеными старшего поколения будут иметь честь назвать его своим учителем.

Члены редакционной коллегии журнала ААЭКС от всей души поздравляют Юрия Константиновича с юбилеем! Желаем счастья, крепкого здоровья и новых творческих успехов!

*Редакционная коллегия журнала ААЭКС*

# СОДЕРЖАНИЕ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Передерій В.І., Касап А.М.</u> Математична модель та алгоритм автоматизації розрахунку параметрів комп'ютеризованих систем працюючих у реальному часі.....	6
<u>Китаев А.В., Сушич Е.Ф.</u> Расчет погрешностей измерительных трансформаторов .....	11
<u>Клименко А.К.</u> Об упрощенном численном конструировании обратной модели динамического объекта.....	16
<u>Козуб Н.А., Манойленко Е.С., Хомченко А.Н.</u> Температурный тест для модифицированных базисов бикубической интерполяции.....	25
<u>Николаенко Ю.И., Моисеенко С.В.</u> Моделирование гармонического полиномиального базиса гексагона .....	31
<u>Тищенко И.А., Лубяный В.З.</u> Математическое моделирование вокодера для определения оптимальной формы импульса сигнала возбуждения.....	35

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<u>Бабак В.П., Пономаренко А.В.</u> Локализация места положения сквозных дефектов по сигналам акустической эмиссии .....	39
<u>Бражник Д.А.</u> Управление совмещением изображения объекта в сцене и эталонного изображения .....	47
<u>Литвиненко В.И.</u> Синтез радиально-базисных сетей для решения задачи дистанционного определения концентрации хлорофилла .....	53
<u>Полторак В.П., Дорогой Я.Ю.</u> Система распознавания образов на базе нечеткого нейронного классификатора .....	66
<u>Полякова М.В., Крылов В.Н.</u> Обобщённые масштабные функции с компактным носителем в задаче сегментации изображений упорядоченных текстур .....	75
<u>Ходаков В.Е., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н.</u> Методы и алгоритмы визуализации пространственных данных на примере моделирования распространения лесных пожаров. ....	85

## ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Мазурок Т.Л., Тодорцев Ю.К.</u> Актуальные направления интеллектуализации системы управления процессом обучения .....	93
<u>Ускач А.Ф., Становский А.Л., Носов П.С.</u> Разработка модели автоматизированной системы управления учебным процессом .....	98
<u>Рожков С.О., Кузьміна Т.О., Валько П.М.</u> Інформаційна база як основа для створення асортименту лляних виробів .....	100

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

<u>Батурінець Є. В., Пасенченко Ю. А.</u> Управління матеріальними запасами з обмеженнями на складські приміщення.....	108
<u>Ладієва Л.Р., Жулинський О.А</u> Оптимізація установки контактної мембранної дистиляції .....	111

<b><u>Стопакевич А.А.</u></b> Новые соотношения для синтеза цифровых оптимальных одномерных систем управления для объектов с запаздыванием .....	115
<b><u>Тарасюк В.П., Алдохіна А.С.</u></b> Основні положення методики побудови оптимального розкладу управління обладнанням паралельних технологічних процесів на основі експертних оцінок.....	118
<b><u>Крючковский В.В., Шеховцов А.В., Мельник А.Н., Цивильский Ф.Н.</u></b> Оптимизация нестационарных задач комбинаторного типа с помощью генетических алгоритмов.....	127
<b><u>Лебеденко Ю.О.</u></b> Оптимальне управління безпосереднім перетворювачем частоти за критерієм мінімізації негативного впливу на живильну мережу.....	132

## **МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ**

<b><u>Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Поліщук І.А.</u></b> Адаптивна система регулювання витрати палива .....	136
<b><u>Носов П.С.</u></b> Принятие адаптивной стратегии при формировании траектории обучения в пространстве.....	141

## **СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ**

<b><u>Федоровский К.Ю., Лунев А.А.</u></b> Теплоотдача погружного пластинчатого теплообменника системы охлаждения энергоустановок морских технических средств .....	145
<b><u>Ісаєв Є.О., Наговський Д.А., Чернецька І.Є.</u></b> До вибору факторів, що характеризують окомкування тонкоподрібнених залізорудних матеріалів .....	149
<b><u>Стадниченко В.Н.</u></b> Исследование влияния изменения эксплуатационных нагрузок на свойства металлокерамических слоёв полученных с использованием трибовосстанавливающих составов.....	153
<b><u>Хобин В.А., Бабиков А.Ю.</u></b> Системы экстремального управления молотковыми дробилками с функцией гарантированного соблюдения тепловых режимов их электродвигателей .....	160

## **ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА**

<b><u>Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Іщенко К.А.</u></b> Реінжинірінг бізнес-процесів та ефективність бізнесу .....	166
<b><u>Власенко Н.А.</u></b> Ринок соків в Україні та одна з альтернатив підвищення конкурентоспроможності продукції.....	169
<b><u>Соколова Н.А., Петров К.Э., Ходаков В.Е.</u></b> Необходимые условия развития объектов хозяйственной деятельности.....	174
<b><u>Шеховцов А.В., Славич В.П., Крючковский В.В.</u></b> Когнитивный анализ социально-экономических показателей .....	182

<b><u>РЕФЕРАТЫ</u></b> .....	188
------------------------------	-----

<b><u>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</u></b> .....	193
---	-----

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.372:538.56

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТА АЛГОРИТМ АВТОМАТИЗАЦІЇ РОЗРАХУНКУ ПАРАМЕТРІВ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ ПРАЦЮЮЧИХ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ.

Передерій В.І, Касап А.М.

**Постановка проблеми.** При проектуванні комп'ютеризованих систем працюючих у реальному часі, найбільш важливою проблемою, на початковій стадії проектування, є визначення взаємодії технологічних процесів з обчислювальним комплексом.

При вирішенні цієї проблеми необхідно враховувати вимоги до характеристик системи згідно конкретної технології. Аналіз таких вимог виконується на фізичному рівні проектування після чіткого виділення факторів, впливаючих на якість функціонування системи. Цей аналіз дозволяє вирішувати розміри задач та часове співвідношення між ними, а також алгоритми керування системою і обробки інформації. Його результати впливають на вибір стратегії й методів керування прийому та передачі даних, а також вирішують пропускну спроможність каналів та розподілення операційних ресурсів між обчислювальним комплексом й технологічним об'єктом.

**Метою даної статті** є розробка математичної моделі та алгоритму автоматизації розрахунку динамічних характеристик комп'ютеризованих систем, в діалоговому режимі для визначення найбільш оптимальних рішень.

**Викладення основного матеріалу.** Класичною архітектурою комп'ютеризованих систем керування є обмін інформацією на відстані між периферійним технологічним об'єктом та обчислювальним комплексом, через відповідні контролери зв'язку. Доцільно використовувати найбільш економічний та надійний асинхронний обмін інформацією в режимі переривання. В такій системі сигнали (заявки) по лінії зв'язку надходять до контролера з інтенсивністю  $\lambda$ , а інтенсивність обслуговування контролером -  $\mu$ . Заявка, що надійшла в момент, коли процесор зайнятий, стає в чергу й очікує обслуговування. Припустимо, що кількість місць у черзі обмежено числом  $m$ . Пронумеруємо стани системи по числу заявок, що перебувають у системі (які обслуговуються, та які очікують обслуговування):  $S_0$  – канал вільний;  $S_1$  – канал зайнятий, черги немає;  $S_2$  – канал зайнятий, одна заявка в черзі;  $S_k$  – канал зайнятий,  $k-1$  у черзі;  $S_{m+1}$  – канал зайнятий,  $m$  заявок у черзі. Тоді математична модель станів системи має вигляд (рис.1):

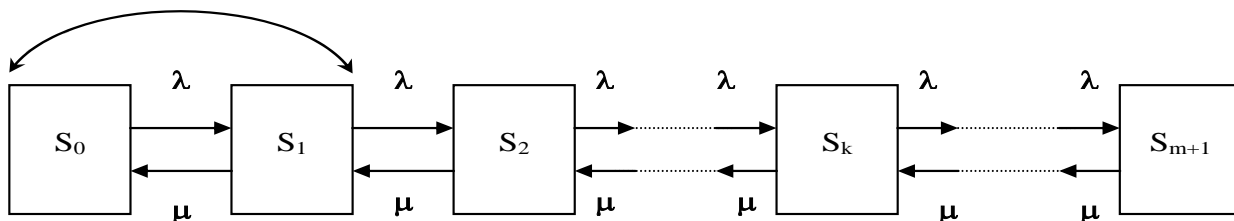


Рис. 1 Математична модель станів системи

Запропонований алгоритм дозволяє розраховувати стани систем, які описуються наступною системою рівнянь [1]:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_1 = (\lambda / \mu) p_0 \\ p_2 = (\lambda / \mu)^2 p_0 \\ \dots \\ p_k = (\lambda / \mu)^k p_0 \\ \dots \\ p_{m+1} = (\lambda / \mu)^{m+1} p_0 \\ p_0 = \frac{1}{1 + (\lambda / \mu) + (\lambda / \mu)^2 + \dots + (\lambda / \mu)^{m+1}} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} p_1 = \rho p_0 \\ p_2 = \rho^2 p_0 \\ \dots \\ \text{або } p_k = \rho^k p_0 \\ \dots \\ p_{m+1} = \rho^{m+1} p_0 \\ p_0 = [1 + \rho + \rho^2 + \dots + \rho^{m+1}]^{-1} \end{array} \quad (1)$$

При  $\rho/N > 1$  спостерігається – необмежений ріст середньої довжини черги, тому для визначення  $P_0$  повинна виконуватися обмежуюча умова  $\rho/N < 1$ , тоді [2]:

$$P_0 = \left[ \sum_{k=0}^N \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)} \right]^{-1}. \quad (2)$$

Ймовірність наявності черги  $P_{\text{черг}}$  у системі :

$$P_{\text{черг}} = \frac{\rho^{N+1}}{N!(N-\rho)} P_0. \quad (3)$$

Ймовірність зайнятості всіх вузлів системи  $P_{\text{зайн}}$  :

$$P_{\text{зайн}} = \frac{\rho^N}{(N-1)!(N-\rho)} P_0. \quad (4)$$

Середнє число вимог у системі  $M_{\text{вим}}$  :

$$M_{\text{вим}} = P_0 \left( \rho \sum_{k=0}^{N-1} \frac{\rho^k}{k!} + \frac{\rho^{N+1}(N+1-\rho)}{(N-1)!(N-\rho)^2} \right). \quad (5)$$

Середня довжина черги  $M_{\text{черг}}$  :

$$M_{\text{черг}} = \frac{\rho^{N+1} P_0}{(N-1)!(N-\rho)^2}. \quad (6)$$

Середнє число вільних каналів обслуговування  $M_{\text{вільн}}$  :

$$M_{\text{вільн}} = P_0 \sum_{k=1}^N k \frac{\rho^k}{(N-k)!}. \quad (7)$$

Середнє число зайнятих каналів обслуговування  $M_{\text{зайн}}$  :

$$M_{\text{зайн}} = N - M_{\text{вільн}}. \quad (8)$$

Коефіцієнт простою  $K_0$  й коефіцієнт завантаження  $K_{\text{зав}}$  каналів обслуговування системи:

$$K_0 = \frac{M_{\text{вільн}}}{N}; \quad K_{\text{зав}} = \frac{M_{\text{зайн}}}{N}. \quad (9)$$

Середній час очікування початку обслуговування  $T_{\text{оч}}$  для вимоги, що надійшла у систему:

$$T_{\text{оч}} = \frac{\rho^N}{\mu(N-1)!(N-\rho)^2} P_0. \quad (10)$$

Загальний час, що проводять у черзі всі вимоги, які надійшли в систему за одиницю часу  $T_{оч}$ :

$$T_{оч} = \frac{\rho^{N+1}}{(N-1)!(N-\rho)^2} P_0. \quad (11)$$

Середній час  $T_{вим}$ , що вимога проводить у системі обслуговування:

$$T_{вим} = T_{оч} + \mu^{-1}. \quad (12)$$

Сумарний час, що у середньому проводять у системі всі вимоги, які надійшли за одиницю часу  $T_{свим}$ :

$$T_{свим} = T_{оч} + \rho. \quad (13)$$

На основі математичної моделі розроблений алгоритм автоматизації розрахунку динамічних характеристик й параметрів комп'ютеризованих систем, працюючих у реальному часі (рис.2)..

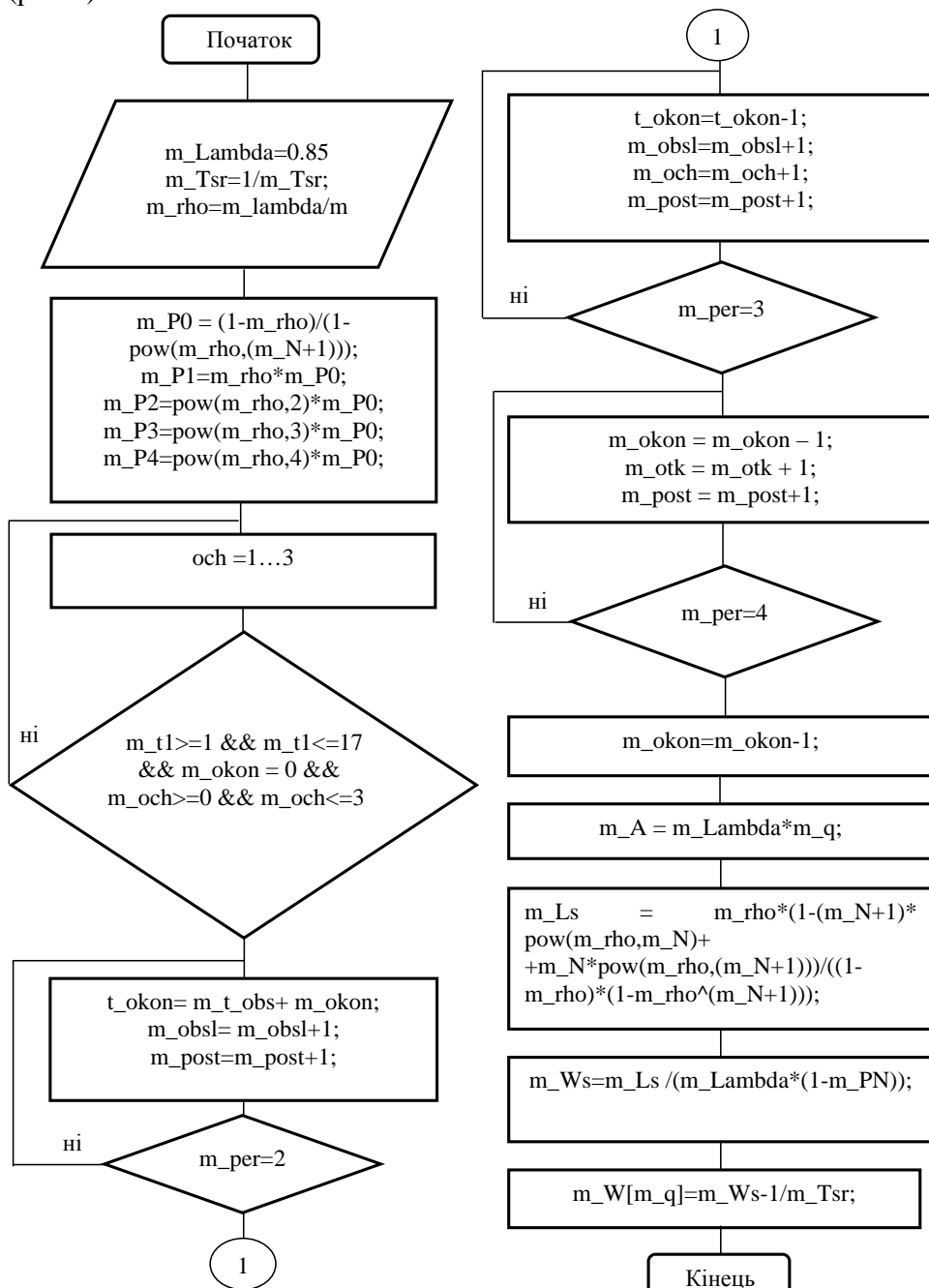


Рис. 2 Алгоритм розрахунку динамічних параметрів



**Система масового обслуговування з очікуванням**

Вхідні дані:

Кількість каналів ( $N$ ):

Інтенсивність вхідного потоку вимог ( $\lambda$ ):

Інтенсивність одного каналу ( $\mu$ ):

Вихідні дані:

Навантаження каналу ( $\rho$ ):	<input type="text" value="1,60"/>
Імовірність відсутності вимог ( $P_0$ ):	<input type="text" value="0,11"/>
Імовірність наявності черги ( $P_{\text{черг}}$ ):	<input type="text" value="0,57"/>
Імовірність зайнятості всіх вузлів ( $P_{\text{зайн}}$ ):	<input type="text" value="0,71"/>
Середнє число вимог в системі ( $M_{\text{сум}}$ ):	<input type="text" value="4,44"/>
Середня довжина черги ( $M_{\text{черг}}$ ):	<input type="text" value="2,84"/>
Середнє число вільних каналів ( $M_{\text{вільн}}$ ):	<input type="text" value="0,75"/>
Середнє число зайнятих каналів ( $M_{\text{зайн}}$ ):	<input type="text" value="1,25"/>
Коефіцієнт простою каналів ( $K_0$ ):	<input type="text" value="0,37"/>
Коефіцієнт завантаження каналів ( $K$ ):	<input type="text" value="0,63"/>

Рис. 3 Приклад діалогового вікна розрахунку параметрів

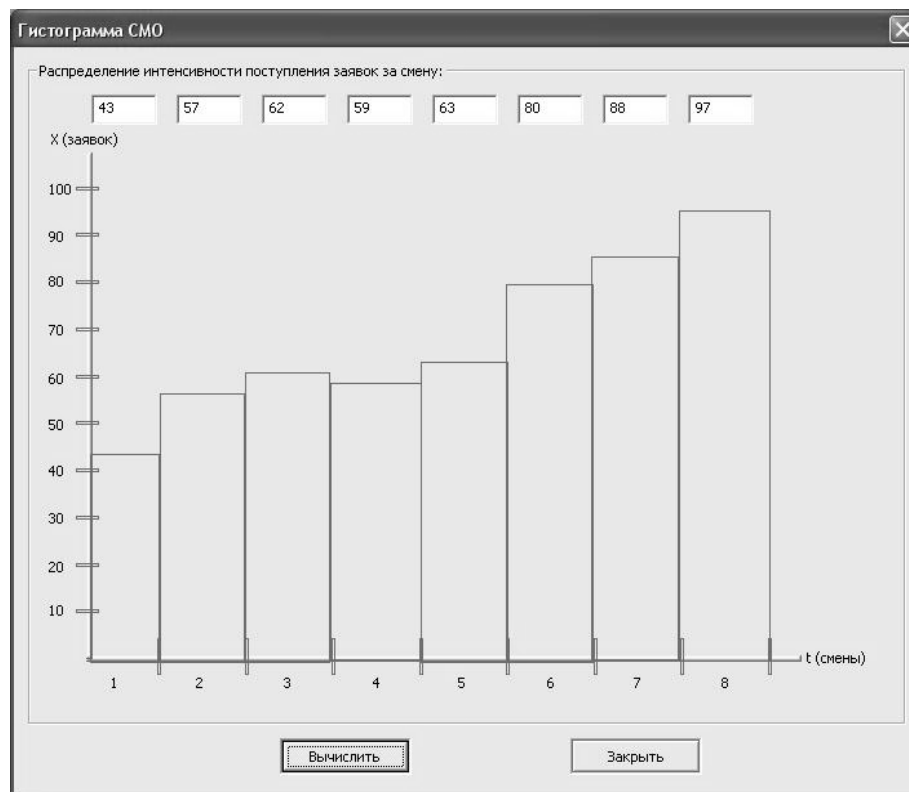


Рис. 4 Приклад результатів розрахунку параметрів

Для автоматизації розрахунку зазначених параметрів розроблено програмне забезпечення в середовищі Visual C++, яке дозволяє визначати динамічні характеристики комп'ютеризованих систем в діалоговому режимі (рис.3).

На базі отриманих результатів даний алгоритм дозволяє візуально корегувати вхідні та вихідні характеристики, отримуючи найбільш оптимальні рішення (рис.4).

**Висновки.** Розроблена математична модель, алгоритм та програмне забезпечення автоматизації розрахунку динамічних характеристик та параметрів комп'ютеризованих систем, працюючих у реальному часі, рекомендується для впровадження в навчальний процес, при вивченні дисциплін з моделювання та дослідження характеристик автоматизованих систем, а також фахівців в області проектування комп'ютеризованих систем керування в реальному часі.

The multi-purpose algorithm and software for mathematical modeling are developed, with the help of which the dynamic performances and parameters of real time computer systems.

1. Алехин М.Ю. и др. «Применение теории массового обслуживания для решения производственных задач», Л.: ЛКИ, 1989.
2. Бронштейн О.И., Духовный И.М. «Модели приоритетного обслуживания в информационно–вычислительных системах», М.: Наука, 1986.
3. Фомин Г.Ф. «Системы и модели массового обслуживания в коммерческой деятельности. Учебн. пособие», М.: Финансы и статистика, 2000.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. – М.: высшая школа, 1998.
5. Тамм Б.Г. и др. Анализ и моделирование производственных систем / Б.Г. Тамм, М.Э. Пуусепп, Р.Р. Таваст; Под общей редакцией Б.Г. Тамма. – М.: Финансы и статистика, 1997. – 291 с.
6. Столлінгс Сучасні комп'ютерні системи та мережі; Санкт-Петербург 2003р; 2 видання.

РАСЧЕТ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ  
ТРАНСФОРМАТОРОВ

Китаев А.В., Сушич Е.Ф.

Различают измерительные трансформаторы напряжения (ТН) и тока (ТТ). Оценка их работоспособности прямо связана со значением погрешностей, которые они имеют при измерении напряжений и токов. Отсюда повышенный интерес специалистов к этому вопросу и его решению. Однако все известные предложения по определению погрешностей ТН и ТТ относятся к категории замысловатых и приближенных [1-3].

Задача настоящей статьи – разработка более удачного методического подхода по решению той же задачи, основанного на положениях теории многополюсников. С этой целью обратимся к схемам замещения ТН и ТТ и будем считать, что параметры элементов, входящих в состав этих схем известны. Более того примем, что по отношению к ним, а также применительно к токам и напряжениям выполнена операция приведения или пересчета вторичной цепи ТН на число витков первичной обмотки  $w_1$ , а в случае ТТ такой пересчет сделан для первичной цепи на число витков вторичной обмотки  $w_2$ . Разумеется, что после пересчета соответствующие параметры и показатели получают согласно нормативным требованиям дополнительный верхний индекс «штрих». Полученные в итоге Т-образные схемы замещения (см. рис. 1 а,б) дают основание отнести ТН и ТТ к категории типичных четырехполюсников.

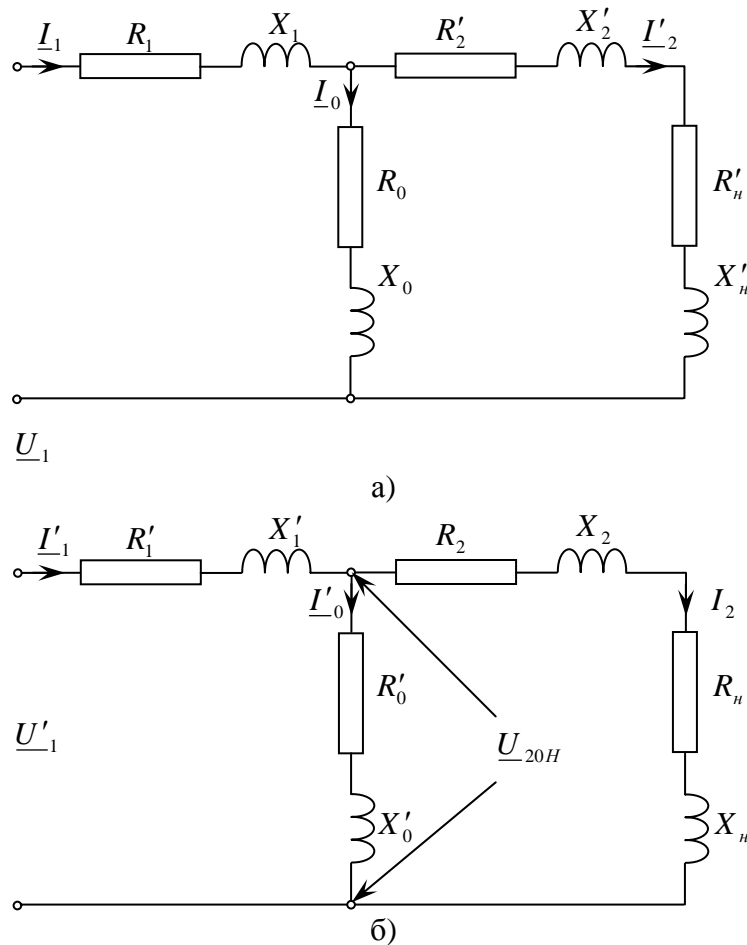


Рис. 1 Т-образные схемы замещения ТН и ТТ

Это означает, что для их описания пригодны основные уравнения четырехполюсника:

$$\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}'_2 + \underline{B}\underline{I}'_2, \quad (1)$$

$$\underline{I}'_1 = \underline{C}\underline{U}_2 + \underline{D}\underline{I}_2, \quad (2)$$

где  $\underline{U}_1, \underline{I}'_1$  – напряжение и ток со стороны входа;  
 $\underline{U}_2, \underline{I}_2$  – напряжение и ток со стороны выхода;  
 $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$  – коэффициенты четырехполюсника.

Подчеркнем, что далее уравнение (1) будет использовано для анализа погрешностей ТН, а (2) – для ТТ.

Поскольку параметры всех элементов схемы замещения заданы, то могут быть определены и коэффициенты  $\underline{A}, \underline{B}, \underline{C}, \underline{D}$ . Действительно,

$$\underline{A} = 1 + \frac{\underline{Z}'_1}{\underline{Z}_0}; \quad \underline{B} = \underline{Z}_1 + \underline{Z}'_2 + \frac{\underline{Z}_1 \underline{Z}'_2}{\underline{Z}_0}; \quad \underline{C} = \frac{1}{\underline{Z}_0}; \quad \underline{D} = 1 + \frac{\underline{Z}'_2}{\underline{Z}_0},$$

где  $\underline{Z}_1, \underline{Z}_0, \underline{Z}'_2$  – полные комплексные сопротивления первичной обмотки, ветви намагничивания и вторичной обмотки. Их запись возможна в алгебраической и показательной форме согласно известных операций с комплексными числами, когда вычисляются модули и аргументы указанных комплексных сопротивлений:

$$\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1 = z_1 e^{j\alpha_1}, \quad z_1 = \sqrt{R_1^2 + X_1^2}, \quad \alpha_1 = \arctg X_1/R_1;$$

$$\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0 = z_0 e^{j\alpha_0}, \quad z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_0^2}, \quad \alpha_0 = \arctg X_0/R_0;$$

$$\underline{Z}'_2 = R'_2 + jX'_2 = z'_2 e^{j\alpha_2}, \quad z'_2 = \sqrt{R'^2_2 + X'^2_2}, \quad \alpha_2 = \arctg X'_2/R'_2;$$

С учетом перечисленных оговорок рассмотрим аналитическое выражение погрешности по напряжению для ТН:

$$\Delta U \% = -\frac{U_1 - U'_2}{U_1} \cdot 100$$

Искомую разность модулей  $U_1$  и  $U'_2$  найдем, обращаясь к векторной диаграмме, приведенной на рис. 2а. Здесь изображены векторы  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}'_2$ ,  $\underline{I}'_2$ , а также вектор  $\underline{U}'_{20}$  приведенного выходного напряжения в режиме холостого хода с учетом следующих фазовых сдвигов:  $\varphi_a$  – между векторами  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}'_{20}$ ;  $\psi_2$  – между векторами  $\underline{U}'_{20}$  и  $\underline{I}'_2$ ;  $\varphi_2$  – между векторами  $\underline{U}'_2$  и  $\underline{I}'_2$ . Подчеркнем, что сдвиг фаз между  $\underline{U}_1$  и  $\underline{U}'_2$  определяет вторую погрешность ТН, которая называется угловой и обозначается через  $\delta$ . Очевидно, что  $\delta = \varphi_a + \psi_2 - \varphi_2$ . Далее путем поворота векторов  $\underline{U}'_{20}$  и  $\underline{U}'_2$  соответственно на углы  $\varphi_a$  и  $\delta$  совместим их с вектором  $\underline{U}_1$ . Тогда разность модулей  $U_1$  и  $U'_2$  будет представлять отрезок MN, состоящий из двух участков: МК и КН. Первый из них означает, что погрешность по напряжению имеет место даже в режиме холостого хода. Найдем ее величину

$$[\Delta U \%]_x = -\frac{U_1 - U'_{20}}{U_1} \cdot 100, \text{ обращаясь к уравнению (1), которое для режима х.х. запишется}$$

в виде:  $\underline{U}_1 = \underline{A}\underline{U}'_{20}$  или после перехода к модулям  $U'_{20} = U_1/A$ . Подстановка  $U'_{20}$  в формулу  $[\Delta U \%]_x$  даст

$$[\Delta U \%] = -\frac{A-1}{A} \cdot 100$$

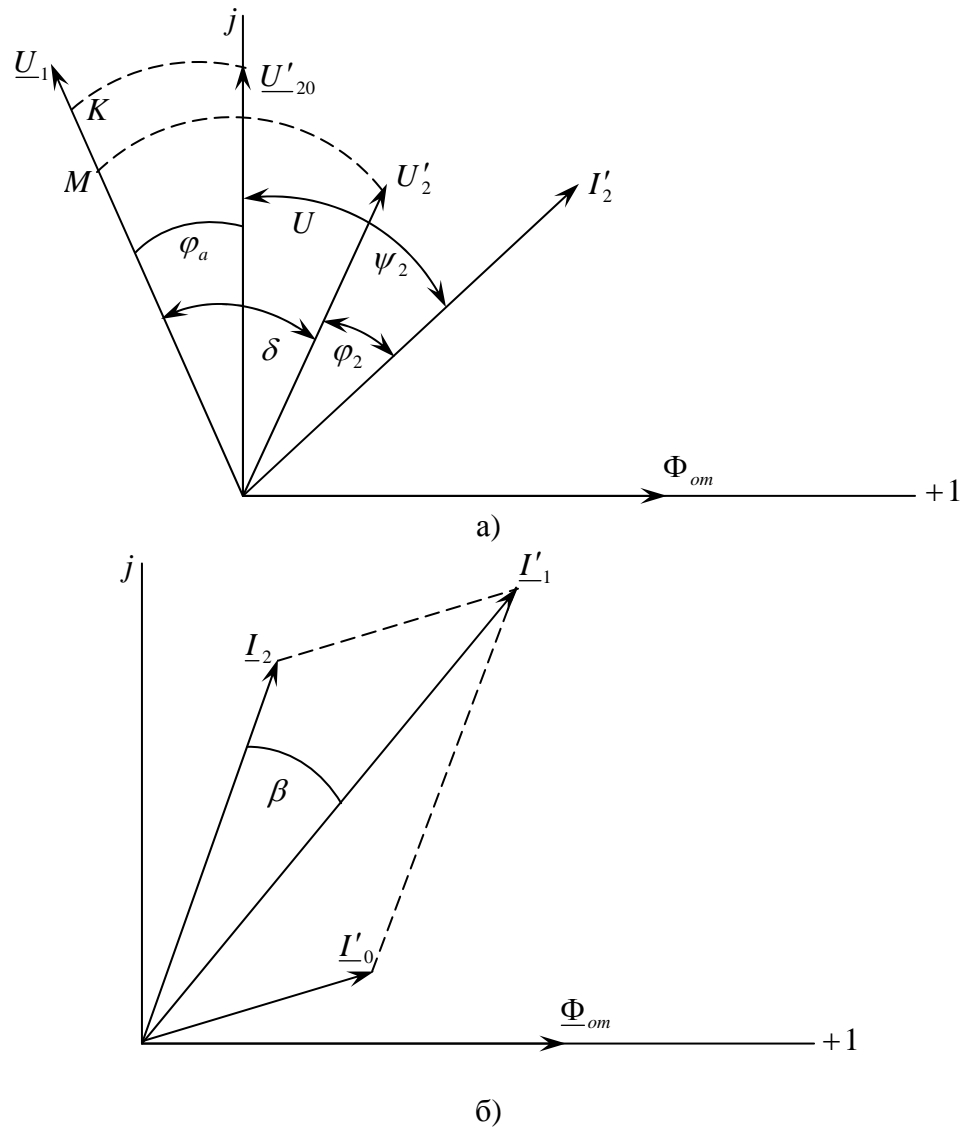


Рис. 2 Векторные диаграммы ТН и ТТ

Поскольку модуль  $A$  может быть выражен через параметры схемы замещения, т.е. в форме

$$A = \frac{z_{10}}{z_0}$$

где  $z_{10} = \sqrt{(R_1 + R_0)^2 + (X_1 + X_0)^2}$  – модуль полного комплексного сопротивления в режиме х.х., которое представляет собой сумму полных комплексных сопротивлений первичной обмотки  $\underline{Z}_1 = R_1 + jX_1$  и ветви намагничивания  $\underline{Z}_0 = R_0 + jX_0$ ;  $z_0 = \sqrt{R_0^2 + X_0^2}$  – модуль полного комплексного сопротивления  $\underline{Z}_0$ , то  $[\Delta U\%]_x$  переписывается в виде:

$$[\Delta U\%]_x = -\frac{z_{10} - z_0}{z_0} \cdot 100$$

В отношении угловой погрешности режима х.х., т.е. угла  $\varphi_a$ , вопрос практически решен при определении  $\underline{A}$  в комплексной форме, что дает расчетное соотношение вида:

$$\varphi_a = \arctg \frac{X_0 + X_1}{R_0 + R_1} - \arctg \frac{X_0}{R_0}.$$

При включении нагрузки погрешность ТН по напряжению возрастает на величину  $[\Delta U\%]_H = -\frac{U'_{20} - U'_2}{U_1} \cdot 100$ .

Но значение  $U'_{20}$  уже найдено, а  $U'_2$  найдем, обращаясь к уравнению (1), вначале как вектор:

$$\underline{U}'_2 = \frac{\underline{U}_1 \underline{Z}'_H}{\underline{Z}'_H \underline{A} + \underline{B}} = \frac{\underline{U}_1 \cdot \underline{Z}'_H}{\underline{A}(\underline{Z}'_H + \underline{Z}_{ex2})},$$

где  $\underline{Z}_{ex2} = \frac{\underline{B}}{\underline{A}}$  – полное комплексное входное сопротивление со стороны выходных режимов;

а затем и как модуль:

$$U'_2 = \frac{U_1 \cdot z'_H}{A \cdot z_\varepsilon}$$

где  $z'_H = \sqrt{R'^2_H + X'^2_H}$  – модуль полного комплексного сопротивления нагрузки  $\underline{Z}'_H = R'_H + jX'_H$ ;  $z_\varepsilon = \sqrt{(R'_2 + R_{ex2})^2 + (X'_H + X_{ex2})^2}$  – модуль полного комплексного эквивалентного сопротивления  $\underline{Z}'_\varepsilon = \underline{Z}'_H + \underline{Z}_{ex2}$ .

Подстановка  $U'_{20}$ ,  $U'_2$  и  $A$  в формулу погрешности по напряжению даст:

$$[\Delta U\%]_H = -\frac{(z_\varepsilon - z'_H) \cdot z_0}{z_{10} \cdot z_\varepsilon} \cdot 100.$$

Угловая погрешность в режиме нагрузки найдется как разность углов  $\psi_2$  и  $\varphi_2$ , для определения которых пригодны формулы:

$$\psi_2 = \arctg \frac{x_{ex2} + x'_H}{R_{ex2} + R'_H}; \quad \varphi_2 = \arctg \frac{x'_H}{R'_H}$$

Итоговое значение погрешности по напряжению будет представлять собой сумму рассмотренных составляющих, т.е.  $[\Delta U\%] = [\Delta U\%]_X + [\Delta U\%]_H$ . Аналогичная операция в отношении углов фазовых сдвигов дает результирующую угловую погрешность  $\delta = \varphi_a + \psi_2 - \varphi_2$ .

Методика определения погрешностей ТТ в принципе повторяет рассмотренную, но строится она на использовании основного уравнения (2), согласно которому

$$I_2 = \frac{I'_1}{\underline{CZ}_H + \underline{D}}$$

или после перехода к модулям

$$I_2 = \frac{I'_1 z'_0}{z_{об}}, \quad (3)$$

где  $z_{об} = \sqrt{(R_2 + R'_0 + R_H) + (X_2 + X'_0 + X_H)}$  – модуль полного общего сопротивления  $\underline{Z}_{об}$ , в состав которого входят: полное комплексное сопротивление вторичной обмотки  $\underline{Z}_2 = R_2 + jX_2$ , полное комплексное сопротивление ветви намагничивания  $\underline{Z}'_0 = R'_0 + jX'_0$  и полное комплексное сопротивление нагрузки  $\underline{Z}'_H = R'_H + jX'_H$ ,  $\underline{Z}_{об} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}'_0 + \underline{Z}_H$ .

Подстановка  $I_2$  в формулу токовой погрешности ТТ  $[\Delta I\%] = -\frac{I'_1 - I_2}{I'_1}$  даст следующее соотношение

$$[\Delta I\%] = -\frac{z_{o\delta} - z'_0}{z_{o\delta}} \cdot 100$$

Что же касается угловой погрешности или угла сдвига  $\beta$  между векторами токов  $\underline{I}'_1$  и  $\underline{I}_2$ , то ее найдем, обращаясь к векторной диаграмме (см. рис. 2б) и к теореме косинусов, согласно которой

$$I_0'^2 = I_1'^2 + I_2^2 - 2I_1'I_2 \cos \beta, \quad (4)$$

где  $I'_0$  – модуль тока, протекающего по ветви намагничивания.

Расчет тока  $I'_0$  можно выполнить по формулам:

$$I'_0 = \frac{U_{20H}}{z'_0} = \frac{I_2 z_{\varepsilon 2}}{z'_0} = \frac{I_1 z_{\varepsilon 2}}{z_{o\delta}} \quad (5)$$

где  $U_{20H}$  – напряжение на зажимах ветви намагничивания при произвольной нагрузке;

$z_{\varepsilon 2} = \sqrt{(R_2 + R_H)^2 + (X_2 + X_H)^2}$  – модуль полного комплексного эквивалентного сопротивления  $\underline{Z}_{\varepsilon 2} = \underline{Z}_2 + \underline{Z}_H$ .

Подстановка (3) и (5) в формулу (4) даст возможность найти  $\cos \beta$  в виде:

$$\cos \beta = 0,5 \left( \frac{z_{o\delta}}{z'_0} + \frac{z'_0}{z_{o\delta}} - \frac{z_{\varepsilon 2}^2}{z'_0 \cdot z_{o\delta}} \right)$$

$$\text{Отсюда } \beta = \arccos 0,5 \left( \frac{z_{o\delta}}{z'_0} + \frac{z'_0}{z_{o\delta}} - \frac{z_{\varepsilon 2}^2}{z'_0 \cdot z_{o\delta}} \right).$$

Таким образом, использование предложенной методики анализа погрешностей ТН и ТТ определяет логичную последовательность изложения материала и ведет к простым, компактным и с физической точки зрения понятным соотношениям, которые к тому же корректны по своей точности.

In work the new technique of definition of errors of measuring transformers of a current and the voltage, based on use of the basic equations of the two-port network is offered. Such approach excludes intricacy in a statement of a material, gives to it severity, logicity and laconicalness. Settlement parities turning out at it are simple, compact, convenient in a settlement practice and absolutely correct.

1. Бачурин Н.И. Трансформаторы тока. – М.: «Энергия», 1964.
2. Дымков А.М. Трансформаторы напряжения. – М.: ГЭИ, 1963.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Атомиздат, 1988.

## ОБ УПРОЩЕННОМ ЧИСЛЕННОМ КОНСТРУИРОВАНИИ ОБРАТНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА

Клименко А.К.

### 1. Введение

В решении задач управления и контроля часто возникает проблема создания обратной модели (ОМ) реального динамического объекта (ДО). Примерами систем, нуждающихся в разработке обратной модели, могут служить инвариантные системы управления, системы регулирования по самоустанавливающейся программе, адаптивные системы и системы идентификации. Идеальная ОМ реального объекта, как известно [1], физически неосуществима. На аналоговых средствах техники удавалось создавать лишь приближенные ОМ для ДО, описываемых уравнениями не выше второго порядка.

Известно [2] применение динамических моделей в системах управления, но при этом возникает потребность упрощения технических решений.

Применение средств дискретной вычислительной техники позволило найти технические решения ОМ для ДО, описываемых уравнениями произвольного порядка. В этих ОМ максимально сохраняются свойства идеальных, но за это необходимо платить добавлением к ним временного запаздывания. Первым из таких решений явилось корректирующее устройство [3]. Теоретическое обоснование его работоспособности и свойств изложены в работе [4]. В работе [5] рассматриваются технические решения по улучшению показателей качества создаваемых ОМ.

В упомянутых работах рассматриваются рассыпью вопросы осуществимости, устойчивости и конструирования ОМ для ДО с различными ограничениями. Решения отличаются в зависимости от свойств ДО. Нет общего решения. В частности, возникают проблемы при осуществлении ОМ для ДО, которые имеют чистое временное запаздывание и/или описываются уравнениями высокого порядка.

При разработке ОМ на средствах дискретной вычислительной техники корректировалось математическое описание ДО в сторону опережения по времени с обеспечением физической осуществимости скорректированного ДО (СДО). Под осуществимостью дальше будем понимать следующее: сигнал на выходе СДО может появляться не раньше поступления входного. В опубликованных работах методика корректирования ДО в сторону опережения не рассматривалась. Поэтому возникают трудности при разработке ОМ с желаемыми показателями качества. Отсутствует методика конструирования ОМ для различных друг от друга ДО. Целью данной работы является восполнение указанного пробела. Рассматриваются вопросы:

- определение требований к математическому описанию СДО в обеспечение осуществимости для него ОМ;
- формирование математического описания СДО, исходя из описания исходного ДО;
- осуществление ОМ для ДО с использованием для этой цели СДО;
- обобщение методики конструирования ОМ.

### 2. Основание для постановки задачи

Причиной постановки задачи в данной работе явились следующие обстоятельства.

Считается общеизвестным, что идеальная ОМ реального ДО физически неосуществима. Но нет правил без исключений. Одно из таких исключений помогает решению задачи конструирования ОМ. Это исключение состоит в следующем. Существуют реальные ДО, для которых идеальная ОМ физически осуществима. Примерами могут служить безынерционное динамическое звено (усилитель) или некоторые из ДО, которые обладают инерционностью. Знание их свойств позволит определить требования к корректировке ДО для обеспечения для него осуществимости идеальной ОМ.



Рассмотрим один из таких примеров.

Как известно [6], в системах автоматического управления используются корректирующие звенья, одним из которых является интегрирующее. Его передаточная функция:

$$W(s) = \frac{T_1 s + 1}{T_2 s + 1}, T_2 > T_1, \quad (1)$$

где  $T_1, T_2$  – постоянные времени,  $s$  – комплексная переменная.

Идеальная ОМ для этого объекта имеет следующую передаточную функцию

$$W^*(s) = \frac{1}{W(s)} = \frac{T_2 s + 1}{T_1 s + 1}, T_2 > T_1. \quad (2)$$

ОМ, описываемая передаточной функцией (2), также может быть реализована на практике как дифференцирующее звено, т.е. идеальная ОМ для реального ДО (1) физически осуществима.

Исходя из свойств интегрирующего звена, описанного передаточной функцией (1), можно сформулировать требования к ДО для обеспечения осуществимости для него идеальной ОМ. В качестве математического описания ДО будем использовать переходную характеристику (ПХ), представляющую, как известно [6], его реакцию на единичное ступенчатое воздействие. В рассматриваемом примере идеальная ОМ физически осуществима, если ПХ ДО в отрицательной области времени тождественно равна нулю, а в нулевой момент времени ее значение отлично от нуля и конечно. Установившееся значение кривой переходного процесса также конечно. Если кривую переходного процесса обозначить символом  $h(t)$ , где  $t$  – непрерывное время, то приведенные выше требования можно представить в таком виде:

$$h(t)|_{t < 0} \equiv 0, h(t)|_{t=0} \neq 0, h(t)|_{t \rightarrow \infty} = h_{ycm}, 0 < |h_{ycm}| < \infty, \quad (3)$$

где  $h_{ycm}$  – установившееся значение ПХ.

Эти требования могут быть представлены и в дискретном времени, что будет сделано ниже.

Исходя из изложенного, можно предложить следующий способ решения задачи создания ОМ для заданного ДО. Математическое описание ДО корректируется таким образом, чтобы получить СДО, удовлетворяющий требованиям (3). Для него создается идеальная ОМ, которая явится приближенной ОМ для исходного ДО. Показатели качества приближенной ОМ уточняются в процессе конструирования.

### 3. Исходные данные и постановка задачи

Предполагается, что ДО, для которого требуется создать ОМ, линейный, стационарный, устойчив. В качестве исходного математического описания ДО выступает его ПХ, именуемая также и кривой переходного процесса. ПХ может быть получена как различными аналитическими способами, так и методами электронного моделирования или технического эксперимента.

В качестве примера ДО в данной работе будет рассматриваться типовая непрерывная следящая система. За математическим описанием ее принимается ПХ  $h(t)$  в непрерывном времени. На рис.1 изображен типовой график такой ПХ.

В качестве параметров ПХ будем использовать те, которые приняты в литературе по автоматическому управлению (см., например, [6]). К ним относятся:

$h_{ycm}$  – установившееся значение переходного процесса,

$\tau_0$  – чистое временное запаздывание ДО,

$\Delta$  – малая величина, принимаемая за допустимую ошибку,

$T_1$  – время переходного процесса  $\left\{ \left| h(t) - h_{ycm} \right| \Big|_{t > T_1} < \Delta \right\}$ ,

$T_3$  – временное запаздывание,

$h_{max}$  – максимальное значение переходного процесса.

Параметры  $T_3$  и  $h_{max}$  используются при оценке показателей качества создаваемой ОМ, а остальные – при конструировании ее.

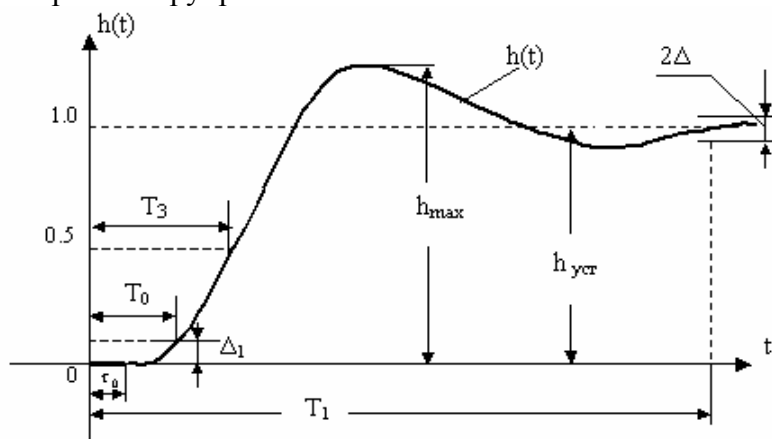


Рис.1 Кривая переходного процесса ДО

Для решения задачи конструирования ОМ введем также параметр  $T_0$  – начальное временное запаздывание ДО. Оно превышает чистое временное запаздывание ДО ( $T_0 > \tau_0$ ) и удовлетворяет требованиям:

$$|h(t)|_{t=T_0} = \Delta_1 > 0, \quad |h(t)|_{t < T_0} < \Delta_1, \quad (4)$$

где  $\Delta_1$  – конечная постоянная величина.

В качестве исходных данных при постановке задачи приведём и краткие сведения о техническом решении ОМ, описанном в [4]. ОМ является дискретным устройством, конструктивными параметрами которого выступают дискретность времени  $T$  и конструктивный временной сдвиг  $\tau$ . Для осуществления ОМ составляется математическое описание СДО, который сдвинут относительно исходного ДО в сторону опережения и физически осуществим. СДО описывается импульсной переходной функцией (ИПФ) в дискретном времени. Числовой массив ИПФ может быть получен из кривой переходного процесса ДО  $h(t)$ :

$$k(n + \tau) = h(t)|_{t=(n+\tau)T} - h(t)|_{t=(n-1+\tau)T}, \quad n=0,1,2,\dots,N, \quad (5)$$

где  $t$  – непрерывное время,

$T$  – дискретность (шаг квантования) времени,

$n$  – дискретное время ( $n = \bar{t} / T$ ,  $\bar{t}$  – моменты непрерывного времени, кратные  $T$ ),

$N$  – время затухания переходного процесса,

$\tau$  – временной сдвиг в сторону опережения.

Для обеспечения физической осуществимости СДО и работоспособности создаваемой ОМ ИПФ (5) должна удовлетворять требованиям:

$$k(n + \tau)|_{n < 0} = 0, \quad (6)$$

$$k(\tau) = k(n + \tau)|_{n=0} \neq 0, \quad (7)$$

$$k(n + \tau)|_{n > N} = 0, \quad (8)$$

$$\sum_{n=0}^N k(n + \tau) = h_{ycr}. \quad (9)$$

Эти требования совпадают с требованиями (3).

В ОМ [4] реализуется математическая зависимость:

$$c(n) = \left[ x(n) - \sum_{m=1}^N c(n-m)k(m+\tau) \right] / k(\tau), \quad (10)$$

$$0 < \tau \leq 1, \quad (11)$$

где  $x(n), c(n)$  – соответственно входной и выходной сигналы ОМ.

ОМ, описываемая формулой (10), обладает недостатками в области осуществимости, устойчивости и достижимых показателей качества. Эти недостатки объясняются невозможностью осуществить временное опережение на величину более одного такта дискретного времени из-за несовместимости в этом случае условий (6) и (11).

Для устранения указанных недостатков в работе [5] рассматривается техническое решение ОМ с улучшенными показателями качества. При её осуществлении обеспечивается возможность подавления колебательности и сохранения устойчивости в случаях, когда ДО описывается уравнением высокого порядка и/или имеет существенное чистое временное запаздывание.

Математическое описание указанной ОМ имеет вид:

$$c(n) = \left[ Bx(n) - \sum_{m=1}^N c(n-m)k(m+\tau) \right] / k(\tau), \quad (12)$$

где  $\tau$  – конструктивный временной сдвиг, не ограничиваемый выражением (11), но обеспечивающий выполнение условия (7);

$B$  – статический коэффициент, обеспечивающий правильность формулы (12) в случае, когда  $\tau > 1$ .

Вывод этой формулы в работе [5] не приведен и отсутствует аналитическое выражение для коэффициента  $B$ . Для доказательства справедливости формулы (12) и нахождения аналитического выражения для коэффициента  $B$  нужно создать СДО, в ИПФ которого выполняются условия (7) и (9) при  $\tau > 1$ .

Первой из задач в данной работе является формирование ИПФ СДО, который по своим свойствам, за исключением упреждающего временного сдвига на  $\tau > 1$ , максимально близок к исходному ДО и обеспечивает возможность конструирования ОМ. Указанная ОМ для СДО будет идеальной, а для исходного ДО – приближенной.

ИПФ СДО обозначим символом  $\tilde{k}(n)$ . Требования к ИПФ:

$$\tilde{k}(n)|_{n < 0} = 0, \quad (13)$$

$$\tilde{k}(0) = \tilde{k}(n)|_{n=0} \neq 0, \quad (14)$$

$$\tilde{k}(n)|_{n > N} = 0, \quad (15)$$

$$\sum_{n=0}^N \tilde{k}(n) = h_{ycm}. \quad (16)$$

Численные значения  $\tilde{k}(n)$  нужно определить через ИПФ ДО (5) при уже выбранных значениях параметров  $T$  и  $\tau$ .

Второй задачей данной работы является нахождение математического описания ОМ, обеспечивающей работоспособность при произвольном увеличении конструктивного временного сдвига  $\tau$ .

Третья задача – разработка обобщенной методики конструирования ОМ с обсуждением вопросов обеспечения устойчивости и получения желаемых показателей качества.

#### 4. Корректировка динамического объекта в сторону опережения

Исходный ДО описывается ПХ  $h(t)$ , которая имеет начальное временное запаздывание  $T_0$ , время переходного процесса  $T_1$  и обладает свойствами:

$$h(t)|_{t \leq 0} = 0, \quad h(t)|_{t=T_0} \neq 0, \quad h(t)|_{t > T_1} = h_{ycm}.$$

При переходе на дискретное время с дискретностью  $T$  эти свойства получат вид:

$$h(n)|_{n \leq 0} = 0, \quad h(n)|_{n=\tau} \neq 0, \quad h(n)|_{n > N} = h_{ycm},$$

где  $\tau = T_0 / T$ ,  $N = T_1 / T$ .

Рассмотрим задачу аналитического определения численных значений ИПФ СДО

через параметры исходного ДО в соответствии с требованиями (13)—(16).

Решение задачи иллюстрируется приведенными на рис.2 графиками ИПФ ДО в исходном, промежуточном и скорректированном состояниях. ИПФ являются функциями дискретного времени, а кривые изображают огибающие их значений. Символами обозначены:  $k(n)$  — ИПФ исходного ДО (пунктир),  $\tilde{k}(n)$  — ИПФ СДО (жирная линия),  $k(n + \tau)$  — ИПФ промежуточного (физически неосуществимого) ДО.

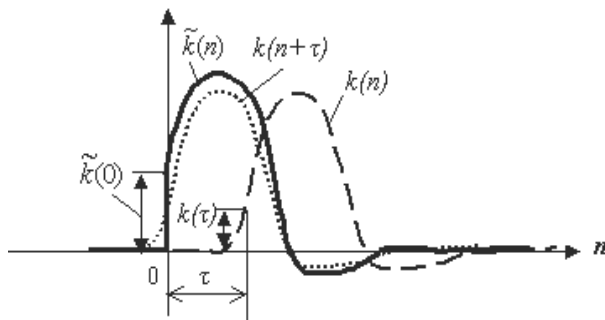


Рис. 2 Графики ИПФ в исходном, промежуточном и скорректированном состояниях

### Последовательность действий при решении задачи.

Формируем массив ИПФ исходного ДО, согласно (5) с уже выбранной дискретностью времени  $T$  и равным нулю значением временного сдвига  $\tau$ :  $k(n) = k(n + \tau)|_{\tau=0}$ . Огибающая дискретных значений ИПФ  $k(n)$  изображена на графике пунктиром.

Выбираем конструктивный временной сдвиг  $\tau$ , удовлетворяющий условию (7), и формируем массив ИПФ сдвинутого на это опережение промежуточного ДО  $k(n + \tau)$ . Кривая этого массива изображена точками. ДО с ИПФ  $k(n + \tau)$  физически неосуществим по той причине, что начальная часть кривой оказывается в левой полуплоскости, соответствующей отрицательному времени.

Отсекаем часть ИПФ  $k(n + \tau)$  в левой полуплоскости и корректируем ее оставшиеся числовые значения в правой полуплоскости для сохранения установившегося значения ПХ  $h_{уст}$ . Полученный после правки числовой массив и составит ИПФ СДО. Этот массив мы ищем и уже обозначили символом  $\tilde{k}(n)$ . Он должен удовлетворять требованиям (13)—(16). На рис.2 кривая этого массива изображена жирной линией.

А теперь перейдем к определению значений ИПФ СДО, если известны значения ИПФ ДО при заданных конструктивных параметрах  $T$  и  $\tau$ .

Полагаем, что выбранный нами параметр  $\tau$  удовлетворяет условию (7) и, в общем случае, существенно превосходит дискретность времени  $T$ . Он может быть записан в виде:  $\tau = j + \Delta\tau$ , (17)

где  $j$  — целое положительное число ( $j \geq 1$ ), а  $\Delta\tau$  — дробная часть ( $0 \leq \Delta\tau < 1$ ).

Если выполняются условия (7)—(9) и не выполняется условие (6), для установившегося значения ПХ промежуточного ДО справедливы соотношения:

$$\sum_{m=-j}^N k(m + \tau) = \sum_{m=-j}^{-1} k(m + \tau) + \sum_{m=0}^N k(m + \tau) = h_{уст}, \quad (18)$$

где  $\sum_{m=-j}^{-1} k(m + \tau) \neq 0$ ,  $\sum_{m=0}^N k(m + \tau) \neq h_{уст}$ . (19)

Сумма  $\sum_{m=-j}^{-1} k(m + \tau)$  в выражении (18) равна последнему значению ПХ вспомога-

тельного ДО в отрицательной области времени. Обозначим её символом:

$$h_{-1} = \sum_{m=-j}^{-1} k(m + \tau) = h(t) \Big|_{t=T_0 - T} .$$

Для компактности дальнейших выкладок введём также обозначение

$$D = (h_{ycm} - h_{-1}) / h_{ycm} \tag{20}$$

и преобразуем выражение (18) к виду:

$$\sum_{m=0}^N \frac{k(m + \tau)}{D} = h_{ycm} . \tag{21}$$

Заменяя в (21) переменную суммирования  $m$  на символ дискретного времени  $n$ , мы получаем искомую ИПФ СДО :

$$\tilde{k}(n) = \frac{k(n + \tau)}{D}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N . \tag{22}$$

Из (22) очевидно, что в ИПФ СДО выполняются все требования (13)—(16). Кроме того, СДО близок к ДО. Численные значения ИПФ СДО повторяют численные значения ИПФ ДО с упреждающим временным сдвигом  $\tau$ , а символ  $D$  представляет собой лишь постоянный поправочный коэффициент для выполнения требования (16).

Таким образом, мы получили СДО, для которого можно конструировать идеальную ОМ.

### 5. О математическом описании ОМ

Первой задачей конструирования ОМ является разработка ее математического описания.

Для разработки создается инструментальная схема по рис.3. На схеме изображены последовательно соединенные ОМ и СДО. Выходной сигнал ОМ  $c(n)$  является входным сигналом СДО. Если ОМ для СДО идеальна, то выходной сигнал последнего в дискретные моменты времени повторяет входной сигнал ОМ :

$$y(n) = x(n) . \tag{23}$$

Требуется найти математическую связь между выходным и входным сигналами ОМ при выполнении условия (23).



Рис. 3 Инструментальная схема для конструирования ОМ

Для определения выходного сигнала СДО воспользуемся известной [8] формулой свертки:

$$y(n) = \sum_{m=0}^N c(n - m) \tilde{k}(m) , \tag{24}$$

где  $\tilde{k}(m)$  – ИПФ СДО,  $N$  – время затухания  $\tilde{k}(m)$ .

Выделив в (24) первый член из-под знака суммы и учитывая условие (23), получим:

$$x(n) = c(n) \tilde{k}(0) - \sum_{m=1}^N c(n - m) \tilde{k}(m) ,$$

где  $\tilde{k}(0) = \tilde{k}(m) \Big|_{m=0}$ .

Решая полученное уравнение, находим математическое описание создаваемой ОМ в функции параметров СДО:

$$c(n) = \left\{ x(n) - \sum_{m=1}^N c(n-m) \tilde{k}(m) \right\} / \tilde{k}(0). \quad (25)$$

Математическое описание (25) уже можно использовать при конструировании ОМ, но для этого требуются параметры разработанного СДО. Чтобы избежать излишних затрат, желательно перевести выражение (25) на параметры исходного ДО. Для этого подставляем в (25) соотношение (22) и получаем:

$$c(n) = \left\{ Dx(n) - \sum_{m=1}^N c(n-m) k(m+\tau) \right\} / k(\tau) \quad (26)$$

Формула (26) аналогична уже известной формуле (12), но отличается от последней тем, что неизвестный коэффициент  $B$  заменен коэффициентом  $D$ , который стал известным и определен выражением (20)

Раскрывая в (26) символ  $D$ , получим окончательное математическое описание создаваемой ОМ в функции параметров исходного ДО:

$$c(n) = \left\{ \frac{h_{уст} - h_{-1}}{h_{уст}} x(n) - \sum_{m=1}^N c(n-m) k(m+\tau) \right\} / k(\tau) \quad (27)$$

Формула (27) является обобщающей и может быть использована при создании ОМ для широкого круга ДО, в том числе для обладающих чистым временным запаздыванием или описываемых уравнением сколь угодно высокого порядка. Используемый в формуле конструктивный временной сдвиг  $\tau$  теперь может изменяться в широких пределах. Если  $\tau < 1$ , то параметр  $h_{-1}$  обращается в нуль и формула (27) упрощается до уже известной формулы (10).

Скорректированный динамический объект СДО был нужен при обосновании справедливости формулы (27). При последующем использовании этой формулы потребность в СДО уже отпадает.

ОМ, описываемая формулой (27), может рассматриваться как замкнутая дискретная система автоматического регулирования. При ее разработке требуется решение задач обеспечения устойчивости и получения желаемых показателей качества.

## 6. Методика конструирования ОМ.

**6.1. Подготовка исходных данных.** В качестве исходных данных при рассматриваемой методике конструирования ОМ выступает математическое описание ДО в виде ПХ  $h(t)$ , пример которой показан на рис.1. По ПХ определяются начальное временное запаздывание  $T_0$ , время переходного процесса  $T_l$  и установившееся значение  $h_{уст}$ .

Конструктивными параметрами ОМ являются дискретность времени  $T$  и конструктивный временной сдвиг  $\tau$ . Дискретность времени может выбираться в широких пределах. Она должна быть достаточно малой для устранения ошибок из-за квантования информации по времени, но дальнейшее ее уменьшение увеличивает количество вычислительных операций в ОМ и усложняет ее конструкцию. Во всяком случае дискретность времени должна быть меньше начального временного запаздывания ПХ ДО ( $T < T_0$ ).

После выбора величины  $T$  время переходного процесса ПХ ДО переводится в дискретное время:  $N = T_l/T$  и вычисляется величина  $h_{-1} = h(t) \Big|_{t=T_0-T}$ . Конструктивный временной сдвиг ОМ  $\tau$  меняется в процессе работы, а в качестве первого приближения можно принять  $\tau = T_0/T$ .

По формуле (5) формируется числовой массив ИПФ ДО  $k(n+\tau)$ ,  $n \in [0, N]$ . (28)

Полученные исходные данные достаточны для конструирования ОМ по формуле (27), а также для исследования ее на устойчивость и получения желаемых показателей качества.

**6.2. Обеспечение устойчивости.** Проблеме обеспечения устойчивости ОМ, описы-

ваемых формулами (10), (12) и (27), посвящена работа (7). В ней показано, что устойчивость ОМ обеспечивается величинами и соотношением между ними двух параметров – дискретности  $T$  и конструктивного временного сдвига  $\tau$ . Для любого произвольно выбранного значения  $T$  найдется множество значений  $\tau$ , при которых обеспечивается устойчивость ОМ, если ИПФ ДО известна. Условие устойчивости:

$$S_k(T, \tau) = \sum_{i=0}^N (-1)^i k(i + \tau) > 0,$$

где символом  $S_k(T, \tau)$  обозначен знакопеременный числовой ряд ИПФ ДО.

Граница устойчивости на плоскости параметров  $T$  и  $\tau$  описывается уравнением:

$$S_k(T, \tau) = 0.$$

**6.3. Обеспечение показателей качества.** Показатели качества ОМ при ее конструировании предложены в работе [5]. Ими являются параметры кривой переходного процесса комплекса ОМ-ДО и включают в себя временное запаздывание, перерегулирование, установившееся значение и время переходного процесса. Если бы ОМ была идеальна, то ПХ комплекса представляла бы собой единичную ступенчатую функцию. Для получения желаемого показателя качества при уже выбранной дискретности  $T$  требуется нахождение оптимального значения конструктивного параметра  $\tau$  из зоны обеспечения устойчивости.

На основании уже сформированного числового массива ИПФ ДО (28) реализуется ОМ по формуле (27) и создается инструментальная схема из последовательно соединенных ОМ и ДО (комплекс ОМ-ДО). В комплексе используется сам ДО или его имитатор.

Моделируются кривые переходных процессов при различных значениях параметра  $\tau$ . Определяется оптимальное значение  $\tau$  для получения желаемых показателей качества создаваемой ОМ.

**6.4. Экспериментальная часть.** Все изложенные в данной статье материалы проверены экспериментально путем компьютерного моделирования, в том числе с использованием системы Mathcad.

На рис.4 показаны примеры ПХ комплекса ОМ-ДО при одном значении дискретности времени  $T$  и различных значениях конструктивного временного сдвига  $\tau$ .

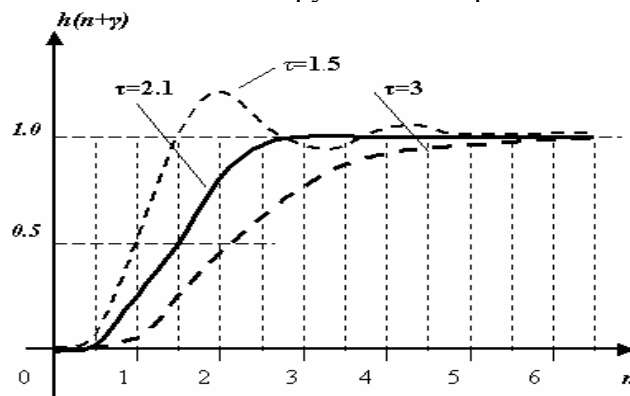


Рис.4 Примеры ПХ комплекса ОМ-ДО при различных  $\tau$

При большом  $\tau$  в замкнутом контуре ОМ имеют место малый коэффициент усиления и опережающий сдвиг по фазе. Это приводит к отсутствию колебательности в самой ОМ и в ПХ комплекса ОМ-ДО, что увеличивает время переходного процесса и, следовательно, понижает быстродействие ОМ.

При малом  $\tau$  уменьшается временное запаздывание комплекса, что полезно, но появляется колебательность, снова увеличивающая время переходного процесса и понижающая быстродействие.

Имеется оптимальное значение конструктивного временного сдвига  $\tau$  (на рис.4 оптимальным является  $\tau=2.1$ ), при котором время переходного процесса минимально, а перерегулирование отсутствует или пренебрежимо мало.

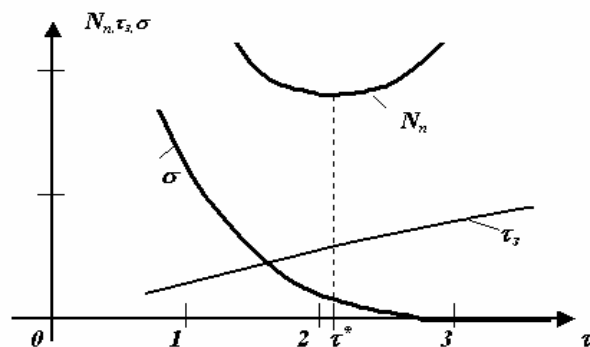


Рис. 5 Зависимости показателей качества ОМ от конструктивного параметра  $\tau$

На рис.5 графически показаны зависимости показателей качества ОМ-ДО от конструктивного временного сдвига  $\tau$  при одной дискретности времени. Символами на рисунке обозначены:  $N_n$  – время переходного процесса,  $\tau_3$  – временное запаздывание,  $\sigma$  – перерегулирование,  $\tau^*$  – параметр  $\tau$ , обеспечивающий максимальное быстродействие ОМ.

При уменьшении дискретности времени  $T$  показатели качества ОМ улучшаются, но за это нужно платить увеличением выполняемых в единицу времени вычислительных операций.

#### Заключение

1. Предложена обобщенная методика численного конструирования ОМ с получением желаемых показателей качества для широкого круга линейных ДО.
2. Дискретность времени ОМ можно произвольно уменьшать, что влечет за собой возможность улучшения всех показателей качества ОМ.
3. Предложенное техническое решение ОМ реального ДО может служить как инструментом для математического решения обратных задач динамики, так и работающим в реальном времени корректирующим устройством в системах контроля и управления.

Questions of development of return models of linear dynamic objects which are one-coherent and described by any order equations and/or have pure time delay are considered. Problems are solved with using of discrete computer tools with use of computer algebra.

1. Зайцев В.Г., Костюк В.И., Чинаев П.И. Основы автоматического управления и регулирования. – Киев: «Техніка», 1975. – С. 235-239.
2. Костенко Ю.Т., Любчик Л.М. Системы управления с динамическими моделями. – Харьков: Основа, 1996. – 212 с.
3. Клименко А.К., Клименко В.Г. Корректирующее устройство. — Авт. свид. СССР 1406563, Бюлл. изобр., 24. – 1988.
4. Клименко А.К. Обратная модель для решения задач управления и контроля качества / Методы менеджмента качества // Надежность и контроль качества. – 1999. – №8. – С. 32-39.
5. Клименко А.К. Обратная модель с улучшенными показателями качества // Надежность и качество 2003: Труды международного симпозиума / Под ред. Н.К. Юркова. – Пенза: Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2003. – С.237-239.
6. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. Изд. третье, исправленное. – М.: Наука, 1975. – С. 267-269, 426.
7. Клименко А.К. О влиянии конструктивных параметров обратной модели на ее устойчивость // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы (ААЭКС). – 2005, №2. – С. 52-57.
8. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – С.269.



ТЕМПЕРАТУРНЫЙ ТЕСТ ДЛЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ  
БАЗИСОВ БИКУБИЧЕСКОЙ ИНТЕРПОЛЯЦИИ

Козуб Н.А., Манойленко Е.С., Хомченко А.Н.

**Постановка проблемы.** Проблема модификации базисов конечно-элементных аппроксимаций возникла практически одновременно с появлением метода конечных элементов (МКЭ). Однако существенный прогресс в решении задач оптимизации вычислительных качеств КЭ за счет модификации базисов был достигнут лишь в 60-70 -е годы прошлого столетия совместными усилиями инженеров и математиков. Накопленный опыт обнаружил недостатки традиционного матричного подхода к моделированию КЭ, что стимулировало развитие геометрического конструирования базисов. В результате прямого геометрического конструирования были созданы альтернативные модели КЭ, позволяющие корректно формулировать и успешно решать актуальную задачу оптимизации базисов на основе взвешенного усреднения альтернатив.

**Анализ предшествующих публикаций, постановка задачи.** Первые содержательные результаты, связанные с моделированием и применением четырехугольных КЭ, были получены в 1966 г. (Ergatoudis J.). Настойчивые попытки исключить внутренние узлы лагранжевой интерполяции привели к появлению [1,2] очень полезных, но плохо поддающихся формализации, КЭ серендипова семейства (Irons B., Ergatoudis J., Zienkiewicz O.). Вскоре стало ясно, в особенности, после появления гексагональных КЭ, что возможности матричной алгебры в дискретных аппроксимациях явно недостаточны. В МКЭ стали проникать геометрические приемы построения интерполяционных базисов [3]. Именно благодаря геометрическому моделированию впервые удалось найти альтернативные базисы серендиповых КЭ [4,5]. Было установлено, что альтернативы существуют только на КЭ высших порядков (начиная с третьего). В работе предпринята попытка на примере серендипова КЭ с 12 узлами продемонстрировать возможность управлять формой бикубической поверхности в пределах носителя так, чтобы исключить нарушения в граничных условиях. Это означает, что различные модификации КЭ можно ансамблировать без риска нарушить межэлементную непрерывность.

**Цель статьи** – показать преимущества геометрического моделирования и протестировать некоторые модификации базисов бикубической интерполяции.

**Основная часть.** Серендипов КЭ бикубической интерполяции представляет собой квадрат ( $|\xi| \leq 1, |\eta| \leq 1$ ) с 12 регулярно расположенными граничными узлами (рис.1).

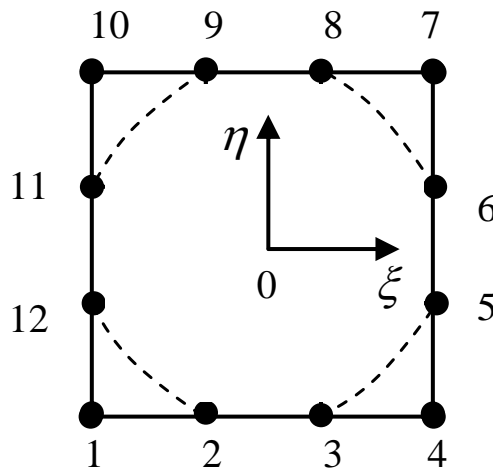


Рис.1 Серендипов КЭ бикубической интерполяции.  
Линия нулевого уровня модели с параболоидом вращения.

Из литературных источников [1,2,6] известно, что его единственный базис, найденный подбором, имеет вид:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{32}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(9(\xi^2 + \eta^2) - 10) \text{ для угловых узлов } i = 1, 4, 7, 10, \xi_i, \eta_i = \pm 1.$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{32}(1 - \eta^2)(1 + \xi_i \xi)(1 + 9\eta_i \eta) \text{ для } i = 5, 6, 11, 12, \xi_i = \pm 1, \eta_i = \pm \frac{1}{3}.$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{32}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(1 + 9\xi_i \xi) \text{ для } i = 2, 3, 8, 9, \eta_i = \pm 1, \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Геометрический анализ приведенного базиса показывает, что бикубические поверхности  $N_i(\xi, \eta)$  состоят из плоскостей и поверхностей 2-го порядка. Наиболее содержательны угловые функции. Они влияют на четыре соседних КЭ, в отличие от промежуточных, влияющих лишь на два КЭ. Естественно, что угловые функции определяют названия моделей. Например, составляющими поверхности  $N_1(\xi, \eta)$  являются гиперболический параболоид (гипар)  $Z_1 = \frac{1}{4}(1 - \xi)(1 - \eta)$  и параболоид вращения  $W_1 = \frac{1}{8}(9(\xi^2 + \eta^2) - 10)$ .

На рис.1 пунктиром показана линия нулевого уровня поверхности  $N_1(\xi, \eta)$  - окружность. Это след пересечения плоскости КЭ с параболоидом вращения. Поэтому приведенная система функций названа моделью с параболоидом вращения (ПВ). Легко заметить, что поверхность  $N_2(\xi, \eta)$  составлена из параболического цилиндра  $Z_2 = \frac{9}{8}(1 - \xi)^2$  и двух плоскостей  $W_2 = \frac{1}{2}(1 - \eta)$  и  $V_2 = \frac{1}{2}(1 - 3\xi)$ . Примечательно, что возможны и другие композиции. В этом основное преимущество геометрического моделирования. Здесь уместно отметить исключительную роль гипара, без которого не обходится ни одна композиция серендипова семейства.

Можно построить еще одну модель бикубической интерполяции, если в  $N_1(\xi, \eta)$  параболоид вращения заменить параболическим цилиндром  $W_1 = \frac{1}{8}(9(1 + \xi + \eta^2) - 1)$ , который проходит через узлы 2,3,11,12 и точку (-1;-1;1). Образующая параболического цилиндра параллельна диагонали 4-10 КЭ. На рис.2 показаны линии пересечения параболического цилиндра с плоскостью КЭ.

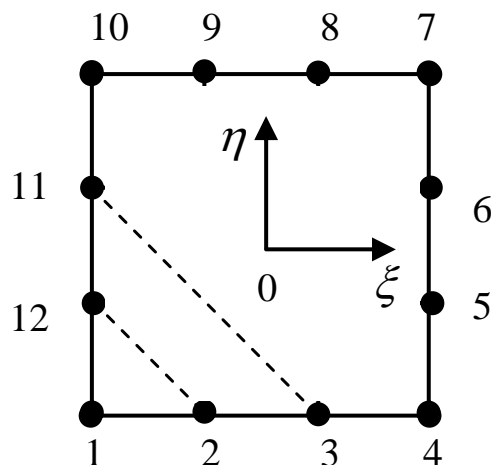


Рис.2 Линии нулевого уровня модели с параболическим цилиндром

Композиция для промежуточных узлов подбирается с учетом интерполяционной гипотезы Лагранжа. Таким образом, модель с параболическим цилиндром (ПЦ) состоит из следующих функций:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{32}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(9(1 - \xi_i \xi - \eta_i \eta)^2 - 1), \quad i = 1, 4, 7, 10, \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1;$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{32}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(9\xi_i \xi + \eta_i \eta), \quad i = 2, 3, 8, 9, \quad \eta_i = \pm 1, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Чтобы получить  $N_i(\xi, \eta)$  для остальных промежуточных узлов достаточно в последней формуле переставить  $\xi$  и  $\eta$ .

Сравнение моделей ПВ и ПЦ показывает, что последняя «скрывает» тринадцатый параметр  $\xi^2 \eta^2$ , который в комбинированных моделях способен количественно и качественно изменять аппликаты бикубических поверхностей. Комбинированная модель получается взвешенным усреднением каких-либо двух исходных моделей по формуле

$$N_i^{(k)}(\xi, \eta) = \alpha N_i^{(ПВ)}(\xi, \eta) + (1 - \alpha) N_i^{(ПЦ)}(\xi, \eta).$$

С помощью весового коэффициента  $\alpha (0 \leq \alpha \leq 1)$  можно регулировать качество интерполяции. Усреднение, как правило, улучшает качество модели. В математическом моделировании найдется множество примеров, подтверждающих этот тезис. Здесь мы приведем пример модифицированного базиса бикубической интерполяции [7], полученного в результате арифметического ( $\alpha = 0,5$ ) усреднения моделей ПВ и ПЦ:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{32}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(9\xi^2 + 9\eta^2 + 9\xi_i \xi \eta_i \eta - 9\xi_i \xi - 9\eta_i \eta - 1), \quad i = 1, 4, 7, 10, \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1;$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{64}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(18\xi_i \xi + \eta_i \eta + 1), \quad i = 2, 3, 8, 9, \quad \eta_i = \pm 1, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Проведенные исследования [8] подтверждают улучшение качества бикубической интерполяции при арифметическом усреднении ПВ и ПЦ. Интересный результат получен в компьютерных экспериментах [9] при смешивании моделей ПВ и ПЦ в различных пропорциях. Постепенное увеличение доли тринадцатого параметра приводит к сжатию параболоида вращения вдоль диагонали КЭ, содержащей «собственный» узел  $N_i(\xi, \eta)$  и одновременно смещению полученного эллиптического параболоида (ЭП) к «собственному» узлу. На рис.3 показана линия нулевого уровня (эллипс) модели ЭП. В диапазоне  $(0 < \alpha < 1)$  существует бесчисленное множество моделей ЭП, которые мы будем различать по коэффициенту сжатия эллипса в нулевом уровне:  $k = b/a$ , где  $2b$  - малая ось,  $2a$  - большая ось эллипса.

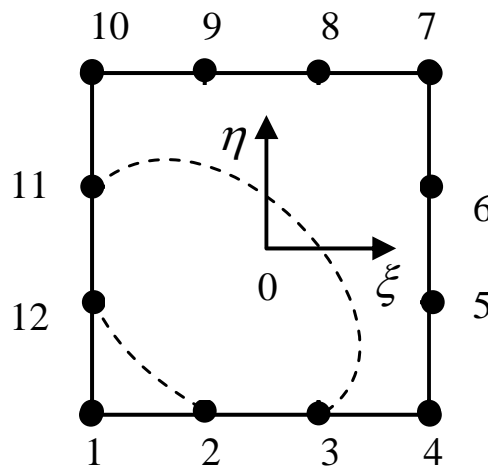


Рис.3 Линия нулевого уровня модели с эллиптическим параболоидом

Вершина эллиптического параболоида находится в точке  $(-\frac{1}{3}; -\frac{1}{3}; -\frac{1}{2})$ . Коэффициент сжатия  $k = \frac{\sqrt{3}}{3}$ . Поэтому данную модель мы обозначили так: ЭП -  $\frac{\sqrt{3}}{3}$ . Ниже эта модель будет использована в новой комбинации.

Для создания модифицированных базисов мы используем еще одну модель бикубической интерполяции, которая получена геометрически. Здесь, кроме стандартного гипара, присутствующего в любой «угловой» композиции, используется оригинальный гипар, образующий в нулевом уровне две пересекающиеся прямые (рис.4).

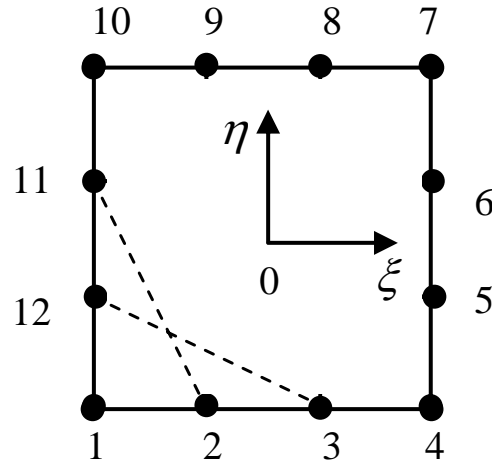


Рис.4 Линии нулевого уровня модели ГП.

Эта модель, названная нами ГП, состоит из следующих функций формы:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{64}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(5 - 3\xi_i \xi - 6\eta_i \eta)(5 - 6\xi_i \xi - 3\eta_i \eta), \quad i = 1, 4, 7, 10, \quad \xi_i, \eta_i = \pm 1;$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{128}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(36\xi_i \xi + 5\eta_i \eta - 1), \quad i = 2, 3, 8, 9, \quad \eta_i = \pm 1, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Результатом арифметического усреднения модели ПВ и модели ГП явилась модель ЭП- $\frac{\sqrt{39}}{13}$  с базисом:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{128}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(36\xi^2 + 36\eta^2 + 45\xi_i \xi \eta_i \eta - 45\xi_i \xi - 45\eta_i \eta + 5), \quad i = 1, 4, 7, 10, \\ \xi_i, \eta_i = \pm 1;$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{256}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(3 + 72\xi_i \xi + 5\eta_i \eta), \quad i = 2, 3, 8, 9, \quad \eta_i = \pm 1, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Если же теперь арифметически усреднить модели ЭП -  $\frac{\sqrt{3}}{3}$  и ЭП -  $\frac{\sqrt{39}}{13}$ , то полу-

чим модель ЭП -  $\frac{\sqrt{7}}{5}$  с базисом:

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{1}{256}(1 + \xi_i \xi)(1 + \eta_i \eta)(72\xi^2 + 72\eta^2 + 81\xi_i \xi \eta_i \eta - 81\xi_i \xi - 81\eta_i \eta + 1), \quad i = 1, 4, 7, 10, \\ \xi_i, \eta_i = \pm 1;$$

$$N_i(\xi, \eta) = \frac{9}{512}(1 - \xi^2)(1 + \eta_i \eta)(7 + 144\xi_i \xi + 9\eta_i \eta), \quad i = 2, 3, 8, 9, \quad \eta_i = \pm 1, \quad \xi_i = \pm \frac{1}{3}.$$

Будем называть ЭП -  $\frac{\sqrt{3}}{3}$  - модель 1, ЭП -  $\frac{\sqrt{39}}{13}$  - модель 2, ЭП -  $\frac{\sqrt{7}}{5}$  - модель 3.

Модифицированные базисы использованы для построения температурного поля пластины с граничными условиями Дирихле по формуле:

$$T(\xi, \eta) = \sum_{i=1}^{12} N_i(\xi, \eta) \cdot T_i,$$

где  $T_i$  - известные температуры в граничных узлах. Значения температуры в 9 внутренних контрольных точках  $A_j (j = \overline{1,9})$  сопоставляются с точным решением. За точное решение принято решение МКР на сетке с 256 ячейками, полученное методом Гаусса и подтвержденное итерациями Либмана. Для каждой модификации вычисляется среднее квадратичное отклонение от точного решения. Результаты вычислений для двух задач с различными ГУ представлены в таблицах 1-4.

Таблица 1

Граничные условия Дирихле для температурного поля пластины

$\eta = -1$	$\xi = 1$	$\eta = 1$	$\xi = -1$
$T = 30 \cos \cdot \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \xi \right)$	$T = 15(1 + \eta)$	$T = \frac{30}{4}(\xi + 1)^2$	$T = 30 \cos \cdot \left( \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{4} \cdot \eta \right)$

Результаты вычислений показаны в таблице 2.

Таблица 2

Сравнение результатов моделирования температурного поля пластины

Точка	$A_1$	$A_2$	$A_3$	$A_4$	$A_5$	$A_6$	$A_7$	$A_8$	$A_9$
	$(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$	$(0; -\frac{1}{2})$	$(\frac{1}{2}; -\frac{1}{2})$	$(-\frac{1}{2}; 0)$	$(0; 0)$	$(\frac{1}{2}; 0)$	$(-\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$	$(0; \frac{1}{2})$	$(\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$
Точное решение	22,715	18,217	13,103	17,705	15,999	15,258	11,014	12,871	16,917
Приближенная температура в точке $A_j$									
1 модель	24,532	19,429	13,495	18,489	16,148	14,814	10,682	11,977	15,904
2 модель	24,3597	19,289	13,323	18,349	15,974	14,614	10,509	11,837	15,672
3 модель	24,446	19,359	13,409	18,419	16,061	14,714	10,596	11,907	15,788

Среднее квадратичное отклонение  $\delta = 0,981$ ,  $\delta = 0,975$ ,  $\delta = 0,974$  соответственно для 1, 2 и 3 моделей.

Таблица 3

Граничные условия Дирихле для температурного поля пластины

$\eta = -1$	$\xi = 1$	$\eta = 1$	$\xi = -1$
$T = \frac{25}{2}(1 - \xi^2)$	$T = \frac{20}{8}(1 + \eta)^3$	$T = 20$	$T = 10(1 + \eta)$

Результаты вычислений показаны в таблице 4.

Сравнение результатов моделирования температурного поля пластины

Точка	$A_1$ $(-\frac{1}{2}, -\frac{1}{2})$	$A_2$ $(0; -\frac{1}{2})$	$A_3$ $(\frac{1}{2}; -\frac{1}{2})$	$A_4$ $(-\frac{1}{2}; 0)$	$A_5$ $(0; 0)$	$A_6$ $(\frac{1}{2}; 0)$	$A_7$ $(-\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$	$A_8$ $(0; \frac{1}{2})$	$A_9$ $(\frac{1}{2}; \frac{1}{2})$
Точное решение	8,766	9,754	6,873	11,244	11,031	8,345	15,268	14,835	12,983
Приближенная температура в точке $A_j$									
1 модель	10,159	11,092	7,775	11,876	11,254	8,127	15,003	13,906	11,723
2 модель	9,983	10,860	7,635	11,640	10,942	7,891	14,819	13,670	11,545
3 модель	10,071	10,976	7,705	11,758	11,098	8,009	14,911	13,788	11,634

Среднее квадратичное отклонение  $\delta = 0,972$ ,  $\delta = 0,954$ ,  $\delta = 0,956$  соответственно для 1, 2 и 3 моделей.

**Выводы.** Наличие альтернативных базисов и принцип взвешенного усреднения открывают широкие возможности для экспериментирования в поисках улучшенных аппроксимаций. Комбинирование бикубических поверхностей чаще всего дает модели с эллиптическим параболоидом (ЭП). Понятно, что качество таких моделей зависит не только от коэффициента сжатия ЭП, но и от граничных условий. Есть предположение, что независимо от ГУ лучшие модели следует искать в небольшой окрестности  $k = 0,5$ . Представляет интерес попытка найти зависимость между коэффициентом сжатия  $k$  и весовым коэффициентом  $\alpha$ , по крайней мере, для конкретной пары прототипов.

New models bicubic interpolation are presented. For testing computing properties of model the weighed averaging boundary temperatures on a square plate is used.

1. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике.- М.: Мир, 1975. – 541 с.
2. Норри Д., де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов. – М.: Мир, 1981. – 304 с.
3. Wachspress E.L. A rational finite element basis. – Academic Press. – New York, 1975. – 216 p.
4. Хомченко А.Н. О базисных функциях МКЭ для уравнений в частных производных // III Респ. симпозиум по диффер. и интегр. уравнениям: Тез. докл. – Одесса, 1982. – С.257-258.
5. Хомченко А.Н. О модификации серендиповых элементов /Ив.- Франк. ин-т нефти и газа. – Ивано-Франковск, 1983. – 4 с. Деп. в ВИНТИ 4.07.83, №3643.
6. Коннор Дж., Бреббия К. Метод конечных элементов в механике жидкости. – Л.: Судостроение, 1979. – 264 с.
7. Хомченко А.Н., Камаева Л.И. О моделировании конечных элементов серендипова семейства// Прикл. проблемы прочности и пластичности: Всесоюзн. межвуз. сб./ Горький: ГГУ, 1985. – С. 14-17.
8. Манойленко Е.С. Модели конечных элементов для расчетов температурных полей// Сборник научных трудов Херсонского филиала Украинского государственного морского технического университета. Выпуск 1 – Херсон: ХФ УДМТУ, – 2003. – С. 62-68.
9. Козуб Н.А. Модели неклассических серендиповых базисов// Тези доп. IV міжн. н/п конф. «Математичне та прогр. забезпечення інтел. систем. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2006. – С. 79-80.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ПОЛИНОМИАЛЬНОГО  
БАЗИСА ГЕКСАГОНА

Николаенко Ю.И., Моисеенко С.В.

**Постановка проблемы.** Задачи восстановления функций возникают в разных прикладных отраслях при исследовании сплошных сред, а именно при оценке продуктивности месторождений нефти, газа, в экологических и физических исследованиях. Кроме того, задачи, связанные с восстановлением поверхностей по результатам измерений, являются актуальными при проектировании, конструировании, изготовлении деталей такими методами быстрого прототипирования, как стереолитография, объемная печать, основой которых являются результаты обмера.

При реализации на ЭВМ задач восстановления наиболее эффективными являются дискретные методы (метод конечных разностей, метод конечных элементов, метод Монте-Карло), большинство из которых в основе своей являются сеточными. Если поверхность задана точечным базисом, для её восстановления часто используют триангулированную и прямоугольную сетки, основными элементами которых являются треугольники и прямоугольники. Значительная часть вопросов, возникающих при решении задач восстановления, связана с повышением их точности с учетом экономии вычислительных ресурсов. В этом случае наиболее экономичной и альтернативной является сотовая сетка, т.е. сетка, узловые точки которой находятся в вершинах правильных шестиугольников (гексагонов). Задачи диффузии и теплопроводности в ядерных реакторах и других конструкциях с гексагональной геометрией, привело к необходимости создания конечного элемента в форме гексагона с узлами интерполяции в вершинах элемента [1,4]. Попытка построить классический интерполяционный полином на шестиугольном конечном элементе традиционным матричным методом не увенчалась успехом: матрица СЛАУ оказалась вырожденной. Причиной тому принято считать “избыточную” симметрию гексагона. Базисные функции гексагональных конечных элементов с линейным поведением на границе можно построить с любой степенью точности одним из известных численных методов, например, методом Монте-Карло [7]. Но полученные при этом значения функций не удастся представить в виде значений некоторых элементарных функций. Базисы, которые до сих пор удалось получить, не являются гармоническими. Поэтому остается актуальной задача построения полиномиальных аппроксимаций конечно-элементных базисных функций гексагона.

**Анализ предшествующих публикаций и цели статьи.** Первые гексагональные базисы были сконструированы в 80-х годах прошлого столетия. Неудачное применение матричных методов при построении полиномиальных базисных функций (БФ) стимулировало развитие геометрических методов. Результаты Уачспресса [2] в геометрическом моделировании конечно-элементных базисов позволили создать дробно-рациональный базис (ДРБ) [1,3], а затем и полиномиальный (ПБ) [4]. Недавно [5] была предпринята попытка синтезировать две несбалансированные системы интерполяционных функций с целью создания синтетического базиса гексагона (СБ). В работе [8] предложен новый подход к построению полиномиального базиса (ПБ1) на гексагоне, а именно использование дополнительной информации в опорных узлах гексагона, получение которой основано на вероятностно-геометрическом дуализме БФ. Всесторонний анализ этих систем позволил установить следующие недостатки: нарушение весового баланса (СБ), плохо контролируемые погрешности численного интегрирования (ДРБ), нелинейное поведение функции на сторонах гексагона (ПБ, СБ, ПБ1), нарушение дифференциального критерия гармоничности (ДРБ, ПБ, СБ, ПБ1) [8]. В 2006 году в работе [6] был предложен гармонический полиномиальный базис третьего порядка (ГПБ3), базисные функции которого в точности удовлетворяют уравнению Лапласа, однако также как и у ПБ, у ГПБ3 наблюдается воз-

никновение нелинейностей на границе гексагона. Для построения полиномиального базиса в настоящей работе авторы используют дополнительные ограничения в виде обнуления функции в тех областях на контуре гексагона, где возможны максимальные отклонения, в результате в полиноме появляются дополнительные члены высших порядков.

Основная цель работы – построить полиномиальный гармонический базис, свободный от ряда недостатков известных базисов.

**Основная часть.** В плоскости  $Oxy$  рассмотрим правильный шестиугольник, вписанный в окружность единичного радиуса с центром в начале координат (рис.1).

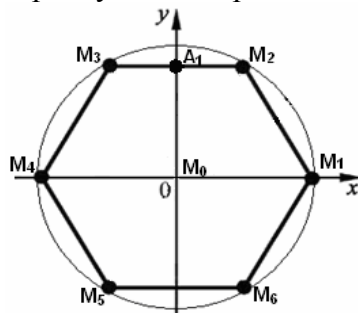


Рис.1 Гексагональный элемент

Наша задача – построить матричным способом шесть полиномов  $\varphi_i(x, y)$  – базисных функций гексагона, ассоциированных с вершинами  $i = \overline{1,6}$ . Эти функции должны удовлетворять следующим требованиям:

интерполяционной гипотезе:

$$\varphi_i(x_j, y_j) = \delta_{ij}, (j = \overline{1,6}), \text{ где } \delta_{ij} \text{ – символ Кронекера;} \quad (1)$$

условию сохранения весового баланса:

$$\sum_{i=1}^6 \varphi_i(x, y) = 1; \quad (2)$$

уравнению Лапласа:

$$\Delta \varphi_i = 0 \quad (i = \overline{1,6}); \quad (3)$$

условие гармоничности Кёбе:

$$\frac{1}{l} \oint_L \varphi_i(x, y) dl = \varphi_i(0,0), (i = \overline{1,6}), \quad (4)$$

где  $l$  – длина периметра гексагонального конечного элемента; специфическим граничным условиям:

$$\text{между вершинами гексагона } \varphi_i(x, y) \text{ изменяется линейно.} \quad (5)$$

Базисную функцию, принимающую значение 1 в узле  $M_1$ , будем строить в виде полинома, где учтена симметрия относительно оси  $Ox$ , поэтому полином не должен содержать нечетных степеней  $y$ . Для нахождения коэффициентов полинома составим и решим СЛАУ, в отличие от [7], где коэффициенты определялись как вероятности перехода частицы из дополнительного узла в соответствующую вершину гексагона.

В процессе исследования были построены полиномы третьего, четвертого, пятого, шестого, седьмого порядков, однако именно полином четвертого порядка обладает наилучшими интерполяционными свойствами.

Полином 4-го порядка имеет следующий вид:

$$\varphi = \alpha_0 + \alpha_1 x + \alpha_2 x^2 + \alpha_3 y^2 + \alpha_4 x^3 + \alpha_5 x y^2 + \alpha_6 x^4 + \alpha_7 x^2 y^2 + \alpha_8 y^4 \quad (6)$$

С учетом симметрии БФ  $\varphi_i(x, y)$  в дальнейших расчетах будем использовать вершины  $M_1, M_2, M_3, M_4$ . Выполнение условий (1) и (3) приводит к следующей системе уравнений:



$$\begin{cases} \frac{1}{6} + \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_4 + \alpha_6 = 1, \\ \frac{1}{6} - \alpha_1 + \alpha_2 - \alpha_4 + \alpha_6 = 0, \\ \frac{1}{6} + \frac{1}{2}\alpha_1 + \frac{1}{4}\alpha_2 + \frac{3}{4}\alpha_3 + \frac{1}{8}\alpha_4 + \frac{3}{8}\alpha_5 + \frac{1}{16}\alpha_6 + \frac{3}{16}\alpha_7 + \frac{9}{16}\alpha_8 = 0, \\ \frac{1}{6} - \frac{1}{2}\alpha_1 + \frac{1}{4}\alpha_2 + \frac{3}{4}\alpha_3 - \frac{1}{8}\alpha_4 - \frac{3}{8}\alpha_5 + \frac{1}{16}\alpha_6 + \frac{3}{16}\alpha_7 + \frac{9}{16}\alpha_8 = 0, \\ \alpha_2 + \alpha_3 = 0, \\ 3\alpha_4 + \alpha_5 = 0, \\ 6\alpha_6 + \alpha_7 = 0, \\ \alpha_7 + 6\alpha_8 = 0. \end{cases}$$

При рассмотрении данной системы уравнений было обнаружено, что уравнения данной системы являются линейно-зависимыми. Оказывается, что условие  $\varphi(M_3) = 0$  выполняется автоматически, если выполнены остальные условия интерполяционной гипотезы. Вместо соотношения  $\varphi(M_3) = 0$  накладываем дополнительное ограничение в точке

$A_1(0; \frac{\sqrt{3}}{2})$ :  $\varphi(A_1) = 0$ . Вследствие этого, к системе добавляется уравнение:

$$\frac{1}{6} + \frac{3}{4}\alpha_3 + \frac{9}{16}\alpha_8 = 0.$$

Решение полученной СЛАУ, даёт следующие значения коэффициентов:

$$\alpha_0 = \frac{1}{6}; \alpha_1 = \frac{1}{3}; \alpha_2 = \frac{17}{63}; \alpha_3 = -\frac{17}{63}; \alpha_4 = \frac{1}{6}; \alpha_5 = -\frac{1}{2}; \alpha_6 = \frac{4}{63}; \alpha_7 = -\frac{24}{63}; \alpha_8 = \frac{4}{63}.$$

Следовательно, функция  $\varphi_1(x, y)$  имеет вид (рис.2):

$$\varphi_1(x, y) = \frac{1}{6} + \frac{1}{3}x + \frac{17}{63}(x^2 - y^2) + \frac{1}{6}(x^3 - 3xy^2) + \frac{4}{63}(x^4 - 6x^2y^2 + y^4). \quad (7)$$

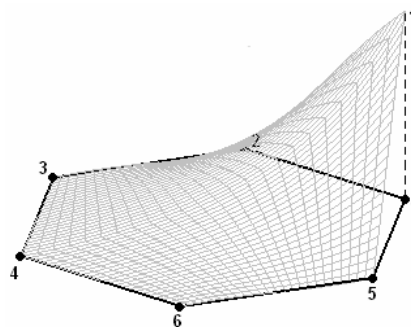


Рис.2. График функции  $\varphi_1(x, y)$

Остальные функции могут быть получены путем поворота системы координат на угол, кратный  $60^\circ$ . В результате тестирования было установлено, что данная функция удовлетворяет условиям (1-4), кроме того, удалось минимизировать осцилляции на контуре гексагона и улучшить интерполяционные качества модели. В силу симметрии  $\varphi_1(x, y)$  на рис.3 представлены отклонения от линейного поведения функции на сторонах  $M_1M_2, M_2M_3, M_3M_4$ . На стороне  $M_1M_2$  наблюдаются слабые осцилляции в пределах 1%.

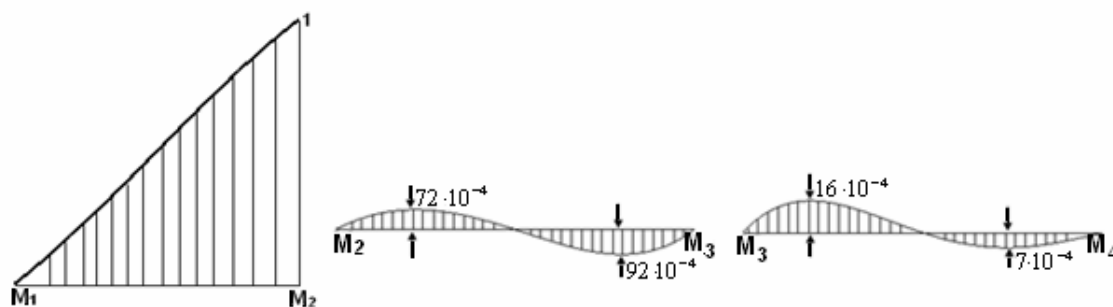


Рис. 3 Отклонение от линейного поведения функции  $\varphi_1(x, y)$  на границе гексагона

В данном случае аномалии не имеют нежелательных последствий благодаря полному сглаживанию при ансамблировании. Подтверждением тому – удовлетворение критерию (4).

**Выводы.** Данный полиномиальный базис был получен благодаря удачному сочетанию геометрических и алгебраических методов. Следует отметить, что полученный базис успешно справляется с задачей лагранжевой интерполяции, кроме того БФ  $\varphi_i(x, y)$  является гармонической, т.к. удовлетворяет дифференциальному (3) и интегральному (4) критериям гармоничности. С появлением таких моделей гексагонализация становится такой же привычной процедурой МКЭ, как и триангуляция.

In the article the possibility of construction of a harmonic polynomial base of the hexagonal for a discrete element with six nodes in apexes by algebraical method is presented. The properties of base are analyzed.

1. Ishiguro M. Construction of hexagonal basis functions applied in the Galerkin-type finite element method // J. Inf. Process. 1984. V. 7, №2. – P.89-95.
2. Wachspress E.L. A rational finite element basis. – Academic Press. – New York, 1975. – 216p.
3. Хомченко А.Н. О дробно-рациональной интерполяции на шестиугольном конечном элементе // Вісник Запорізького держ. ун-ту (серія: фізико-математичні науки).– 2002. - №3.– С.84-87.
4. Хомченко А.Н. К расчету температурных полей в сотовых структурах методом конечных элементов//Инж.-физ. журнал.–1987.– Т.52, №2.–С.301-305.
5. Хомченко А.Н. Синтетична модель гексагонального скінченного елемента // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Тавр. держ. агротехн. академія. – Мелітополь: ТДАТА, 2003.-Вип.4.Т.20. - С.9-13.
6. Цыбуленко О.В., Литвиненко Е.И., Николаенко Ю.И. Альтернативные модели гексагональных базисов //Системні технології. – Дніпропетровськ, 2006. – Вип..3(44). – С.155-161..
7. Хомченко А.Н., Моисеенко С.В., Николаенко Ю.И. Моделирование полиномиального базиса гексагона // Питання прикладної математики і математичного моделювання. – Дніпропетровськ:ДНУ,2006.-С.242-249.
8. Хомченко А.Н., Моисеенко С.В. Квазигармонические базисы конечно-элементной интерполяции // Новые информационные технологии в учебных заведениях: Материалы Международной конференции памяти проф. И.И. Мархеля. – Одесса, 2005. – С.173-176.

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОКОДЕРА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ФОРМЫ ИМПУЛЬСА СИГНАЛА ВОЗБУЖДЕНИЯ

Тищенко И.А., Лубяный В.З.

### Введение

Одной из актуальных задач компьютерной телефонии является хранение телефонных переговоров. С целью экономии объема памяти при хранении речи используется её кодирование в виде параметров: характеристики речевого тракта и сигнала его возбуждения. Одной из таких систем является вокодерная система на основе лестничного фильтра. Установлено [1], что качество восстановленного речевого сигнала зависит от формы импульса основного тона (ОТ). Предлагалось вместо прямоугольных импульсов использовать треугольные импульсы ОТ.

### Постановка задачи исследования

Целью настоящей статьи является с помощью математического моделирования системы определить оптимальную форму импульсного сигнала ОТ.

### Основной материал

Линейное предсказание является одним из наиболее эффективных методов анализа речевого сигнала [2]. Этот метод становится доминирующим при оценке основных параметров речевого сигнала, таких, как, например, период ОТ, форманты, спектр, функция площади речевого тракта, а также при сокращенном представлении речи с целью ее низкоскоростной передачи и экономного хранения. Важность метода обусловлена высокой точностью получаемых оценок и относительной простотой вычислений.

Идеи и методы линейного предсказания довольно давно обсуждаются в технической литературе. Эти идеи используются в теориях автоматического управления и информатики, где их называют методами оценивания систем, или методами идентификации систем. Под термином «идентификация» понимаются методы линейного предсказания (ЛП), основанные на оценивании параметров, однозначно описывающих систему при условии, что ее передаточная функция является полюсной. Применительно к обработке речевых сигналов методы линейного предсказания означают ряд сходных формулировок задачи моделирования речевого сигнала. Эти формулировки часто отличаются в исходных предпосылках. Иногда они сводятся к различным методам вычисления, используемым для оценки коэффициентов предсказания. Так, применительно к речевым сигналам существуют следующие методы вычисления: ковариационный [3], автокорреляционный [4], лестничного фильтра, обратной фильтрации, оценки спектра, максимального правдоподобия [5] и скалярного произведения. Рассмотрим подробнее только метод лестничного фильтра и его отличие от первых двух методов из перечисленных выше, поскольку остальные подходы равноценны одному из этих трех.

Ковариационный и автокорреляционный методы вычисления параметров предсказания включают в себя два этапа: оценивание матрицы корреляций и решение системы линейных уравнений. Эти методы широко и успешно используются применительно к обработке речевых сигналов. Но к настоящему времени развит другой класс методов, называемых методами на основе лестничного фильтра, в которых оба этапа в известном смысле объединены в один рекурсивный алгоритм оценивания параметров линейного предсказания.

На рис. 1 представлена цифровая реализация фильтра погрешности предсказания с передаточной функцией  $A(z)$ . Такая схема называется лестничной. Используя  $p$  каскадов лестничного фильтра, на выходе последнего из них можно получить погрешность предсказания, как это изображено на рис. 1.

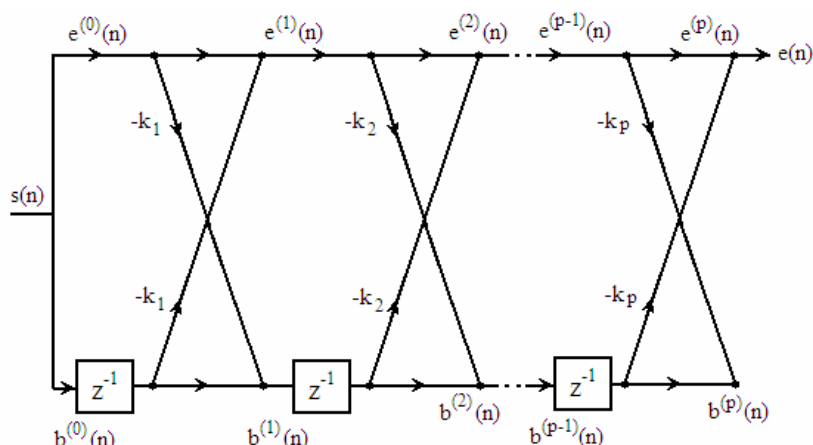


Рис. 1 Структурная схема лестничного фильтра

Между изложенным методом, а также автокорреляционным и ковариационным методами существует ряд различий. Основное из них состоит в том, что при использовании лестничного фильтра, коэффициенты предсказания оцениваются непосредственно по речевому сигналу без промежуточного вычисления автокорреляционной функции.

Кроме того, метод гарантирует получение устойчивого фильтра без использования окон Хемминга. По этим причинам подход на основе лестничного фильтра является важным и предпочтительным способом реализации линейного предсказания.

Бург разработал алгоритм, основанный на минимизации суммы среднего квадрата прямой  $e$  и обратной  $b$  погрешностей на рис. 1. Формула вычисления коэффициентов предсказания по данному методу имеет вид:

$$k_i = \frac{2 \sum_{m=0}^{N-1} [e^{(i-1)}(m)b^{(i-1)}(m-1)]}{\sum_{m=0}^{N-1} [e^{(i-1)}(m)]^2 + \sum_{m=0}^{N-1} [b^{(i-1)}(m-1)]^2}, \quad (1)$$

где оценки  $k_i$  на основе (1) удовлетворяют соотношению  $-1 \leq k_i \leq 1$ .

В данной работе метод Бурга реализован в виде математической модели в программе MatchCad. Основная функция модели, по которой рассчитываются коэффициенты предсказания (первые 12 элементов массива) и погрешность предсказания (остальные  $N=160$  элементов) представлена на рис. 2 (где  $s$  – выборка речевого сигнала):

```

k(s, N) :=
    e ← s
    b ← s
    g0 ← 0
    for i ∈ 1..11
        for m ∈ 1..N-1
            gm ← bm-1
            k1 ← (2 · e · g) / (e · e + g · g)
            b ← g - k1 · e
            e ← e - k1 · g
        for i ∈ 12..N+1
            ki ← ei-12
    k
    
```

Рис. 2 Функция вычисления коэффициентов предсказания лестничного фильтра по методу Бурга

Для определения оптимальной формы импульсного сигнала ОТ нами использованы 20 мс выборки реального речевого сигнала. Исследовались выборки сигнала соответствующего основным гласным звукам русского языка, произнесенным мужским голосом. На рис. 3 представлены графики сигнала и погрешности предсказания, построенной по найденным коэффициентам предсказания лестничного фильтра.

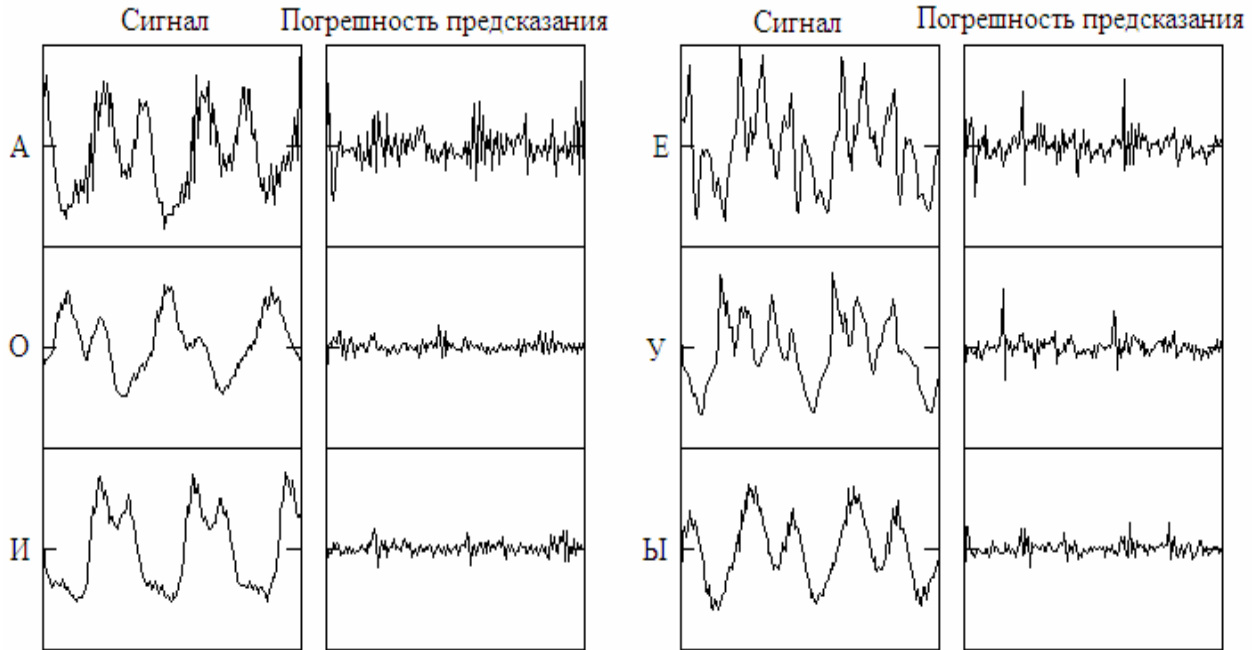


Рис. 3 Примеры сигналов и погрешностей предсказания для гласных звуков русского языка (А, О, И, Е, У, Ы)

Оптимальным сигналом возбуждения был бы сигнал, совпадающий с сигналом погрешности предсказания. Для уменьшения объема хранимой информации по сигналам погрешности предсказания находят частоту ОТ, величина которой и сохраняется наряду с рассчитанными коэффициентами лестничного фильтра. При воспроизведении речевого сигнала возбуждение лестничного фильтра производится импульсами с этой частотой. Таким образом, для определения оптимальной формы импульсов возбуждения нужно проанализировать форму пиков сигнала погрешности предсказания. Поэтому в сигнале погрешности предсказания для каждой рассматриваемой гласной находился максимальный отсчет. Этот отсчет и по пять соседних с ним отсчетов с каждой стороны подвергались интерполяции, повышающей частоту отсчетов в 10 раз, с использованием функции  $\frac{\sin x}{x}$ , что позволяет более подробно проанализировать форму сигнала возбуждения. Далее проводилось нормирование и центрирование полученных образцов импульсов возбуждения, а также нахождения усредненного импульса данных сигналов (см. рис. 4, а). Для усредненного импульса методом минимизации среднеквадратической ошибки находилась аппроксимация в виде трапециидального импульса (рис. 4, б). Получено, что передний и задний фронты импульса равны, и составляют 35% длительности импульса возбуждения.

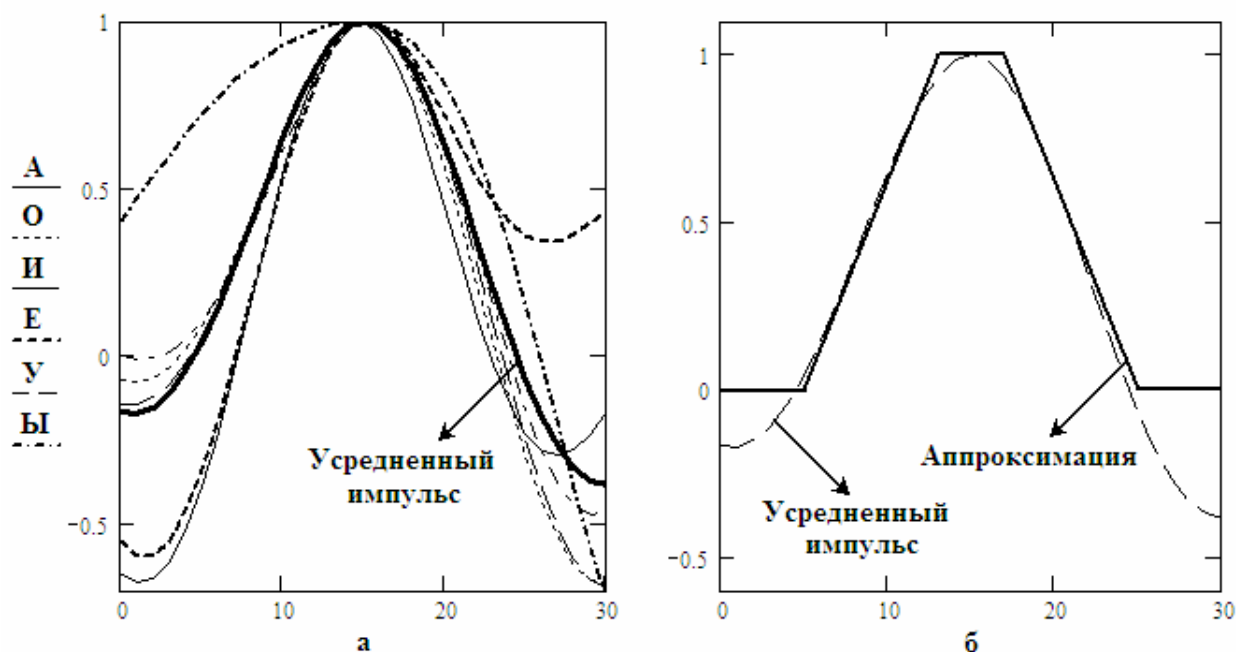


Рис. 4: а – формы импульсов возбуждения; б - усредненный импульс возбуждения и его аппроксимация

#### Выводы

Методом математического моделирования показано, что оптимальная форма импульса возбуждения лестничного фильтра для различных гласных практически совпадает и может быть аппроксимирована трапециидальным импульсом.

Actual problem of a computer telephony is storage of telephone dialogues. With the purpose of economy of a memory size at storage of speech, its coding in the form of parameters is used. By means of mathematical modeling processing a real speech signal by system of compression of speech the optimum form of an excitation impulse of the basic tone for the ladder filter vocoder is certain. It has been shown, that the optimum form of excitation impulse for various vowels practically coincides and can be approximated by trapezoidal impulse.

1. Sambur M. R. Recent advances in LPC speech vocoding. – IEEE 1977 Int. Conf. on Comm., 12-15 June 1977, Chicago, p. 13.3 (297-300).
2. Рабинер Л.Р., Шафер Р.В. Цифровая обработка речевых сигналов. – М.: Радио и связь, 1981. – 495 с.
3. Коротяев Г.А. Системы анализа и синтеза речевого сигнала с линейным предсказанием. – Зарубежная радиоэлектроника, 1976, № 10, с. 3-14.
4. Баронин С.П. Спектральный анализ и проблема сокращенного описания речевых сигналов.- В кн.: Спектральный анализ звуков речи и интонации звуков речи и интонации. М. 1969, с. 13-30.
5. Маркел Дж.Д., Грэй А.Х. Линейное предсказание речи: Пер. с англ./Под ред. Ю.Н. Прохорова, В.С. Звезда. М.: Связь, 1980, 308 с.

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 620.179:534.6

## ЛОКАЛИЗАЦИЯ МЕСТА ПОЛОЖЕНИЯ СКВОЗНЫХ ДЕФЕКТОВ ПО СИГНАЛАМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Бабак В.П., Пономаренко А.В.

**Введение**

Для обнаружения и локализации сквозных дефектов, образовавшихся в протяженных продуктопроводах под давлением, доступ к которым ограничен (расположение в земле на определенной глубине или каналах, наличие защитных слоев и т.д.), распространение получили низкочастотный акустический метод и метод акустической эмиссии [1-6]. Первый основан на анализе взаимной корреляционной функции (ВКФ) при обработке низкочастотных акустических сигналов, регистрируемых двумя датчиками, между которыми находится источник излучения [1-3]. При этом расстояние до места утечки среды рассчитывается по временной задержке прихода сигналов на датчики, определяемой по ВКФ, а именно по временному положению максимума амплитуды ВКФ. При использовании метода акустической эмиссии (АЭ) применяются два основных подхода.

В основе второго подхода, лежит расчет координат утечки по амплитудам сигналов АЭ, регистрируемых несколькими датчиками, установленными на объекте контроля [5, 7]. Количество датчиков всегда должно быть больше двух. При этом в качестве амплитуды сигналов непрерывной АЭ используется наиболее вероятная амплитуда  $U_{\text{НВ}}$  [8]. Если известно значение коэффициента затухания  $\alpha$  в материале изделия, а затухание происходит по экспоненциальному закону, то по значениям амплитуд определяются разности расстояний [5, 7] до каждой пары датчиков в виде  $\Delta \ell_i = (1/\alpha) \ln(U_{\text{НВ}}^i / U_{\text{НВ}}^j)$ , где  $\Delta \ell_i$  - разность расстояний от источника сигналов АЭ до  $i$ -го датчика;  $U_{\text{НВ}}^i, U_{\text{НВ}}^j$  - значения для наиболее вероятных амплитуд с  $i$ -го и  $j$ -го датчиков;  $\alpha$  - коэффициент затухания. В общем случае для любых пар датчиков записывается уравнение в виде  $\Delta \ell_i = \sqrt{(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2} + \sqrt{(x - x_j)^2 + (y - y_j)^2}$ , где  $x, y$  - координаты неизвестного источника излучения;  $x_i, y_i, x_j, y_j$  - координаты выбранной пары приемных датчиков. Решение систем уравнений, составленных для выбранных пар датчиков, например, при известных координатах трех или четырех датчиков [5, 7], позволяет определить координаты  $(x, y)$  местоположения течи на изделии.

Второй подход, как и в случае низкочастотного метода, основан на анализе ВКФ при обработке сигналов АЭ, поступающих на два датчика [6], между которыми находится сквозной дефект. Однако в отличие от низкочастотного метода полоса частот анализируемых сигналов в методе АЭ имеет значительно больший диапазон значений.

Методика, основанная на анализе ВКФ, является более простой. Однако наличие различных влияющих факторов (акустические шумы, неравномерность физико-механических характеристик материалов, дефекты структуры и т.д.) проявляется в сложном характере изменения ВКФ, невыразительности и неустойчивости основного всплеска ВКФ. Следствием этого может быть существенная вариация результатов измерений. Вопросы повышения достоверности поиска утечек рассмотрены в ряде работ [9-11], где показана возможность использования частотной фильтрации и волновой (пространственной) селекции. Их применение направлено на получение статистически устойчивого основного всплеска ВКФ. В тоже время, из-за наличия сложного, комбинированного сочетания влияющих факторов, возможно изменение положения максимума в пределах основного всплеска ВКФ. При таких условиях расчет расстояния по временному положению максимума ВКФ может приводить к ошибкам обнаружения течи.

В работе будет рассмотрена методика определения расстояния до течи с использовани-

ем анализа ВКФ. Будет показано, что снижение действия факторов, влияющих на искажение формы основного всплеска ВКФ, и, как следствие, повышение достоверности определения расстояния до течи, обеспечивается за счет обработки временного положения центра тяжести основного всплеска ВКФ.

### Результаты исследований

Как было отмечено выше, определение расстояния до течи с использованием ВКФ осуществляется по временной задержке прибытия сигналов поступающих на два датчика, расположенных на конструкции, по выражению вида

$$\ell = (L/2) - (\tau_0 \nu / 2), \quad (1)$$

где  $L$  – расстояние между датчиками;  $\nu$  - скорость распространения сигналов по объекту контроля (низкочастотных сигналов или сигналов АЭ);  $\tau_0$  - временная задержка или разность прихода сигналов на датчики.

Выражение (1) правомочно при условии, что один из датчиков является базовым, относительно которого и определяется расстояние до течи. При этом значение  $\tau_0$  определяется по ВКФ  $K_{1,2}(\tau)$  сигналов от датчиков  $D_1$  и  $D_2$ , например, исходя из условия

$$K_{1,2}(\tau_0) = \max[K_{1,2}(\tau)]. \quad (2)$$

Другими словами, величина  $\tau_0$  определяется по временному расстоянию (положению) до максимума основного всплеска ВКФ. Вместе с тем, основной всплеск на корреляционной функции относительно оси времени можно рассматривать, как импульсный сигнал, по параметрам которого определяется  $\tau_0$ . Поэтому, если какая-либо анализируемая величина определяется “расстоянием” до не перекрывающегося сигнала, то крайне важно установить точное значение данного “расстояния”. Другими словами, возникает вопрос: какую точку в общей форме сигнала взять за точку отсчета? Традиционно данная точка для ВКФ определяется, в соответствие, с соотношением (2), т.е. по максимальной амплитуде ВКФ. При этом предполагается, что максимум основного всплеска на корреляционной функции является статистически устойчивым. Однако, как отмечалось выше, наличие большого количества влияющих факторов приводит к искажению формы ВКФ, и, прежде всего, интересующего нас, его основного всплеска (рис.1). В тоже время, пик основного всплеска может быть размытым (иметь полочку), а в его пределах наблюдается перемещение положения максимальной амплитуды. Как показывают расчеты, например, для данных приведенных на рис.1, при расстоянии между датчиками 1,64 м, расположении источника излучения на расстоянии 0,53 м от датчика 1 ( $D_1$ , рис1), изменение временного положения максимальной амплитуды в пределах основного всплеска приводит к ошибке определения места положения источника, которая может достигать 20%.

Из механики известно [12], что если в плоскости дана система материальных точек  $M(x_k, y_k)$  с массой  $m_k$ , где  $k=1, 2, \dots, n$ , все точки неизменно связаны между собой, а вес каждой точки  $p_k$  есть вертикальная сила, величина которой равна  $m_k g$ , где  $g$  – ускорение силы тяжести, одинаковое для всех материальных точек, то координаты центра тяжести этой системы определяются по выражениям

$$\left. \begin{aligned} x_{\text{цт}} &= \frac{m_1 x_1 + m_2 x_2 + \dots + m_n x_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_k m_k x_k}{m} \\ y_{\text{цт}} &= \frac{m_1 y_1 + m_2 y_2 + \dots + m_n y_n}{m_1 + m_2 + \dots + m_n} = \frac{\sum_k m_k y_k}{m} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$



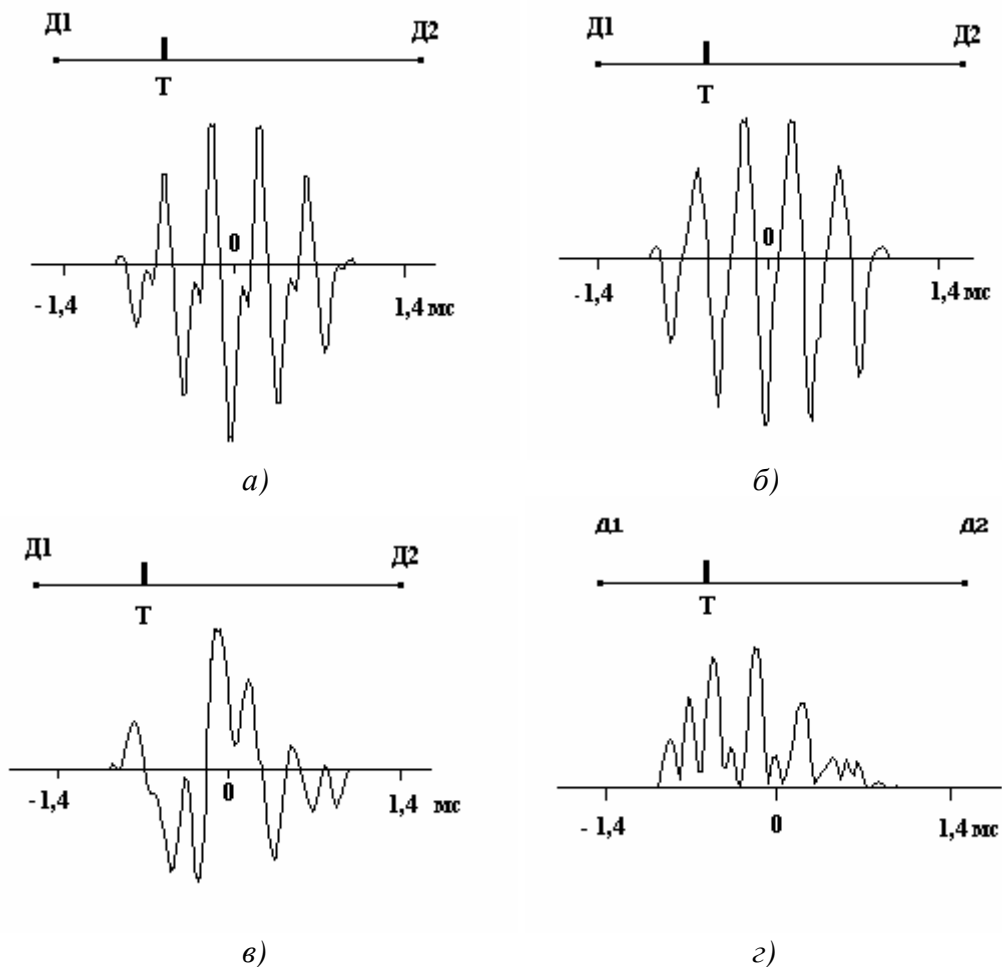


Рис. 1 ВКФ при определении места положения модельной течи: *а, б* – возбуждение акустического излучения периодическим низкочастотным импульсным сигналом, поступающим на пьезоке-рамический датчик возбуждения; *в, з* – возбуждение акустического излучения наложением периодического низкочастотного импульсного сигнала и сигнала типа белого шума, поступающих на пьезо-керамические датчики возбуждения, расположенные вблизи друг от друга; *з* – представление ВКФ при инверсии отрицательных значений.  $D_1, D_2$  – приемные датчики;  $T$  – место положения источника излучения

Если пренебречь бесконечно малыми равномерно-высшего порядка, заставляя частицы (материальные точки) бесконечно уменьшаться (их число  $n$  безгранично увеличивается), то от сумм (3) переходят к интегралам.

Следует подчеркнуть, что центр тяжести есть единственный и однозначно определяемый математически. Данный факт играет немаловажное прикладное значение во многих физико-химических исследованиях, где приходится иметь дело с зависимостями (сигналами), форма которых может видоизменяться под влиянием большого количества факторов. В зависимости от области проводимых исследований сигналы и площадь под ними могут характеризовать различные величины. Так в рентгеноструктурном анализе [13] используются сигналы, площадь которых характеризует интегральную интенсивность дифракционных линий, а для определения местоположения центра тяжести дифракционной линии производят вычисления согласно выражению

$$x_{цт} = \left[ \sum_{k=0}^n x_k I(x_k) \Delta x_k \right] / \left[ \sum_{k=0}^n I(x_k) \Delta x_k \right], \quad (4)$$

где  $I$  – интенсивность дифракционных линий;  $x_k$  – координаты вдоль оси углов дифракционных линий;  $n$  – число участков разбиения профиля дифракционной линии.

Подобный подход используется и, в так называемом, методе моментов, при решении задач определения функционала положения  $x_0$  обобщенного импульса  $f(x)$ , т.е. при определении положения условной точки  $f(x_0)$  по оси абсцисс внутри интервала возможных значений функции  $f(x)$  [14]. В общем случае, согласно данному методу, функционал положения определяется абсциссой центра тяжести  $x_{ЦТ\lambda}$  кривой  $|f(x)|^\lambda$  в виде

$$x_{ЦТ\lambda} = \left( \int_{-\infty}^{\infty} x |f(x)|^\lambda dx \right) / \left( \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^\lambda dx \right). \quad (5)$$

Тогда для значений  $\lambda=1$  и  $\lambda=2$  функционал (5) будет иметь вид

$$x_{ЦТ1} = \left( \int_{-\infty}^{\infty} x |f(x)| dx \right) / \left( \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)| dx \right), \quad (6)$$

$$x_{ЦТ2} = \left( \int_{-\infty}^{\infty} x |f(x)|^2 dx \right) / \left( \int_{-\infty}^{\infty} |f(x)|^2 dx \right). \quad (7)$$

Выражение (6) определяет центр тяжести по “площади”, а выражение (7) – центр тяжести по “энергии”. При этом, если функция  $f(x)$  не является симметричной, то  $x_{ЦТ1} \neq x_{ЦТ2}$ .

Несмотря на громоздкость вычислений, преимущества такого подхода очевидны, поскольку, как было отмечено выше, центр тяжести является однозначно определяемым математически, а с использованием компьютерной техники данные вычисления не представляют трудностей.

При обработке сигналов возможно использование, как определения центра тяжести по площади, так и центра тяжести по энергии, при условии того, что выбранный центр тяжести является реперной точкой во всех проводимых измерениях. Однако, если исследуемый сигнал имеет сложную, изрезанную форму, то энергия сигнала является более емким параметром, имеющим большую чувствительность к изменению формы сигнала. Поэтому, совершенно очевидно, что более предпочтительным является определение энергетического центра тяжести, в соответствии с выражением (7).

Основной всплеск ВКФ, относительно оси времени, можно рассматривать как импульс, по параметрам которого определяется временная задержка прихода сигналов на датчики. Тогда его обработку можно осуществлять, в соответствии, с рассмотренным выше. При цифровом способе регистрации и обработки сигналов АЭ с проведением стандартных расчетов ВКФ [15], выражение (7), определяющее временное положение энергетического центра тяжести по основному всплеску ВКФ, запишется в виде

$$\tau_{ЦЦ} = \left[ \sum_{k=0}^n (t_k U_k^2) \right] / \left( \sum_{k=0}^n U_k^2 \right), \quad (8)$$

где  $U_k = \Delta U A_k$  -  $k$ -ый отсчет амплитуды принятого сигнала в момент времени аналого-цифрового преобразования  $t_k = k\Delta t$ ;  $\Delta t$  - временной интервал дискретизации входного сигнала;  $\Delta U$  -чувствительность аналого-цифрового преобразователя на единицу младшего разряда;  $A_k$  - цифровой код  $k$ -го отсчета амплитуды на выходе аналого-цифрового преобразователя;  $n$  – количество отсчетов амплитуды на интервале действия сигнала.

С учетом  $U_k$  и  $t_k$  выражение (8) перепишем в виде

$$\tau_{ЦЦ} = \left[ \sum_{k=0}^n (k\Delta t \Delta U^2 A_k^2) \right] / \left[ \sum_{k=0}^n \Delta U^2 A_k^2 \right] = \left[ \sum_{k=0}^n (k\Delta t A_k^2) \right] / \left( \sum_{k=0}^n A_k^2 \right). \quad (9)$$

На рис.2 показан типичный основной всплеск ВКФ при обработке тестовых сигналов АЭ, возбуждаемых датчиком излучения, установленным на расстоянии 0,53 м от датчика 1 (рис.1). Амплитуда основного всплеска ВКФ представлена в относительных единицах. Обработка параметров основного всплеска ВКФ с определением временной за-

держки по пиковому значению его амплитуды, а так же с использованием центра тяжести по площади и энергии сигнала, с последующим определением расстояния до имитатора излучения показала следующие. Для данных, приведенных на рис.1, расстояние, определяемое по пиковому значению амплитуды ВКФ, составляет 0,5 м; с использованием центра тяжести по площади – 0,55 м; с использованием центра тяжести по энергии – 0,54 м. При этом отклонение в процентном отношении от истинного положения источника излучения составляет, соответственно: ~ 6%, ~4 % и ~ 2%.

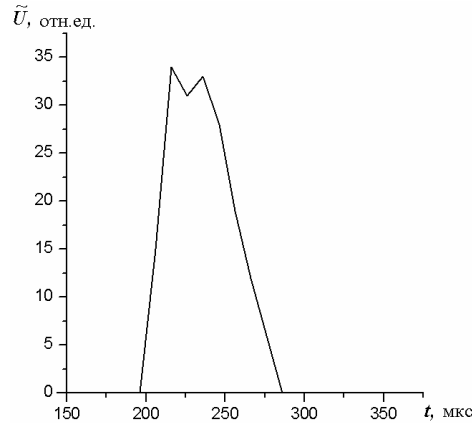


Рис. 2 Основной всплеск ВКФ при обработке тестовых сигналов АЭ. Базовым датчиком является датчик 1, в соответствии с рис.1

Из полученных результатов видно, что, во-первых, для сигнала сложной формы центр тяжести по площади не совпадает с центром тяжести по энергии. Во-вторых, ошибка определения расстояния по энергии имеет наименьшее значение – в процентном отношении почти в три раза меньше, чем по пиковому значению основного всплеска ВКФ.

Статистическая обработка результатов определения места положения источника излучения по выборкам из  $N=100$  значений каждая с использованием пиковой амплитуды, центра тяжести по площади и центра тяжести по энергии основного всплеска ВКФ показала, что экспериментальные данные описываются нормальными законами распределения (рис. 3, рис. 4) с вероятностью, соответственно: 0,99042; 0,99855 и 0,99816.

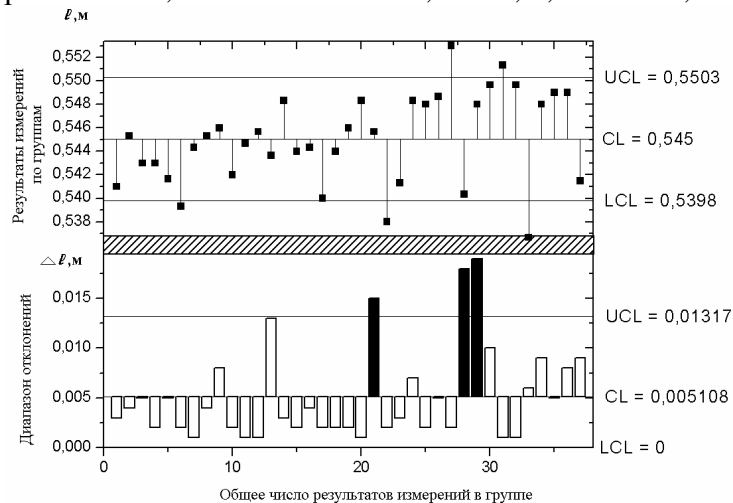


Рис. 3 Обработка результатов определения места положения источника излучения с использованием центра тяжести по энергии основного всплеска ВКФ:  $UCL$ ,  $LCL$  – верхний и нижний контрольные уровни для описания закона распределения;  $CL$  – среднее значение

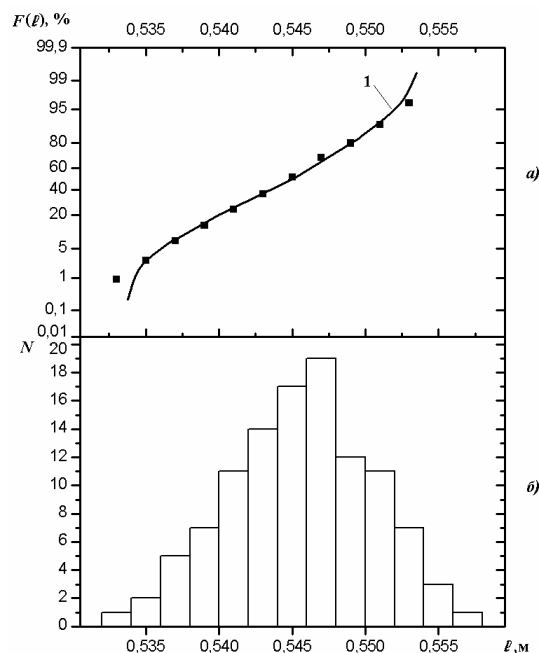


Рис. 4 Распределение по результатам определения места положения источника излучения с использованием центра тяжести по энергии основного всплеска ВКФ: *a* - функция распределения; *b* – частота; 1 – функция для идеального нормального распределения

Из анализа распределений получены оценки среднего ( $\hat{\bar{l}}$ ) и стандартного отклонения ( $s$ ) места положения источника излучения, значения которых составили: при определении временной задержки по пиковой амплитуде -  $\hat{\bar{l}}_{\Pi} = 0,499$  м,  $s_{\Pi} = 0,00505$  м; при определении временной задержки по центру тяжести площади -  $\hat{\bar{l}}_{\text{ЦТП}} = 0,559$  м,  $s_{\text{ЦТП}} = 0,00468$  м; при определении временной задержки по центру тяжести энергии -  $\hat{\bar{l}}_{\text{ЦТЕ}} = 0,545$  м,  $s_{\text{ЦТЕ}} = 0,00486$  м. Так как оценки среднего проведены для выборок из  $N$  элементов, то, в соответствии с [6], определим доверительные интервалы действительного среднего  $\bar{l}$  для заданных вероятностей в виде

$$\bar{l} = \hat{\bar{l}} \pm \mathcal{G} \cdot (s / \sqrt{N}), \quad (10)$$

где  $\mathcal{G}$  - коэффициент, значения которого являются табличными данными для заданных вероятностей:  $\mathcal{G} = 1,645$  для  $p = 0,9$ ;  $\mathcal{G} = 2,0$  для  $p = 0,955$ ;  $\mathcal{G} = 3,0$  для  $p = 0,997$ .

Обработка экспериментальных данных, в соответствии с (10), показала, что для заданных вероятностей среднее значение места положения источника излучения  $\bar{l}$  при определении временной задержки по пиковой амплитуде, по центру тяжести площади и центру тяжести энергии основного всплеска ВКФ лежит, соответственно, в пределах:  $\bar{l}_{\Pi} = (0,499 \pm 0,00083)$  м для вероятности 0,9,  $\bar{l}_{\Pi} = (0,499 \pm 0,001)$  м для вероятности 0,955,  $\bar{l}_{\Pi} = (0,499 \pm 0,0015)$  м для вероятности 0,997;  $\bar{l}_{\text{ЦТП}} = (0,559 \pm 0,00076)$  м для вероятности 0,9,  $\bar{l}_{\text{ЦТП}} = (0,559 \pm 0,00094)$  м для вероятности 0,955,  $\bar{l}_{\text{ЦТП}} = (0,559 \pm 0,0014)$  м для вероятности 0,997;  $\bar{l}_{\text{ЦТЕ}} = (0,545 \pm 0,0008)$  м для вероятности 0,9,  $\bar{l}_{\text{ЦТЕ}} = (0,545 \pm 0,00097)$  м для вероятности 0,955,  $\bar{l}_{\text{ЦТЕ}} = (0,545 \pm 0,0015)$  м для вероятности 0,997. Доверительный интервал, в

котором находится значение места положения источника излучения  $\ell$  для заданных вероятностей, определим в виде

$$\ell = \bar{\ell} \pm \mathcal{G} \cdot s. \quad (11)$$

Результаты расчетов, проведенных в соответствии с (11), приведены в табл.1.

Таблица 1

Доверительные границы на среднее значение расстояний до источника акустического излучения

Параметры основного всплеска ВКФ для определения временной задержки	Доверительные границы значения места положения источника излучения $\ell$ в м для заданных вероятностей		
	0,9	0,955	0,997
Пиковая амплитуда	$0,499 \pm 0,009$	$0,499 \pm 0,011$	$0,499 \pm 0,017$
Центр тяжести площади	$0,559 \pm 0,0085$	$0,559 \pm 0,01$	$0,559 \pm 0,015$
Центр тяжести энергии	$0,545 \pm 0,0088$	$0,545 \pm 0,011$	$0,545 \pm 0,016$

Из полученных результатов видно, что при истинном расположении источника излучения на расстоянии 0,53 м от базового датчика ошибка определения его положения по параметрам основного всплеска ВКФ составляет: при использовании пиковой амплитуды – 5,85%; при использовании центра тяжести по площади – 5,5%; при использовании центра тяжести по энергии – 2,8%.

### Заключение

Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что при регистрации и обработки сигналов акустической эмиссии для определения места положения источника излучения возможно использование двух подходов. Первый из них, основан на обработке наиболее вероятных амплитуд сигналов, регистрируемых несколькими датчиками при известном коэффициенте затухания звука в материале. Второй - на определении временной задержки по положению пиковой амплитуды основного всплеска ВКФ. Однако сложность формы ВКФ и ее основного всплеска приводят к значительным ошибкам в определении места положения источника излучения (течи). Для уменьшения ошибок измерений используют различные способы, направленные на получение статистически устойчивого основного всплеска ВКФ. В тоже время, для точки отсчета временной задержки по основному всплеску ВКФ возможно использовать и другие параметры, которые имеют однозначное математическое определение. К таким параметрам относятся: центр тяжести площади основного всплеска ВКФ и его энергетический центр тяжести. Статистический анализ данных по определению места положения источника тестового излучения с использованием пиковой амплитуды, центра тяжести площади и центра тяжести энергии основного всплеска ВКФ показал, что наименьшая ошибка возникает при использовании центра тяжести по энергии. При этом ошибка уменьшается практически в два раза по отношению к определению временной задержки по пиковой амплитуде и по центру тяжести площади основного всплеска ВКФ.

The outcomes of researches using of acoustic emission are adduced at a fix of through defects position in pipeline, that working under pressure. Is showing, that the definition a dwell of coming a signals from antenna sensors is possible with using a parameters of the basic splash of a mutual correlation function: peak amplitudes, gravity center of the area and gravity center of the energy. The outcomes of statistical data processing are reviewed at simulation source. Is showing, that the least error of a fix position of simulation source arises using the gravity center of energy.

1. Каллакот Р. Диагностика повреждений.-М.: Мир,1989.-512 с.
2. Баранов В.М. Акустические измерения в ядерной энергетике.-М.: Энергоатомиздат, 1990.-320 с.
3. Грешников В.А., Дробот Ю.Б. Акустическая эмиссия. Применение для испытаний материалов и изделий.-М.: Изд-во стандартов, 1976.-272 с.
4. Безпрозванный А.А., Владимирский А.А., Владимирский И.А., Ненюк А.Т. Повышение достоверности поиска утечек трубопроводов тепловых сетей// Энергетика и электрофикация.-№2 (199), 2000.-С.29-32.
5. Акусто-эмиссионная диагностика конструкций/ А.Н.Серьезнов, Л.Н.Степанова, В.В.Муравьев и др.-М.: Радио и связь, 2000.-280 с.
6. Бабак В.П., Хандецкий В.С., Шрюфер Е. Обробка сигналів.-К: Либідь, 1999.-496 с.
7. Гулевский И.В. Применение методов неразрушающего контроля для оценки состояния конструкций планера //Труды ЦАГИ.-№ 2631, 1998.-С.178-181.
8. Кузнецов Н.С. К вопросу контроля механических свойств изделий из стали с помощью акустической эмиссии // Техническая диагностика и неразрушающий контроль.- № 3, 1990.-С.65-71.
9. Владимирский А.А., Владимирский И.А. Оценка некоторых погрешностей корреляционного течеискателя// Зб.накових праць ІПМЕ НАНУ.-Вип.2, 1999.-С.118-126.
10. Владимирский А.А., Владимирский И.А. К формированию модели диагностируемого участка трубопроводной системы для решения задач течеискания // Зб.накових праць ІПМЕ НАНУ.-Вип.7, 2001.-С.66-69.
11. Владимирский А.А., Владимирский И.А., Семенюк Д.Н. Уточнение диагностической модели трубопровода для повышения достоверности течеискания //Акустичний вісник.-Т.8, № 3, 2005.-С.3-16.
12. Бать М.И., Джанелидзе Г.Ю., Кельзон А.С. Теоретическая механика в примерах и задачах. П-М.: Изд-во Наука, 1967.-512 с.
13. Горелик С.С., Расторгуев Л.Н., Скаков Ю.А. Рентгенографический и электронно-оптический анализ.-М.: Металлургия, 1970.-367 с.
14. Розенберг В.Я. Радиотехнические методы измерения параметров процессов и систем.-М.: Изд-во стандартов, 1970.-308 с.
15. Отнес Р., Энексон Л. Анализ временных рядов. Основные методы.-М.: Мир, 1982.-428 с.

УПРАВЛЕНИЕ СОВМЕЩЕНИЕМ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОБЪЕКТА В СЦЕНЕ И ЭТАЛОННОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Бражник Д.А.

**Введение.** Задача оптимального совмещения изображений возникает при решении задач управления летательными аппаратами [1], транспортными средствами [2], робототехническими комплексами [3] и в других задачах, где заранее известны эталонные изображения объектов, которые могут встретиться в сцене. На сегодняшний день общепринято считать наилучшим критерием качества совмещения изображений объекта и эталона взаимную корреляцию между эталоном и объектом. В практических приложениях, где существенно быстрое действие, обычно используется более простая оценка – свертка [4]. Такой подход прост, но весьма требователен к вычислительным ресурсам, что исключает возможность использования простых и недорогих вычислительных систем.

Корреляционный критерий дает хорошее качество оценки, однако он также обладает рядом недостатков – главный из которых – высокие требования к эталонному изображению, т.е. требования равенства масштаба и отсутствия сдвига эталонного изображения и необходимость предварительной нормализации исходного изображения [6].

Однако для нечеткой модели, при использовании корреляции, нет возможности определить качество совмещения, так как невозможно определить причину возникновения ошибки – нарушение условий предъявления или неточность эталонного изображения.

**Задача исследования** – изучение возможности построения простого критерия совмещения модели и объекта, позволяющего оценить локальные отклонения модели от объекта с невысокими вычислительными затратами.

В рамках метода компенсации информационных потоков [5] для двойственной задачи предполагается использование именно корреляционной меры близости,

$$u^* \xrightarrow{\omega=\omega^*} \sup R(\omega, \omega^*(u)) = 1. \tag{1}$$

где  $\omega$  - множество точек изображения,  $\omega^*(u)$  – множество точек эталона,  $u$  – управление.

Однако возможно и использование любой другой оценки близости, если ее сходимость обеспечивает сходимость корреляции.

**Математический аппарат.** Так как компенсация предусматривает генерацию эталонного изображения, рассмотрим генерируемую модель изображения  $\omega^*_i$  описываемую функцией  $f_i$ . Причем реально приемник за счет внешних возмущений получает смещенное и деформированное изображение

$$f_i = \rho_i f_i(A_i \mathbf{x} + \mathbf{x}_0). \tag{2}$$

Здесь  $\rho$  - весовой коэффициент,  $A$  – матрица преобразования и  $\mathbf{x}$  – вектор координат,  $\mathbf{x}_0$  – смещение.

В общем случае сложная модель представляется суммой элементов изображения

$$f_i = \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}). \tag{3}$$

Для реальных условий естественно предположить, что модель не полная – то есть существует некая функция ошибки  $\varphi$ , такая, что

$$f_i = \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}) + \varphi(\mathbf{x}). \tag{4}$$

Естественно, ошибка возникает или из-за возмущений объекта, или из-за грубости модели.

Корреляционный критерий, при всей своей универсальности, достаточно громоздок в вычислительном плане и не дает возможности определить природу ошибки, особенно если ошибка модели не коррелирована с объектом.

Поэтому в работе использован более простой, но более удобный и функциональный критерий

$$d = \max(f - \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}) + \varphi(\mathbf{x})) - \min(f - \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}) + \varphi(\mathbf{x})) \quad (5)$$

Здесь, во-первых, сохраняются координаты функции ошибки и, во-вторых, критерий разбивается на два

$$d_1 = \{ \max f - \min( f - \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}) + \varphi ) \};$$

$$d_2 = \{ \max( f - \sum_{j=1}^k \rho_{ij} f_{ij}(A_{ij} \mathbf{x} + \mathbf{x}_{0j}) + \varphi ) - \max f \}.$$
(6)

При этом  $d_1$  – ошибка, связанная с неполной компенсацией, а  $d_2$  – ошибка, связанная с неточностью модели. Понятно, что возможность использования данного критерия зависит от характера целевой функции. Естественно, что генерируемая в процессе минимизации невязки последовательность управлений тем короче, чем точнее модель соответствует объекту.

$$\{ \mathbf{u}_k \}^* \rightarrow \inf J(\mathbf{u}). \quad (4)$$

**Результаты моделирования.** Не останавливаясь на алгоритме фрагментации, описание которого можно найти в [5], рассмотрим три фрагмента одной сцены, приведенной на рисунке 1а. Рассматривая модель фрагментов 1 и 2 как нечеткие множества, используем функцию принадлежности, приведенную на рисунке 1б.

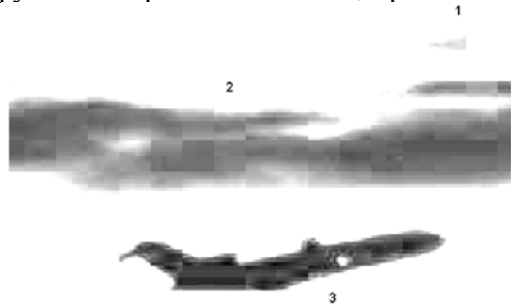


Рис. 1а Исходная сцена

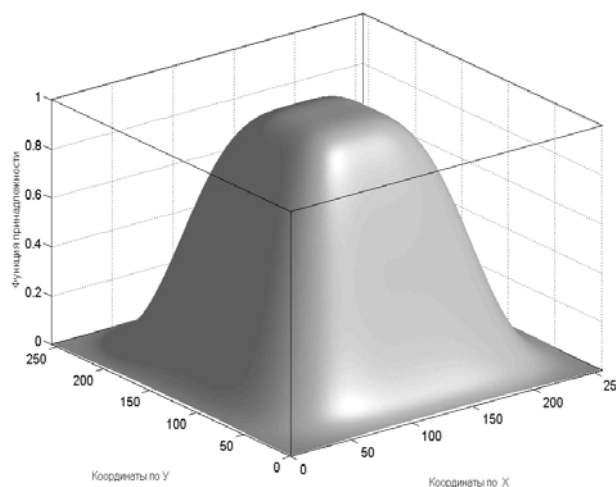
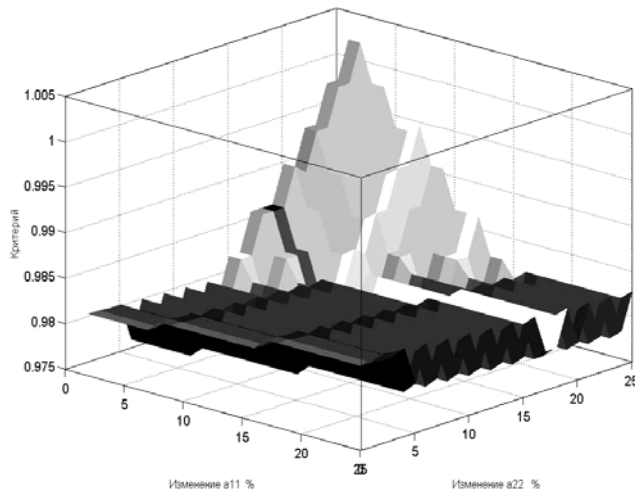


Рис. 1б Используемая функция принадлежности

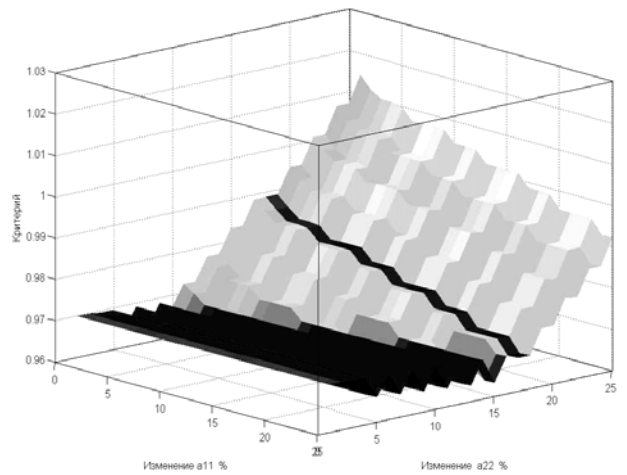
Так как фрагментация уже выполнена, то неопределенность, связанная с координатами объектов сцены уже снята. Однако, даже для плоского изображения, остаются неопределенными еще четыре элемента матрицы  $A$ , весовой коэффициент и собственно вид эталона – выбор гипотезы. Таким образом, необходимо минимизировать критерий по шести переменным.

Рассмотрим изображение функции цели для первого фрагмента (рис. 2):





а) 120 шагов



б) 30 шагов

Рис. 2 Изменение критерия при деформациях растяжения – сжатия для фрагмента 1  
Изрезанность поверхности функции цели вызвана малым разрешением и дискретностью исходного изображения. Как видно из рисунка 2, поверхность функции цели имеет достаточно простую структуру и оптимизация совмещения может поддерживаться простыми процедурами.

Для большего по размерам фрагмента 2 (рис. 1а) поля освещенности до компенсации и после компенсации, при требовании нулевой ошибки модели, приведены на рисунке 3а, б.

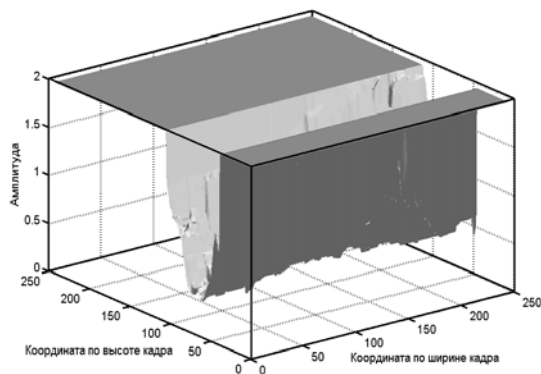


Рис. 3а До компенсации

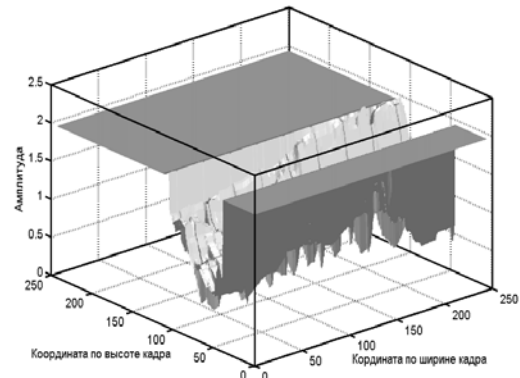


Рис. 3б После компенсации

Полученная в данном случае функция цели, (рисунок 4), значительно меньше подвержена колебательности и также имеет простую структуру.

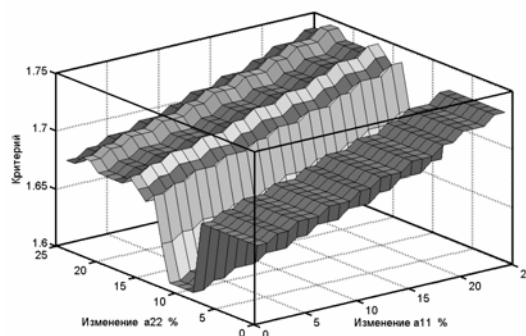


Рис. 4 Вид функции цели для фрагмента 2

Гораздо более сложным является случай компенсации для третьего фрагмента.

В качестве модели в данном случае используем скелетный граф модели объекта со связанной с элементами графа функцией принадлежности (рис. 5а, б). Как видно из рисунка, эталонное изображение представляет собой скелетный граф, на ветви которого «на-

тянута» функция принадлежности, представляющая собой пятно со спадающей к краям яркостью, что приводит к весьма размытому изображению.

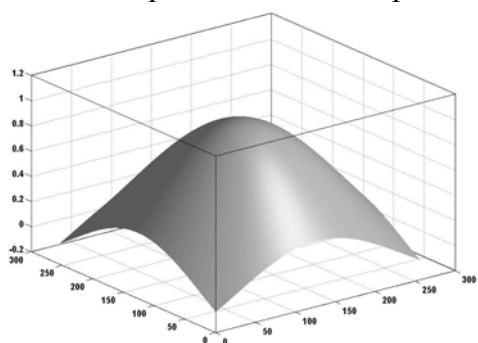


Рис. 5а Вид функции принадлежности



Рис. 5б Вид модели

Процедура совмещения эталона и объекта на изображении в данном случае выполнялась от минимального размера модели на поле фрагмента до возникновения существенной ошибки модели. Как показали эксперименты, корреляционный критерий (график 1 на рис. 6) показывает на очень хорошее совпадение модели и объекта, а критерий максимальных отклонений (график 2 на рис. 6) дает гораздо более осторожную оценку. Т.е., можно сказать, что корреляционный критерий является гораздо более «оптимистичным».

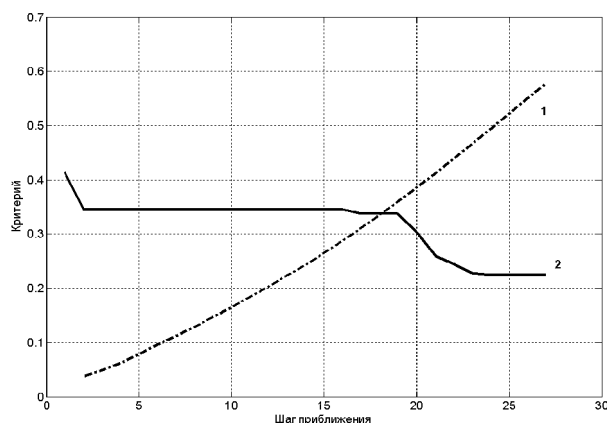


Рис. 6 Графики критериев

Собственно, ответ на вопрос о различном поведении критериев можно получить, анализируя полученную после компенсации поверхность, рисунок 7.

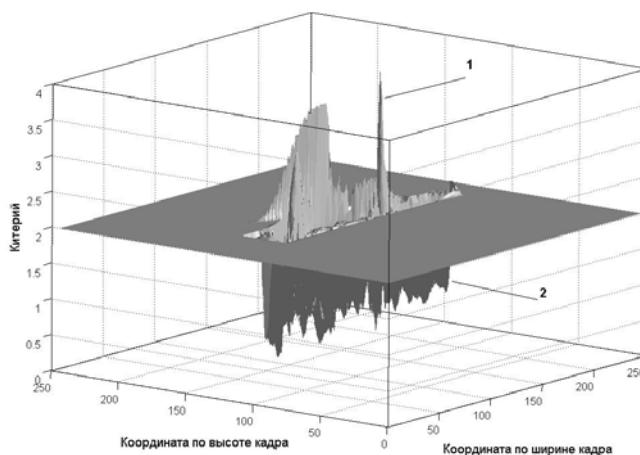


Рис. 7 Результирующая поверхность

Здесь 1 – ошибка модели и 2 – остаточная некомпенсация.

Но, несмотря на малую чувствительность, результат компенсации поля изображения объекта и моделью, создаваемой генератором эталонов, вполне удовлетворительный, см. рисунок 8.



Рис. 8 Совмещение объекта и эталона

Таким образом, после выполнения операций совмещения, система формирует модель всей сцены, рисунки 9а – модель и 9б – исходная сцена.



Рис. 9а Модель сцены



Рис. 9б Исходное изображение

В таблице 1 приведены значения изменения корреляции и изменения критерия максимального отклонения для двух фрагментов сцены. При этом значения критериев для различных фрагментов сцены

Таблица 1.

Значения критериев для различных фрагментов сцены.

Критерий	Номер фрагмента	
	3	2
Изменение корреляции	0,54	-0,1397
Изменение амплитуды	0,08	0,07
Шагов процедуры	25	10

Следовательно, в данной задаче возможно использовать критерий, по своим экстремальным свойствам эквивалентный корреляции. Однако корреляционный критерий не позволяет определить тип ошибки – т.е. мы можем выделить область с расхождениями модели и объекта, но определить природу этих расхождений мы не можем. Поэтому, с целью определения типа ошибки, мы рассматриваем критерий максимального отклонения (6), более критичный к ошибке – на рисунке 7 сразу видны точки некомпенсированные полностью, точки с частичной компенсацией (2) и перекомпенсированные (т.е. модель имеет в этой точке простой максимум) точки (1).

**Выводы:**

1. Для задачи совмещения изображений объекта в сцене и эталонного изображения может быть использован критерий максимального отклонения, дающий хорошие результаты при достаточно высокой скорости сходимости алгоритма.
2. Критерий максимального отклонения по своим свойствам близок к корреляции, однако требует меньших вычислительных затрат, что позволяет удешевить систему распознавания в целом.
3. Показано, что критерий максимального отклонения не только позволяет выделить область с ошибкой, но и позволяет определить природу расхождения – связана ли ошибка с объектом или с эталонным изображением.

The questions of building the maximum deviation criterion, intended for evaluation of quality of superposition of the image and model picture, that one is quick enough and have good sensitivity with potential possibility to separate the mistakes, concerned with model and image, are makes out in the article. Also shown, that this criterion demands less computing abilities from the recognition system, than usual correlated criterion.

1. Рапаков Г.В. Использование средств системы MATLAB в исследованиях по безопасности полетов. Труды Всероссийской научной конференции «Проектирование инженерных и научных приложений в среде MATLAB». М.: ИПУ РАН. 2002. 842 с.: ил.
2. Geometric modeling and computer vision/P.J. Besl. Proc. Of the IEEE, 1988, vol. N8, p. 934-958.
3. St. Gh. Pentiu, Radu Vatavu. Image Processing and Recognition System for a Robot Arm Control. Праці восьмої всеукраїнської міжнародної конференції „Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів” 28 – 31 серпня 2006р., Київ, Україна. с.167.
4. Хорн К.Б.П. Зрение роботов: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 487 с., ил.
5. Бражник Д.А., Фанина Л.А. Использование проективного преобразования при фрагментации изображений сцены. Матеріали науково-практичної конференції „Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій ISDMIT-2006” 15-18 травня 2006р., м. Євпаторія, Україна: Євпаторія, 2006. Том 1, - с.49

## СИНТЕЗ РАДИАЛЬНО-БАЗИСНЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИСТАНЦИОННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ХЛОРОФИЛЛА

Литвиненко В.И.

**Введение.** Непрерывный мониторинг посевов сельскохозяйственных культур, включая получение информации о прохождении всех необходимых этапов той или иной технологии возделывания, дает возможность принимать своевременные меры для их оптимизации, а также обеспечивает защиту растений от стрессовых ситуаций [1]. Что влечет за собой проблему диагностировать состояние различных растительных сообществ и следовательно разработку соответствующих методов диагностики. Одними из таких методов являются дистанционные методы тестирования растительного покрова [2] и связаны в основном с измерениями оптических параметров листьев. Одним из таких направлений являются методы определения содержания хлорофилла посредством определения спектров отражения и люминесценции [3–4]. Содержание хлорофилла в листьях растений является важной характеристикой ее состояния. Установлено [5], что уровень пигментов коррелирует с мощностью фотосинтезирующего аппарата. Воздействие различных стрессов на фотосинтезирующий аппарат, воздействует, в первую очередь на фотосинтезирующий аппарат, что отражается на изменении содержания хлорофилла. Хорошо известно, что спектр отражения листьев растительности в оптическом диапазоне является наиболее информативным относительно содержания хлорофилла, так как он формируется благодаря специфическому спектру самого пигмента. Кроме того, данные спектры являются удачной характеристикой для дистанционных измерений. В связи с этим применение этой характеристики для реализации мониторинга различных типов растительных покровов считается чрезвычайно привлекательной. В настоящее время для вычисления содержания хлорофилла в листьях с различными спектральными коэффициентами отражения существуют формулы вычисления, которые основываются на регрессионных соотношениях и их комбинациях [10]. Фактически они являются весьма эффективными, когда концентрация хлорофилла измеряется в лабораторных условиях, однако проблемы возникают когда необходимо оценить концентрацию хлорофилла для системы “земля – растительность”, в данном случае можно получить, мягко говоря, некорректные результаты. Главной причиной неточностей является влияние отражения от земли. Существует несколько подходов минимизации влияния такого шума путем использования комплексных индексов растительности, которые содержат компоненты для учета влиянием земли [4-5]. На практике необходимо использовать дополнительную информацию, дополнительные параметры системы, такие как листовой индекс и спектральный коэффициент отражения земли. Это условие делает процедуру малоэффективной и кроме того, проблема не решается полностью, вследствие того что отражение от земли меняется, например в зависимости от влажности. Следовательно, в настоящее время является весьма актуальным разработка эффективных методов определения хлорофилла в системе “земля–растительность”.

**Формулировка проблемы.** Применение высокоточной спектроскопии для дистанционного зондирования растительности позволяет получить дополнительные характеристики, коррелирующие с концентрацией хлорофилла. Экспериментально установлено, что положения так называемого “красного края” спектральных кривых и форма этой спектральной области зависит от концентрации пигмента. Исследователями применялись различные характеристики красного края спектральной области (680–800 нм), например положение максимума на графике первой производной спектральной кривой отражения [6] и положения красного края спектра отражения спектра красного края находятся в регрессионной зависимости от содержания хлорофила [1,6,10]. Установлена высокая корреляционная зависимость между отношениями двух максимумов графиков первой произ-

водной и содержанием хлорофилла [4-5]. Кроме того, установлена высокая стойкость данной характеристики к влиянию отражения земли. Недостатком данного подхода является его чувствительность к инструментальным шумам, которые могут существенно повлиять на результаты, влияя на положения максимумов их выраженность и четкость.

Ранее в предыдущих наших работах [9-13] экспериментально было доказано, что для дистанционного определения концентрации хлорофилла в листьях растений на основе данных измерений целесообразно использовать нейронные сети. Было показано, что для нейроматического моделирования при определении концентрации хлорофилла целесообразно использовать первую  $I_1$  (чувствительную к содержанию хлорофилла в листьях) и вторую  $I_2$  (расположенную в тех областях длин волн, где на сигнал отражения влияет как поглощение хлорофилла так и состояние мезоструктуры листа) компоненты первой производной от спектров отражений листьев растений. Однако в соответствии с результатами опубликованными в работе [6] предлагается использовать дополнительный тестовый параметр связанный с содержанием пигмента. Таким параметром является отношение интенсивностей первого и второго максимумов  $I_1/I_2$  кривой первой производной от спектра отражения листьев в области красного края. Это отношение как показатель характеризуется тем, что всегда оказывается большим для растений с более низким содержанием хлорофилла в листьях. Авторы отмечают, что между отношением  $I_1/I_2$  и содержанием хлорофилла экспериментально обнаружена достаточно тесная отрицательная корреляционная связь с коэффициентом корреляции  $-0.78 \pm 0.1$ , достоверным при уровне значимости 0,005, а также получено линейное уравнение регрессии, описывающее связь между этими параметрами в течении всего периода вегетации.

При этом следует отметить, что исследование красного края отражения листьев с помощью приборов высокого спектрального разрешения является новым, перспективным направлением, дальнейшая разработка которого позволит создать тест-системы, пригодные для решения обратных спектрометрических задач и получения дополнительной полезной информации о растительных объектах. Суть проблемы решаемой в данной работе заключается в том, что как показали наши исследования хотя нейронные сети и показали ряд преимуществ при определении содержания хлорофилла, одновременно они ставят ряд дополнительных специфических проблем. Проведенный анализ многослойных нейронных сетей и алгоритмов их обучения позволил выявить ряд недостатков и возникающих проблем :

- Неопределенность в выборе числа слоев и количества нейронных элементов в слое;
- Медленная сходимость градиентного метода с постоянным шагом обучения;
- Сложность выбора подходящей скорости обучения  $\alpha$ . Так как маленькая скорость обучения приводит к скатыванию НС в локальный минимум, а большая скорость обучения может привести к пропуску глобального минимума и сделать процесс обучения расходящимся;
- Невозможность определения точек локального и глобального минимума, так как градиентный метод их не различает;
- Влияние случайной инициализации весовых коэффициентов НС на поиск минимума функции среднеквадратической ошибки.

Большую роль для эффективности обучения сети играет архитектура НС. Показано, что при помощи трехслойной НС можно аппроксимировать любую функцию со сколь угодно заданной точностью. Точность определяется числом нейронов в скрытом слое, но при слишком большой размерности скрытого слоя может наступить явление, называемое перетренировкой сети. Для частичного решения поставленных проблем нами предлагается

информационная технология синтеза радиально-базисной нейронной сети с помощью иммунных алгоритмов.

**Постановка задачи определения содержания хлорофилла.** В соответствии с работой [Николаев ] на основе полученных спектральных данных перед нами ставилась задача на основе спектральных данных  $\{x(\lambda)\}$ ,  $\lambda = [\lambda_{\min}, \dots, \lambda_{\max}]$ , на которые воздействуют сигналы отраженные от поверхности и шумы регистрирующего устройства,  $\{\varepsilon(\lambda)\}$ , с статистическими характеристиками  $E[\varepsilon(\lambda)] = 0$ ,  $E[\varepsilon^2(\lambda)] = \sigma_\varepsilon^2$ , где  $\sigma_\varepsilon^2 \leq \zeta$ ,  $\zeta > 0$  ( $\zeta$  – известная дополнительная конечная величина), необходимо разработать процедуру оценки содержания хлорофилла, которая обеспечивала бы вычисление оценок хлорофилла с высокой точностью в заданном диапазоне значений  $c = [c_{\min}, \dots, c_{\max}]$ .

Таким образом, чтобы создать эффективную процедуру оценки содержания хлорофилла в растительном покрове на основе спектров отражения, которые используют характеристики первой производной, необходимо решить следующую задачу: отобрать характеристики первой производной, которые содержат информацию относительно содержания хлорофилла и разработать вычислительную процедуру для оценки его концентрации в условиях наличия возмущающих влияний на полезный спектральный сигнал. Главная цель, которая ставится в данной работе, является – с помощью алгоритма клонального отбора и иммунной сети найти такую архитектуру радиально – базисной сети и параметры всех ее радиально-базисных функций, которые позволят определять концентрацию хлорофилла и при этом обеспечила бы высокую заданную точность в заданном диапазоне значений  $c = [c_{\min}, \dots, c_{\max}]$ . В качестве входных признаков использовались первую  $I_1$  и вторую  $I_2$  компоненты первой производной, а также отношение этих интенсивностей первого и второго максимумов  $I_1/I_2$  кривой первой производной от спектра отражения листьев в области красного края, в качестве выходной переменной  $y$  взята концентрация хлорофилла мг/дм<sup>3</sup>

**Методика решения задачи.** Нейронная сеть, аппроксимирующая любой пригодной функцией  $F(\mathbf{x}): \mathcal{R}^n \rightarrow \mathcal{R}^m$ , может быть выполнена либо в виде многослойного персептрона, либо в виде радиально-базисной нейронной сети.

Исходя из архитектуры радиально-базисных сетей, можно выделить три типа характерных параметров, которыми можно управлять в процессе обучения сети:

- весовые коэффициенты выходного слоя  $w_{ij}$ ;
- центры  $c_i$  - нелинейные параметры скрытого слоя;
- отклонения (радиусы базисных функций)  $\sigma_i$  - нелинейные параметры скрытого слоя.

Обучение сети, состоящее в определении этих параметров, может сводиться к одному из следующих вариантов:

1. Предварительное задание центров и отклонений и настройка только весов выходного слоя.
2. Путем обучения без учителя определяются центры и отклонения, а для настройки весов выходного слоя используется обучение с учителем.
3. При помощи обучения с учителем настраиваются все параметры радиально-базисной сети.

В данной работе предлагается подход синтеза топологии радиально-базисной нейронной сети с дальнейшей настройкой центров радиально-базисных функций. По аналогии с естественной иммунной системой, молекулы в искусственной иммунной системе могут быть представлены в виде совокупности свойств распознаваемых объектов, выраженной в векторной форме. Математически, обобщенная форма любой молекулы  $m$  в про-

пространстве  $S$  может быть представлена как строка свойств (набор координат) длины  $L$ . Таким образом, строка свойств  $\mathbf{m} = (m_1, m_2, \dots, m_L)$  может рассматриваться как точка в  $L$ -мерном пространстве молекулярных форм  $m \in S^L$ . Эта строка может состоять из атрибутов любого типа, таких как вещественные числа, целые числа, биты или символы. Тип атрибутов обычно зависит от предметной области задачи, которую решает ИИС и играет важную роль при выборе критерия силы взаимодействия между молекулами (строками свойств). Он, также, является определяющим для типа пространства молекулярных форм, в котором функционирует ИИС. Так, например, использование пространства вещественных чисел предполагает наличие строк, представляющих собой вектора вещественных чисел; в целочисленном пространстве строки могут состоять только из целых чисел; Хеммингово пространство содержит строки, состоящие из чисел конечного алфавита длины  $k$ ; и, наконец, в символьном пространстве атрибуты строк могут быть разных типов, но хотя бы один из них должен представлять символ (например «имя», «цвет» и т.д.).

Рассмотрим молекулу антитела, представленную набором координат  $\mathbf{Ab} = (Ab_1, Ab_2, \dots, Ab_L)$  и антиген  $\mathbf{Ag} = (Ag_1, Ag_2, \dots, Ag_L)$ . Отметим, что и антитело и антиген должны иметь одинаковую длину. С точки зрения задачи распознавания, связь между антителами или между антителом и антигеном вычисляется как мера расстояния или мера *аффинности* между соответствующими строками свойств. Мера аффинности производит преобразование взаимосвязи между двумя строками свойств в неотрицательное вещественное число, соответствующее их аффинности или степени соответствия:  $S^L \times S^L \rightarrow \mathbb{R}^+$ . Таким образом, аффинность связи антиген-антитело или антитело-антитело пропорциональна степени комплементарности (расстоянию) между молекулами (строками). Количественно, мера аффинности может выражаться несколькими способами. В случае, когда индивидуумы ИИС представлены строками целых или вещественных чисел, то для вычисления аффинности пользуются Евклидовым (1) или Манхэттенским (2) расстоянием:

$$D = \sqrt{\sum_{i=1}^L (Ab_i - Ag_i)^2} \quad (1)$$

$$D = \sum_{i=1}^L |Ab_i - Ag_i| \quad (2)$$

В данной работе используются два таких алгоритма: алгоритм клонального отбора и алгоритм иммунной сети. Клональный отбор используется для управления взаимодействием между компонентами иммунной системы и внешней средой или антигенами. Модель иммунной сети используется для моделирования иммунных сетей, их структуры, динамики и метадинамики.

Блок-диаграмма алгоритма клонального отбора представлена на рисунке 1.

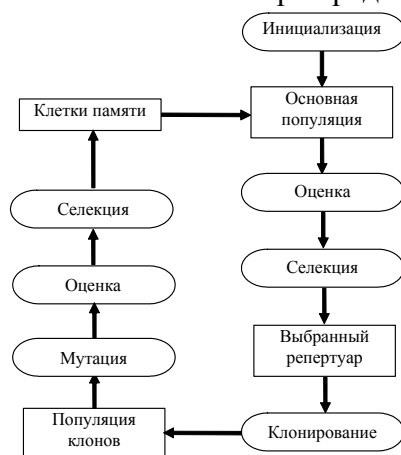


Рис.1 Блок-диаграмма алгоритма клонального отбора



Формально клональный алгоритм можно представить следующим образом:

$$CLONALG = (Ab^0, Ag, L, N, n, \beta, d, \varepsilon), \quad (3)$$

где  $Ab^0$  – исходная популяция антител;  $Ag$  – популяция антигенов;  $N$  – количество антител в популяции;  $L$  – длина рецептора антитела;  $n$  – количество антител, отбираемых для клонирования (с самой высокой аффинностью);  $\beta$  – множительный фактор, регулирующий количество клонов отобранных антител;  $d$  – количество антител, подлежащих замене новыми (т.е. имеющие самую низкую аффинность);  $\varepsilon$  – критерий останова.

Если клональный алгоритм используется для решения задач оптимизации, а не распознавания, то популяция антигенов заменяется функцией, подлежащей оптимизации – целевой функцией ( $f$ ).

Иммунная сеть несколько сложнее алгоритма клонального отбора и математически может быть представлена в виде графа, причем необязательно полносвязного, который состоит из множества узлов – клеток сети (антител) и множества взвешенных ребер, означающих связи между клетками. Значение веса ребра соответствует аффинности связи клеток друг с другом. В иммунных сетях различают два вида аффинности:

- аффинность связи «антиген-антитело» (**Ag-Ab affinity**) – степень различия;
- аффинность связи «антитело-антитело» (**Ab-Ab affinity**) – степень подобия.

Блок-диаграмма алгоритма иммунной сети представлена на рисунке 2.

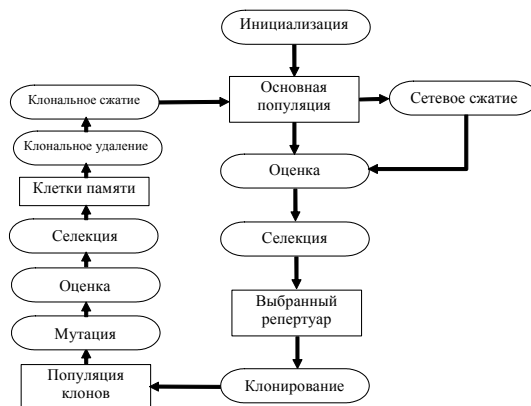


Рис. 2 Блок-диаграмма алгоритма иммунной сети

Формально алгоритм иммунной сети можно представить следующим образом:

$$immNET = (P^l, G^k, l, k, m_{Ab}, \delta, f, I, \tau, AG, AB, S, C, M, n, d, H, R),$$

где  $P^l$  – пространство поиска (пространство форм);  $G^k$  – представление пространства;  $l$  – длина вектора атрибутов;  $k$  – длина рецептора клетки;  $m_{Ab}$  – размер популяции клеток;  $\delta$  – функция экспрессии;  $f$  – функция аффинности;  $I$  – функция инициализации начальной популяции клеток сети;  $\tau$  – условие завершения работы алгоритма;  $AG$  – подмножество антигенов;  $AB$  – популяция клеток сети (антител);  $S$  – оператор селекции;  $C$  – оператор клонирования;  $M$  – оператор мутации;  $n$  – количество лучших клеток, отбираемых для клонирования;  $d$  – количество худших клеток, подлежащих замене новыми;  $H$  – оператор клонального удаления;  $R$  – оператор сжатия сети.

В данной работе алгоритм клонального отбора используется для решения задачи подбора оптимальной архитектуры радиально-базисной нейронной сети (*количество и тип RBF-функций нейронов скрытого слоя*), а также оптимизации весов и параметров радиально-базисных функций. Иммунная сеть используется для идентификации центров радиально-базисных функций, т.е. решает задачи распознавания и кластеризации. Описание особенностей ИИС, предназначенных для решения таких задач приводятся ниже.

В соответствии со спецификой радиально-базисных сетей в целом концептуальна схема использования иммунных систем для синтеза и обучения радиально-базисных сетей выглядит следующим образом:



Рис. 3 Обобщенная схема синтеза и обучения радиально-базисной нейронной сети с помощью алгоритма клонального отбора и алгоритма искусственной иммунной сети

**Специфика архитектуры ИИС для построения и обучения радиально-базисной нейронной сети.** Оптимизация архитектуры и настройка параметров регрессионной нейронной сети сводится к задаче перебора всех возможных наборов управляющих параметров и тестирования нейронной сети на обучающей выборке данных при подстановке каждого из наборов. Задачи такого типа лучше всего решать с применением эвристического подхода. В данной работе эвристический подход реализован в виде искусственной иммунной системы, включающей в себя два алгоритма: алгоритм клонального отбора и алгоритм иммунной сети. Общая структура этих алгоритмов рассмотрена выше. В качестве специфических особенностей алгоритмов иммунной системы, зависящих от конкретной задачи можно выделить кодирование индивидуумов (антител) и реализация оценочной функции.

**Кодирование индивидуумов.** Каждый индивидуум популяции клонального алгоритма представляет собой одно возможное решение задачи. В данном случае задачей для клонального алгоритма является настройка параметров регрессионной нейронной сети. Таким образом, строка индивидуума должна содержать набор всех подлежащих настройке параметров нейронной сети. Такими параметрами являются: центры радиально-базисных функций  $c_i$ , радиусы базисных функций  $\sigma_i$  и веса выходного слоя  $w_{ij}$ . Кроме того, архитектура скрытого слоя нейронной сети (количество нейронов) также должна быть каким-либо образом внесена в состав строки индивидуума. Исходя из состава параметров, был выбран следующий формат строки представления индивидуумов популяции клонального алгоритма (рис. 4)

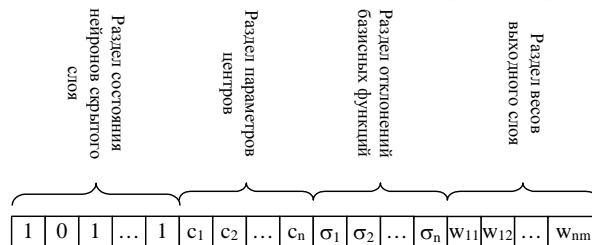


Рис. 4 Формат представления набора параметров нейронной сети в виде строки индивидуума клонального алгоритма

Как видно из рисунка, индивидуум состоит из 4-х разделов. Первый раздел имеет двоичное представление и отвечает за состояние нейронов скрытого слоя. Согласно такому представлению каждый нейрон может находиться в одном из двух состояний: активном или пассивном.

В пассивном состоянии нейрон никак не участвует в работе нейронной сети, т.е. как бы отсутствует. Таким образом в работе реализована возможность автоматического подбора количества скрытых элементов регрессионной нейронной сети. Остальные три раздела представлены вещественными числами. Значимость элементов этих разделов зависит от состояния первого раздела строки, т.е. если какой-либо нейрон находится в пассивном состоянии, то соответствующие ему значения центра, отклонения и весов выходного слоя являются незначимыми и не участвуют при конструировании и тестировании данного варианта нейронной сети.

**Особенности оценочной функции.** Как было отмечено выше, решения, получаемые клональным алгоритмом, представляют собой совокупность параметров настройки регрессионной нейронной сети. Для оценки каждого из таких решений необходимо построить и протестировать соответствующий вариант нейронной сети. Поэтому общий порядок работы оценочной функции следующий:

1. Пользуясь данными раздела состояния нейронов скрытого слоя, построить шаблон нейронной сети. Количество нейронов скрытого слоя такого шаблона будет зависеть от количества активных нейронов (значение поля «1») первого раздела строки индивидуума.

2. Назначить всем элементам полученного шаблона соответствующие значения настроек, взятые из трех оставшихся разделов строки индивидуума. Теперь нейронная сеть полностью определена и можно приступить к ее тестированию.

3. Подставляя на вход нейронной сети значения векторов данных из обучающей выборки, получить ряд выходных значений.

4. Рассчитать ошибку обучения при помощи одного из обобщающих показателей. В данной работе использовалась среднеквадратическая ошибка обучения (RMSE), получаемая по формуле:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2} \quad (4)$$

где  $N$  – количество обучающих примеров;  $y_i$  - значение, полученное на выходе регрессионной нейронной сети;  $\hat{y}_i$  - реальное (табличное) значение аппроксимируемой функции.

5. Преобразовать значение ошибки сети в значение аффинности оцениваемого индивидуума ( $d = affinity(RMSE)$ ). Так как  $RMSE \rightarrow \min$ , а  $d \rightarrow \max$ , то возможно введение некоторой функции преобразования, например такой:

$$d = \frac{1}{1 + RMSE} \quad (5)$$

Теперь аффинность индивидуумов будет принимать значения в интервале от 0 до 1.

За исключением рассмотренных особенностей, остальная часть алгоритма клонального отбора работает без изменений как в стандартном варианте. Псевдокод алгоритма для решения задач оптимизации представлен на рисунке 5.

**Настройка центров радиально-базисных функций.** Поведение регрессионных нейронных сетей во многом зависит от числа и настроек радиально-базисных функций, находящихся в скрытом слое. Наиболее важным параметром базисной функции является ее центр. Одним из способов обучения сетей такого типа является обучение в два этапа. Сначала определяются центры базисных функций, затем настраиваются веса выходного слоя. Традиционными методами определения центров являются: случайный выбор векторов из множества тренировочных данных; применение к тренировочным данным алгоритмов кластеризации (обучение без учителя); некоторые традиционные схемы обучения с учителем. Эксперименты и искусственными иммунными системами показывают, что эти алгоритмы могут успешно применяться как алгоритмы сжатия данных для решения задач кластеризации. В данной работе алгоритм иммунной сети применен для определения центров радиально-базисных функций. В этом алгоритме каждый входной вектор  $x_i$ ,  $i=1, \dots, N$  (где  $N$  – размер обучающей выборки) из тренировочного множества данных соответствует одному антигену из популяции антигенов, а каждый возмож-

ный центр  $z_j$ ,  $j=1,\dots,m$  - антителу (где  $m$  – количество центров, определяющее количество нейронов скрытого слоя нейронной сети).

```

function CLONALG (F, g, N, n1, n2) возвращает множество клеток памяти M
входные данные:
F      целевая функция задачи
g      количество итераций
N      размер популяции
n1   количество антител с высокой аффинностью для клонирования
n2   количество антител с низкой аффинностью для замещения

begin
j ← 0
P ← rand(N, L) // инициализация
while j < g do
  for each p of P do
    aff(p) ← affinity(F, p) // вычисление аффинности
  endFor
  P ← sort(P, aff) // клональная селекция
  P1 ← select(P, n1)
  for i < n1 do
    C ← clone(P1, aff(P1)) // клональное распространение
  endFor
  for every c of C do
    C1 ← hypermut(c, aff(P1)) // созревание аффинности
  endFor
  for each c1 of C1 do
    aff(c1) ← affinity(F, c1)
  endFor
  M1 ← sort(aff(C1))
  M ← select(M1, 1)
  m ← rand(n2, L) // метадинамика
  P ← replace(P, m, n2)
  j ← j + 1
endWhile
return M
end
    
```

Рис. 5 Псевдокод алгоритма клональной селекции для решения задачи оптимизации параметров регрессионной нейронной сети

Основной порядок работы алгоритма следующий:

1. Случайным образом инициализируется множество центров, при этом количество центров и их положение не являются существенными.
2. Принцип клональной селекции, применяемый в алгоритме, управляет отбором кандидатов центров и их изменениями.
3. Согласно теории иммунной сети, индивидуумы, распознающие друг друга удаляются (сжимаются), контролируя тем самым количество кандидатов центров.

Таким образом, принцип клональной селекции отвечает за то, каким образом центры будут представлять обучающее множество данных, в то время как теория иммунной сети предотвращает избыточность данных. Поэтому результирующее количество  $m$  центров  $\{c_j | j = 1, \dots, m\}$  будет гораздо меньше количества векторов обучающей выборки ( $m \ll N$ ).

Пусть множество  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ ,  $x_i \in \mathcal{R}^p$ ,  $i = 1, \dots, N$  - множество входных (обучающих) векторов, использующихся в качестве входов регрессионной нейронной сети. Задача определения центров состоит в получении нового множества  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$ ,  $z_j \in \mathcal{R}^p$ ,  $j = 1, \dots, m$ , где  $m \ll N$  и  $Z$  не обязательно является подмножеством  $X$ . Элементы, составляющие множество  $Z$  являются внутренними образами множества  $X$  и отвечают за представление кластеров обучающей выборки в виде центров нейронной сети. Рисунок 6 демонстрирует пример результата работы алгоритма иммунной сети на гипотетическом множестве данных. Здесь точками представлены элементы обучающей выборки  $X$ , а окружностями – выявленные центры  $Z$ . Причем количество элементов  $Z$  много меньше, чем  $X$ .

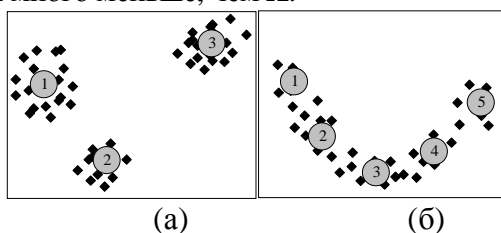


Рис. 6 Иллюстрация результатов работы иммунного алгоритма сжатия данных для определения центров регрессионной нейронной сети

На рисунке 6 каждый элемент  $Z$  представляет группу (кластер) элементов, принадлежащих  $X$ . Центры регрессионной нейронной сети рассматриваются как узлы (клетки) иммунной сети. Обучающий алгоритм строит популяцию клеток памяти, представляющую собой множество центров  $C$ , которое отражает структурную организацию обучающих данных. Пластичность иммунной сети, а, также, расположение, количество кластеров и специфика центров зависят от порогового коэффициента сжатия  $\sigma_s$ . Чем ниже значение  $\sigma_s$ , тем ниже уровень сжатия данных, выше количество кластеров и специфика центров. Кроме того, при уменьшении  $\sigma_s$  количество центров в результирующей сети будет увеличиваться. С другой стороны увеличение порога сжатия лучше обобщает данные, уменьшает количество центров, но при этом ухудшает пластичность результирующей иммунной сети. Во время настройки иммунной сети обычно сначала задаются низким уровнем порога  $\sigma_s$ , а, затем, постепенно увеличивая значение, добиваются необходимого компромисса.

Псевдокод алгоритма иммунной сети, для настройки центров регрессионной нейронной сети представлен на рисунке 7.

```

function RBFcnt_aiNet(X,g,n1,n2,n3,σs,σd) – возвращает множество клеток памяти Z
Входные данные:
X – обучающее множество;
g – количество итераций;
n1 – количество элементов, выбираемых для клонирования;
n2 – количество клонов, выбираемых для популяции клеток памяти;
n3 – количество новых элементов, использующихся для поддержки разнообразия репертуара;
σs – коэффициент сжатия;
σd – коэффициент гибели нестимулируемых клеток;
begin
j←0
P←rand(N, L) // Инициализация
while j<g do
for each x of X do // Антигенное присутствие
for each p of P do // Вычисление аффинности
aff(p)←affinity(x, p)
endFor
P←sort(P, aff) // Клональная селекция
P1←select(P, n1)
for i<n1 do // Клонирование
C←clone(P1, aff(P1))
endFor
for every c of C do // Гипермутация
C1←hypermut(c, aff(P1))
endFor
for each c1 of C1 do
aff(c1)←affinity(c1, s)
endFor
M1←sort(aff(C1))
M2←select(M1, n2)
for each m2 of M2 do
if aff(m2)<σd then // Метадинамика
M2←remove(M2, m2)
endif
clonal_aff(m2)←affinity(M2, m2)
if clonal_aff(m2)<σs then // Клональное сжатие
M2←remove(M2, m2)
endif
endFor
Z←insert(P,M2) // Сетевая реконструкция
endFor
for each z of Z do
aff(z)←affinity(Z, z)
if aff(z)<σs then // Сетевое сжатие
Z←remove(Z, z)
endif
endFor
R←rand(n3, L) // Разнообразие репертуара
P←insert(Z, R)
j←j+1
endWhile
return Z
end
    
```

Рис.7 Псевдокод алгоритма определения центров регрессионной нейронной сети

На этом рисунке:  $P$  – популяция клеток иммунной сети (антитела);  $L$  – длина строки антитела;  $j$  – счетчик итераций.

Функция  $affinity(x, y)$  использует Евклидово расстояние в качестве меры аффинности связи антитело-антиген и антитело-антитело. Функция  $hypermut(x, y)$  – описывает процесс увеличения аффинности посредством мутации антител.

В данной работе этот процесс проходит по схеме смещенной мутации, которая описывается выражением:

$$c_j = c_j - \alpha_j(c_j - x_i), \quad \forall j \quad (6)$$

где  $c_j$  - j-й элемент популяции клонов;  $\alpha$  - уровень мутации, который устанавливается в соответствии с аффинностью связи  $x_i - z_j$ , чем больше аффинность, тем меньше значение  $\alpha$ .

Функция возвращает множество клеток памяти, представленных в виде векторов той же размерности что и обучающее множество данных, которые выступают в роли центров сети. Количество центров определяется самой иммунной сетью в процессе обучения. Алгоритм останавливается по достижению определенного числа поколений.

**Экспериментальные исследования.** Подаваемый на вход сети временной ряд был преобразован (нормирован) по формуле :

$$p = \frac{(x - x_{\min})(b - a)}{(x_{\max} - x_{\min})} + a \quad (7)$$

где  $[a, b]$  – диапазон приемлемых входных сигналов;  $[x_{\min}, x_{\max}]$  – диапазон изменения значений входной переменной  $x$ ;  $p$  – преобразованный входной сигнал подаваемый на вход нейронной сети

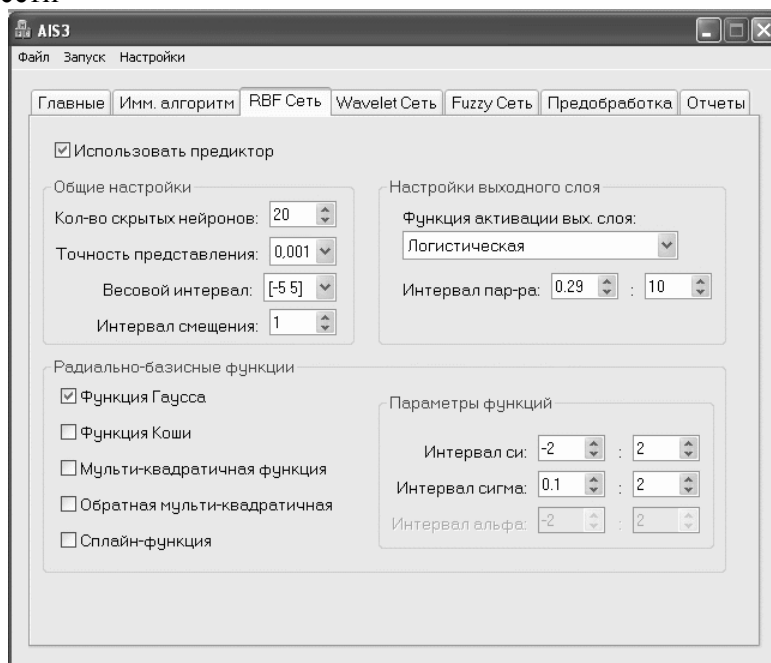


Рис. 8 Панель настройки синтеза радиально-базисной сети

В качестве радиально-базисных функции активации внутреннего слоя были выбраны:

Таблица 1

Используемые функции внутреннего слоя синтезируемых РБФ-сетей

Гауссова функция	Мульти-квадратическая функция	Обратная мульти-квадратическая функция	Сплайн-функция	Функция Коши
$f(x) = \exp\left\{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right\}$	$f(x) = \left(\frac{(x-c)^2}{\sigma^2} + a^2\right)^{\frac{1}{2}}$	$f(x) = \left(\frac{(x-c)^2}{\sigma^2} + a^2\right)^{-\frac{1}{2}}$	$f(x) = x^2 \log(x)$	$f(x) = (1+x)^{-1}$

В качестве функций активизации выходного слоя использовались логистическая и линейная функция активации:

Таблица 2

Используемые в выходном слое функции активации	
Логистическая функция активации	Линейная функция активации
$f_{\log}(Z) = \frac{1}{1 + e^{-KZ}}$	$f(Z) = Kz,$ $K = const$

Сравнительные исследования проводились для максимального значения 5,10,15,20 нейронов внутреннего слоя, отдельно для логистической и линейной функции активации. Оценка качества прогноза оценивалась с помощью среднеквадратической ошибки (4) рис.9.:

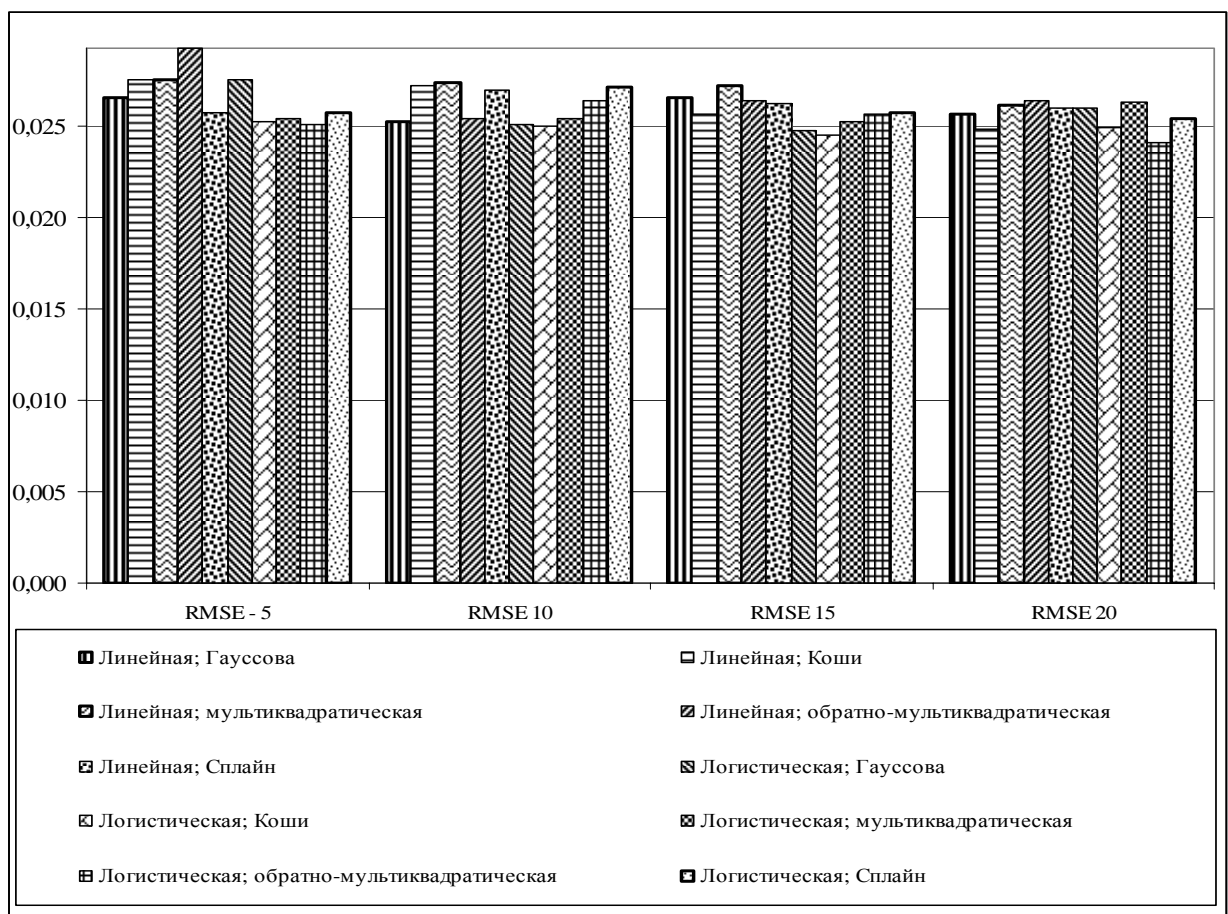


Рис. 9 Оценка качества прогноза для линейной и логистической функции активации при максимальном количестве во внутреннем слое 5,10,15,20 нейронов

Качество каждой полученной модели определялось по качеству остатков  $e = y_{\text{фактическое}} - y_{\text{вычисленное}}$ . Остатки оценивались с помощью статистик Дарбина-Уотсона (Durbin-Watson) по формуле  $DW = 2 - 2\rho$ , где  $\rho$  – коэффициент корреляции между значениями случайной переменной  $\varepsilon(k) \approx e(k)$ . Этот параметр позволяет определить степень коррелированности ошибок модели. При полном отсутствии корреляции между ошибками  $DW = 2$ , наибольшее принятое значение данного параметра.

Таблица 3

Значение статистик Дарбина-Уотсона при оценке остатков прогнозов синтезируемых РБФ-сетей

Функция активации:	Тип Радиально-базисной функции:	5 Нейронов во внутреннем слое	10 Нейронов во внутреннем слое	15 Нейронов во внутреннем слое	20 Нейронов во внутреннем слое
Линейная	Гауссова	1,72652	1,8252112	1,8265111	2,0099
Линейная	Коши	1,69213	1,89632	1,8632	1,98998
Линейная	Мультикватратичная	1,59952	1,78915	1,6987	1,99123
Линейная	Обратно-мультикватратичная	1,59999	1,7854	1,99596	1,98413
Линейная	Сплайн	1,59870	1,6984	1,9841	1,99854
Логистическая	Гауссова	1,71110	1,7423	1,99543	2,0046
Логистическая	Коши	1,89521	1,89999	1,9101	2,0013
Логистическая	Мультикватратичная	1,88980	1,8999	1,9519	2,00001
Логистическая	Обратно-мультикватратичная	1,74990	1,9785	1,9687	2,01004
Логистическая	Сплайн	1,81998	1,98654	1,96987	2,09145

**Выводы.** Таким образом, на примере решения задачи дистанционного определения концентрации хлорофилла продемонстрирована эффективность предлагаемой авторами методики синтеза топологии сети с одновременной настройкой параметров радиально-базисных функций сети с помощью алгоритмов клонального отбора и иммунной сети. Алгоритм показал высокую точность прогноза. Проведенный анализ остатков показывает высокую адекватность получаемых моделей. Эксперименты показывают, что с увеличением максимально допустимого количества нейронов увеличивается адекватность модели нейронной сети и точность прогноза.

In article questions of synthesis of a RBF neural network by means of algorithms clonal selection and an immune network for the decision of a problem of remote definition of concentration of a chlorophyll are considered. Experimental researches of use of various types of radial-basis functions and functions of activation are lead. It is shown, that the increase in a maximum quantity of admissible functions conducts to increase of accuracy and adequacy of synthesized model of a neural network.

1. Horler D.N.H., Dokrey M., Barber J. The red edge of plant leaf reflection // Int. J. Rem. Sens. – 1983. – №4. – P. 273–288.
2. Kochubey S.M., Kobets N.I., Shadchina T.M.. The quantitative analysis of shape of spectral reflectance curves of plant leaves as a way for testing their status // Physiology and biochemistry of cultivated plants. – 1988. – Vol. 20. – P. 535–539.



3. Kochubey S.M. Comparative analysis of information power of multispectral imaging and high-resolution spectrometry in the remote sensing of vegetation cover // Space Sciences and Technology. – 1999. – №5. – P. 41–48.
4. Rogers A, Prugel-Bennett A. Genetic Drift in Genetic Algorithm Selection Schemes // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. – 1999. – Vol. 3, №4. – P. 298–303.
5. Кочубей С.М., Кобец Н.И., Шадчина Т.М. Спектральные свойства растений как базис для дистанционных методов диагностики. – Киев: Наукова думка, 1990. – 260с.
6. Руденко О.Г., Бодянский Е.В. Основы теории искусственных иммунных сетей. – Харьков: ТЕЛЕТЕХ, 2002. 317 с.
7. Литвиненко В.И., Фелелов А.А., Горавский С.П. Объектно-ориентированная реализация алгоритма клональной селекции // Радиоелектроніка Інформатика. Управління. – Запорожье, 2003. №1(9) с.110-119
8. Дудник О.В., Бідюк П.І. Застосування радіальних базисних функцій у нейронних мережах для прогнозування економічних показників // Проблеми керування й інформатики. – 2003. – №2. – с.126-133
9. Бідюк П.І., Баклан І.В., Литвиненко В.І., Митник О.В. Оцінювання хлорофілу в рослинності на основі спектрального аналізу // Стан і перспективи новітніх наково-освітніх комп'ютерних технологій: Матеріали науково-практичної конференції. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2003. – с.62-65.
10. Бідюк П.І., Литвиненко В.І., Митник О.Ю. Порівняльний аналіз двох методів дистанційного оцінювання стану рослинності // Інформаційні технології і системи Том 7, число 1, 2004 р. с.108-115.
11. Литвиненко В.І., Бідюк П.І. застосування нейронних мереж для рішення задачі дистанційного визначення концентрації хлорофілу в листах рослин // Наукові праці: Науково-методичний журнал. Т.35. Вип.22. Комп'ютерні технології. Системний аналіз. Моделювання. – Миколаїв: Вид-во МДГУ ім. П.Могили, 2004 р. с.116-126.
12. Литвиненко В.И., Бидюк П.И., Баклан И.В. Применение искусственной иммунной системы применяющей принципы клонального отбора для оценки содержания хлорофилла на основе спектрального анализа // 11-а міжнародна конференція по автоматичному управлінню, м.Київ, 27-30 вересня 2004 року том третій, київ 2004, с.33
13. Bidyuk P.I, Litvinenko V.I., Ponomarenko S.O. A NOVEL APPROACH TO REMOTE SENSING OF VEGETATION // Системні дослідження та інформаційні технології, 2005, №1 с.119-126

## СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ НА БАЗЕ НЕЧЕТКОГО НЕЙРОННОГО КЛАССИФИКАТОРА

Полторак В.П., Дорогой Я.Ю.

### Введение в проблему

Теория нечетких множеств оперирует качественными понятиями, что характерно для человека, вместе с тем она дает им количественную оценку, что характерно для ЭВМ. Таким образом, в ней объединяются достоинства человеческого оперирования знаниями и вычислительная мощность ЭВМ. Нечеткая логика, которая служит основой для реализации методов нечеткого управления, более естественно описывает характер человеческого мышления и ход его рассуждений, чем традиционные формальнологические системы. Именно поэтому использование математических средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности. Однако при всем своем потенциале теория нечетких множеств не была способна решать практические задачи, а существовала действительно всего лишь как теория. Ситуация изменилась в последние 5-10 лет и это связано с появлением прикладных реализаций для решения интеллектуальных задач с использованием теории нечетких множеств [1].

В статье [2] основоположник теории нечетких множеств Лотфи Заде отмечает тот факт, что появились системы, способные решать такие задачи, как распознавание образов, распознавание речи, распознавание рукописных символов, распознавание голоса, т.е. те задачи, решение которых с помощью компьютерной техники до недавнего времени считалось научной фикцией. На сегодняшний день интеллектуальные компьютерные системы способны идентифицировать отпечатки пальцев, лицевые характеристики, геометрию руки и т.п.

Следует также отметить, что при решении задач с использованием аппарата нечеткой логики аксиомы вводятся по ходу решения задачи и формируются, главным образом, из эмпирических знаний человека.

### 1. Анализ проблемы и существующих решений

Задача классификации данных (основная задача теории распознавания) в настоящее время является одной из наиболее актуальных сфер приложения систем искусственного интеллекта. Для ее решения было предложено различных подходов и направлений, среди которых наибольшую популярность приобрели решения, сочетающие нейронные сети и нечеткие системы логического вывода. Одним из таких решений является система NEFCLASS (NEuro-Fuzzy CLASSifier) [3, 4, 5], основанная на обобщенной архитектуре нечеткого персептрона. Данная система обладает рядом несомненных достоинств, выделяющих ее среди остальных. Среди наиболее важных следует упомянуть простоту реализации, высокую скорость работы алгоритмов обучения, а также, что является наиболее важным, высокую точность классификации данных - на уровне лучших систем в данной области. Вместе с тем базовая система NEFCLASS имеет ряд недостатков - используемые формулы для обучения параметров носят эмпирический характер, кроме того, неясно, как выбирать в алгоритме обучения параметр скорости обучения  $a$ . Цель данной работы – создать альтернативную модель нечеткой нейронной системы.

### 2. Предлагаемый подход

#### 2.1 Нечеткая фильтрация изображения

Система, выполняющая нечеткую обработку, обладает двумя основными особенностями: во-первых, нечеткий фильтр вычисляет нечеткое приращение таким образом, чтобы оно было менее чувствительно к локальным изменениям структур изображения, таким

как границы объектов; во-вторых, функция принадлежности формируется так, чтобы адаптироваться к шумовым составляющим для выполнения нечеткого сглаживания (предполагается, что шум равномерно распределен по всему изображению). Основная идея нечеткого фильтра состоит в следующем: значение пикселя определяется в зависимости от значений окружающих соседних пикселей. Фильтр должен обеспечивать высокую степень различения между шумом и структурными объектами изображения. Чтобы решить данную задачу для каждого пикселя вычисляется оценочная степень, которая характеризует то, насколько велико или мало приращение в определенном направлении. Конструирование нечеткого фильтра базируется на следующем наблюдении: *малое нечеткое приращение соответствует шуму, большое нечеткое приращение - границам объектов*. На рис.1 изображен пиксель (x,y), а также его соседние пиксели NW, N, NE, E, SE, S, SW, W, что соответствует участку изображения размерностью 3x3 пикселя.

137	94	30	NW	N	NE
72	15	47	W	(x,y)	E
254	8	92	SW	S	SE

Рис. 1 Часть участка изображения

Простое приращение центрального пикселя (x,y) в направлении D(D ∈ {NW,N,NE,E,SE,S,SW,W}) определяется как разность между пикселем с координатами (x,y) и одним из соседних пикселей в направлении D. Значение приращения обозначается ∇<sub>D</sub>(x,y), например:

$$\nabla_N(x,y) = I(x,y-1) - I(x,y) \quad (1)$$

$$\nabla_{SW}(x,y) = I(x-1,y+1) - I(x,y) \quad (2)$$

В основу нечеткого приращения положено следующее наблюдение: если мысленно расположить границу объекта вдоль направления SW-NE через пиксель (x,y), то значение приращения ∇<sub>NW</sub>(x,y) будет велико, но также будет велико и значение приращений соседних пикселей, которые перпендикулярны направлению расположения границы объекта, т.е. ∇<sub>NW</sub>(x-1,y+1) и ∇<sub>NW</sub>(x+1,y-1). Идея состоит в том, что *если два значения приращений из трех малые, то можно предположить, что в рассматриваемом направлении отсутствуют границы объектов*. Таким образом, чтобы определить нечеткое приращение, нужно рассмотреть его качественное понятие *малое*. Этому понятию в рамках теории нечетких множеств соответствует нечеткое множество *малое*. Функция принадлежности  $m_k(u)$  понятия *малое* может определяться:

$$m_k(u) = \begin{cases} 1 - \frac{|u|}{k}, & 0 \leq |u| \leq k \\ 0, & |u| > k \end{cases} \quad (3)$$

где k - адаптивный параметр. График выражения построен на рис.2.а.

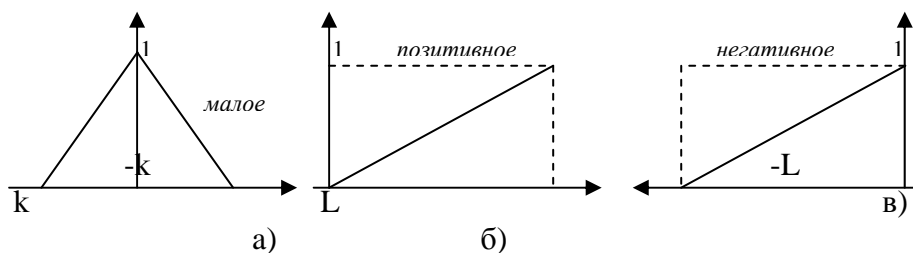


Рис. 2 Функции принадлежности качественных понятий:

а) малое;

б) позитивное;

в) негативное.

Значение нечеткого приращения для пикселя в направлении  $NW$  вычисляется при помощи следующих правил:

$$\begin{aligned} & \text{if } (\nabla_{NW}(x,y) \text{ малое}) \text{ and } (\nabla_{NW}(x-1,y+1)) \text{ малое} \\ & \text{or } (\nabla_{NW}(x,y) \text{ малое}) \text{ and } (\nabla_{NW}(x+1,y-1) \text{ малое}) \\ & \text{or } (\nabla_{NW}(x-1,y+1) \text{ малое}) \text{ and } (\nabla_{NW}(x+1,y-1) \text{ малое}) \\ & \text{then } \nabla^F NW (x,y) \text{ малое} \end{aligned} \quad (4)$$

Восемь таких нечетких правил применяются для каждого из направлений. Как уже упоминалось ранее, для того, чтобы выполнить нечеткую фильтрацию изображения необходимо устранить шумовые составляющие пикселей путем модификации значений пикселей, поэтому обозначим модификационный параметр  $difX$ . Для вычисления значения  $difX$  используется пара нечетких правил для каждого направления. Сущность этих правил заключается в следующем: если предполагается отсутствие границ объекта в определенном направлении, то четкое значение приращения в этом направлении может быть использовано для вычисления модификационного значения  $difX$ . Следовательно, первая часть функционирования алгоритма фильтрации изображений - выявление границ структурных объектов, может быть реализована в виде нечеткого приращения, вторая часть алгоритма должна быть реализована в виде схемы, которая способна различать *позитивное* и *негативное* значение для нечеткого приращения:

$$\begin{aligned} \lambda_{NW}^+ : & \text{if } (\nabla^F NW (x,y) \text{ малое}) \text{ and } (\nabla_{NW}(x,y) \text{ позитивное}) \\ & \text{then } c - \text{позитивное} \\ \lambda_{NW}^- : & \text{if } (\nabla^F NW (x,y) \text{ малое}) \text{ and } (\nabla_{NW}(x,y) \text{ негативное}) \\ & \text{then } c - \text{негативное} \end{aligned} \quad (5)$$

Для описания понятий *негативное* и *позитивное* также используются нечеткие множества с функциями принадлежности (рис.2в и 2б).

Последний шаг - дефаззификация результата: необходимо определить модификационное значение  $difX$ , которое будет добавлено к текущему значению пикселя:

$$\Delta = \frac{L}{8} \sum_{D \in dir} (\lambda_D^+ - \lambda_D^-) \quad (6)$$

где  $D$  - обозначает направления,  $L$  - количество градаций серого.

Итак, рассмотрен первый этап, который должна выполнять система распознавания образов. Стоит заметить, что этот этап является очень важным, потому как во многом именно от качества преобразованного изображения зависит стабильная работы системы в целом. Следующий этап связан с сегментацией и выделением контуров объектов. Цель этапа - нахождение объекта на изображении.

## 2.2 Сегментация и выделение контуров объектов

Рассматриваемая нечеткая нейросистема сегментации изображения в работе [6] является самообучаемой. Системы, выполняющие нечеткую сегментацию (кластеризацию) обладают одним существенным недостатком: количество кластеров, как правило, задается человеком.

Описываемая система состоит из многослойного персептрона, который выполняет сегментацию изображения путем выделения адаптивных порогов, используя нечеткие метки [6]. Выход сети описывается как нечеткое множество, а нечеткая энтропия - как функция ошибки процесса сегментации.

Процесс сегментации - это процесс, при котором происходит разбиение изображения на составляющие объекты. При этом обычно используется следующее *формальное определение*: Пусть  $F$  - это обозначение сетки всех пикселей изображения, т.е. набор всех пар:  $F_{M \times N} = \{(i,j)\}: i = 1,2, \dots, N; j = 1,2, \dots, M$ . При этом  $\bigcup_{i=1}^n F_i = F, F_i \cap F_j = 0, i \neq j$ .

Фаззификация входного изображения выполняется с использованием значений пикселей. Так изображение в шкале серого может рассматриваться как нечеткое разделение на определенные наборы или классы качественных понятий, как показано на рис.3.

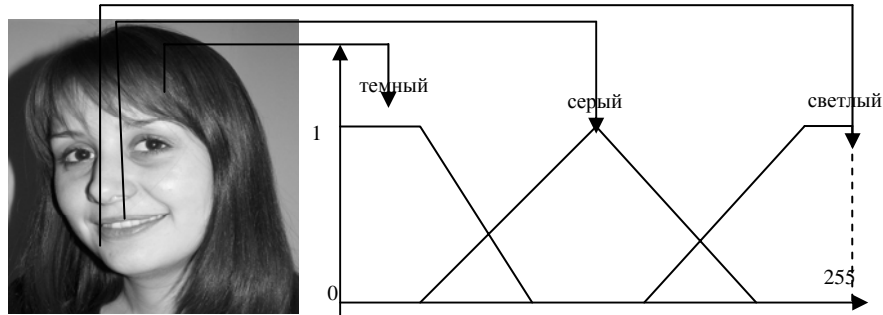


Рис. 3 Функции принадлежности, базируемые на пиксельных значениях

Как уже отмечалось, система сегментации состоит из многослойного персептрона, который выполняет адаптивную многоуровневую сегментацию, используя метки, полученные с помощью метода нечеткой кластеризации. Используется обучение без учителя, т.е. сеть учиться находить признаки классового обобщения во входной информации. Выход нейронной сети описывается нечетким распределением, в то время как нечеткая энтропия выступает в качестве меры ошибки. Описание рационально рассматривать с позиции этапов функционирования системы:

- *формирование гистограммы входного изображения.* Данный этап выполняет подсчет количества пикселей с определенными интенсивностями.

- *применение FCM алгоритма.* Используется для нахождения нечетких меток [7].

- *кластерная валидация.* Здесь основным элементом выступает самоорганизующая нейронная сеть. На вход нейронной сети поступает нормализованная информация в диапазоне [0,1], которая пропорциональна величине интенсивности пикселя. Выходы каждого нейрона имеют значение в диапазоне [0,1]. При обучении на каждой итерации вычисляется ошибка, которая используется для обновления весов. Обучение продолжается до тех пор, пока не будет достигнута минимальная ошибка, или не будет достигнута максимальная итерация обучения. Выходом системы на данном этапе будет набор сегментированных изображений, т.е. сегменты изображения лица (для нас важным сегментом является только сегмент глаз).

- *определение функции ошибки.* Цель этого этапа - обеспечить определение целевой функции ошибки. В начале происходит фаззификация входного изображения, а затем функция ошибки вычисляется путем определения распределения уровня каждого серого оттенка по отношению к нечеткой энтропии.

- *адаптивное выделение порогов.* Этот этап состоит из самой системы выделения порогов, блока вычисления нечеткой энтропии, а также алгоритма обучения/корректировки. Адаптивное выделение порогов основано на самоорганизующейся нейронной сети. Сеть состоит из входного слоя, скрытого и выходного слоев. Каждый слой состоит из  $M \times N$  нейронов, каждый нейрон соответствует пикселю изображения, причем каждый нейрон слоя соединен только с соответствующим нейроном предыдущего слоя, а также с нейронами со степенью соседства  $d$ . Между нейронами одного и того же слоя связь отсутствует. Веса нейронной сети не могут быть инициализированы случайным числом, все они устанавливаются в 1. Для того, чтобы обеспечить более двух стабильных состояний на выходе нейрона разработана специальная функция активации. Эта функция состоит из набора сигмоподобных функций с множественными уровнями. Мульти-сигмоида образуется путем суперпозиций сдвинутых сигмоидальных функций. Она выражается следующим образом:

$$f(x) = \sum_k \left( \frac{y_k - y_{k-1}}{1 + e^{-(x - \theta_k) / \theta_0}} + y_{k-1} \right) \cdot [u(x - y_{k-1} \cdot d^a) - u(x - y_k \cdot d^a)], \quad (7)$$

где  $u$  – шаговая функция,  $\theta_k$  – пороги,  $y_k$  – целевой уровень каждой сигмоиды,  $\theta_0$  – параметр крутизны,  $d$  – степень соседства,  $a$  – параметр активности соседства. Пороги и целевые величины выводятся из функции ошибки. Так как диапазон значений состояния нейронов входного слоя зависит от количества нейронов последующего слоя, то значения порогов адаптированы таким образом, чтобы отображать эту зависимость. Функция ошибки, обозначенная на первом этапе, вычисляется для определения значения выхода на каждой эпохе обучения.

- *дефаззификация.* Нейронная сеть работает с интенсивностями пикселей, а не с нечеткими значениями функции принадлежности, как это следовало бы понимать из описания нейронной сети. Другими словами сеть не изменяет значения нечеткой принадлежности пикселей для того, чтобы уменьшить ошибку, а вместо этого она отображает первоначальные значения пикселей на такие значения, которые уменьшают среднее количество нечеткости в соответствии с первоначальным распределением. Таким образом, выход нейронной сети первоначально рассматривается в терминах серого цвета, который далее преобразуется в нечеткость для определения ошибки. Информация о значениях принадлежности пикселей может быть полезна в дальнейшем в зависимости от назначения приложения.

### 2.3 Нечеткая классификация

В работе [8] представлен новый метод нечеткого распознавания 2-D объектов. Предполагается, что распознаваемый объект корректно позиционирован по отношению к координатным осям, т.е. прошел нормализацию.

Задача распознавания может быть рассмотрена так: предположим, что существует проблема распознавания  $C$  - классов объектов в 2-D пространстве. Каждый класс состоит из экземпляров, которые представляют этот класс. В начале необходимо описать экземпляры класса в виде нечеткого представления. Затем для каждого класса  $c$ ,  $c = 1 \dots C$  строится нечеткая модель класса  $c$ . Когда неизвестный объект (человек)  $u$  должен быть распознан, то сравнивается нечеткое представление  $u$  с каждой нечеткой моделью  $c$  путем определения меры схожести. Неизвестный объект считается распознанным в том случае, когда он принадлежит классу  $c$  наивысшей мерой схожести. Для каждого экземпляра объекта  $i$  определяется ограничивающая маска (например, минимальный прямоугольник или овал), которая параллельна координатным осям и содержит экземпляр  $i$ , что обеспечивает нормализацию. Пусть горизонтальное и вертикальное пространства обозначаются горизонтальным и вертикальным измерениями ограничивающей маски, содержащей экземпляр  $i$  соответственно. Экземпляры объекта класса моделируются путем выполнения следующих шагов:

- 1) нечеткое разделение горизонтального и вертикального пространств. Деление горизонтального и вертикального пространства на  $T$  и  $K$  интервалов ( $T \neq K$ ) выполняется с помощью генетических алгоритмов. Значения  $T$  и  $K$ , а также размер интервалов оптимизируются таким образом, чтобы выделить те регионы объекта, которые наиболее важны для нечеткого моделирования этого же объекта. Для обоих пространств строится функция принадлежности треугольной формы для каждого интервального экстремума, который является модальным значением нечеткого множества (т.е. значение функции принадлежности в данной точке равняется единице). Каждая функция принадлежности охватывает два соседних интервала, исключением лишь являются первый и последний интервал каждого пространства, для которых функция принадлежности сугубо своя. Метка назначается для каждого нечеткого множества. Распределение точки объекта  $p = (h_p, v_p)$ , используемое для конструктивной модели объекта, обладает тем большим значением, чем ближе координата  $h_p$  к модальному значению нечеткого множества. Следовательно, модальные значения должны выбираться таким образом, чтобы подчеркивать важные величины точек объекта, которые определяются на основании близости координат этих точек к модальным значениям.

Поэтому количество и расположение модальных значений должно быть оптимизировано так, чтобы они действительно отображали ключевые характеристики объекта.

В офтольмогеометрическом методе [9] используется 8 характеристических точек.

Для нечеткой модели значение функции принадлежности в этих точках равна 1 (см. рис. 4).

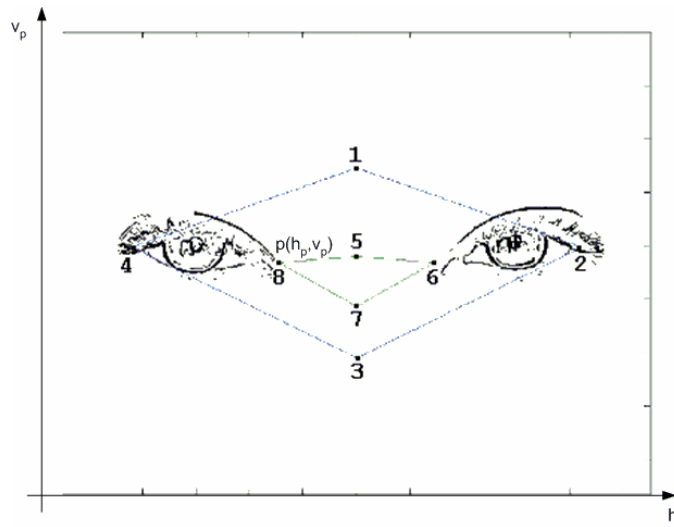


Рис. 4 Определение нечетких меток для офтольмогеометрического подхода

2) нечеткое представление. Для каждого нечеткого множества  $V_k, k = 1...K+1$  ассоциируется *горизонтальное значение важности*  $hv_{i,t,k}$  с каждым регионом  $R_{t,k}, t = 1...T+1$ :

$$hv_{i,t,k} = \frac{\sum_{p \in P_{i,k}} \mu_{H_t}(h_p) \mu_{V_k}(v_p)}{\sum_{p \in P_{i,k}} \mu_{V_k}(v_p)}, \quad (8)$$

где  $P_{i,k}$  - это набор точек экземпляра  $i$  объекта, который содержится в  $R_{t,k}$ ,  $h_p$  и  $v_p$  - горизонтальная и вертикальная координаты  $p$ -ой точки,  $\mu_{H_t}$  и  $\mu_{V_k}$  - треугольные функции принадлежности. Рациональное зерно для этого вычисления состоит в том, что распределение  $hv_{i,t,k}$  точки, близкой к модальному значению горизонтального и вертикального пространств должно быть больше, чем распределение точки с меньшей степенью принадлежности. Горизонтальное значение важности  $hv_{i,t,k}$  лежит в интервале  $[0,1]$ . Точно также для каждого нечеткого множества  $H_t, t = 1...T+1$ , мы ассоциируем *вертикальное значение важности*  $vv_{i,t,k}$  с каждым регионом  $R_{t,k}, k = 1... K+1$ :

$$vv_{i,t,k} = \frac{\sum_{p \in P_{i,k}} \mu_{H_t}(h_p) \mu_{V_k}(v_p)}{\sum_{p \in P_{i,k}} \mu_{H_t}(h_p)}, \quad (9)$$

*Вертикальное значение важности*  $vv_{i,t,k}$  лежит в интервале  $[0,1]$ .

Для каждого нечеткого множества  $V_k$  определяется нечеткое множество  $X_{i,k} = \{hv_{i,1,k}/H_1 + \dots + hv_{i,T+1,k}/H_{T+1}\}$  в пространстве меток  $H_t$ . Горизонтальное значение важности  $hv_{i,t,k}$  является степенью принадлежности к этому пространству. Аналогично для каждого нечеткого множества  $H_t$  определяется нечеткое множество  $Y_{i,k} = \{vv_{i,1,k}/H_1 + \dots + vv_{i,T+1,k}/H_{T+1}\}$  в пространстве меток  $V_k$ . Вертикальное значение важности  $vv_{i,t,k}$  является степенью принадлежности к этому пространству. Нечеткое представление экземпляра объекта выражается четким множеством  $I_i = \{HI_i, VI_i\}$ , где четкие множества  $HI_i = \{X_{i,1}, \dots, X_{i,K+1}\}$  и  $VI_i = \{Y_{i,1}, \dots, Y_{i,T+1}\}$  являются горизонтальным и вертикальным нечетким представлением экземпляра. Для каждого класса  $c, c = 1...C$  строится нечеткая модель, называемая нечетким представлением класса. Нечеткое представление класса формируется из набора экземпляров класса (обучающего набора). Размер пространства объекта выбирается так, чтобы он соответствовал минимальной ограничивающей маске, как это следует из вышеизложенной информации. Горизонтальное и вертикальное пространства всех экземпляров делятся на  $T$  и  $K$  интервалов. Внутри каждого пространства интервалы могут иметь различный размер. Оптимальное количество и расположение интервальных экстре-

мумов в горизонтальном и вертикальном пространствах являются параметрами, зависящими от приложения.

Предположим, что для каждого класса  $c$ , обучающий набор состоит из  $N$  экземпляров. Для каждого класса  $c$  и для каждого нечеткого множества  $V_k, k = 1...K+1$  горизонтальная нечеткая полоса  $\bar{X}_{c,k}$  класса  $c$  определяется следующим образом:

$$\bar{X}_{c,k} = \left\{ \frac{\bar{h}v_{c,1,k}}{H_1} + \dots + \frac{\bar{h}v_{c,T+1,k}}{H_{T+1}} \right\}, \quad (10)$$

где  $\bar{h}v_{c,l,k}, t = 1...T+1$  - это средняя величина горизонтального значения важности, ассоциированного с регионом  $R_{t,k}$ . Аналогично для каждого класса  $c$  и нечеткого множества  $H_t, t = 1...K+1$  вертикальная нечеткая полоса  $\bar{Y}_{c,t}$  класса  $c$  определяется следующим образом:

$$\bar{Y}_{c,t} = \left\{ \frac{\bar{v}v_{c,t,1}}{V_1} + \dots + \frac{\bar{v}v_{c,t,K+1}}{V_{K+1}} \right\}, \quad (11)$$

где  $\bar{v}v_{c,t,k}, k = 1...K+1$  - средняя величина вертикального значения важности, ассоциированного с регионом  $R_{t,k}$ . Следовательно, нечеткое представление класса  $c$  есть четкое множество  $C_c = \{HC_c, VC_c\}$ , где  $HC_c = \{\bar{X}_{c,1}, \dots, \bar{X}_{c,K+1}\}$  - горизонтальное нечеткое представление класса  $c$ ,  $VC_c = \{\bar{Y}_{c,1}, \dots, \bar{Y}_{c,T+1}\}$  - вертикальное нечеткое представление класса  $c$ .

**3) Распознавание.** Нечеткие представления классов  $C_c$ , построенные в фазе обучения, используются для классификации неизвестных объектов. Когда поступает неидентифицированный объект  $u$  для выполнения классификации, то вычисляется его нечеткое представление  $I_u$ . Затем  $I_u$  сравнивается с каждым нечетким представлением класса  $C_c$  для определения коэффициента схожести  $S_c$ . Для каждого класса  $c$  вычисляется коэффициент схожести  $S_c(I_u, C_c)$  между нечетким представлением экземпляра  $I_u$  и нечетким представлением каждого из классов  $C_c$ :

$$S_c(I_u, C_c) = w_1 S(HI_u, HC_c) + w_2 S(VI_u, VC_c) \quad (12)$$

где  $S(HI_u, HC_c)$  - коэффициент схожести между горизонтальным нечетким представлением  $HI_u$  и  $HC_c$ ,  $S(VI_u, VC_c)$  - коэффициент схожести между вертикальным нечетким представлением  $VI_u$  и  $VC_c$ . Веса  $w_1$  и  $w_2$  - числа с плавающей точкой в интервале  $[0,1]$ , так что  $w_1 + w_2 = 1$ . Коэффициенты схожести  $S(HI_u, HC_c)$  и  $S(VI_u, VC_c)$  являются суммой коэффициентов схожести между парами соответствующих нечетких полос в горизонтальном и вертикальном представлениях:

$$S(HI_u, HC_c) = \sum_{k=1}^{K+1} weightH_{c,k} S(X_{u,k}, \bar{X}_{c,k}) \quad (13)$$

$$S(VI_u, VC_c) = \sum_{t=1}^{T+1} weightV_{c,t} S(Y_{u,t}, \bar{Y}_{c,t}) \quad (14)$$

где веса  $weightH_{c,k}$  и  $weightV_{c,t} \in [0,1]$ .  $\sum_{k=1}^{K+1} weightH_{c,k} = 1$ .  $\sum_{t=1}^{T+1} weightV_{c,t} = 1$ .  $S(X_{u,k}, \bar{X}_{c,k})$  - коэффициент схожести горизонтальных нечетких полос  $X_{u,k}, \bar{X}_{c,k}$ ,  $S(Y_{u,t}, \bar{Y}_{c,t})$  - коэффициент схожести вертикальных нечетких полос  $Y_{u,t}, \bar{Y}_{c,t}$ .

Коэффициент схожести двух нечетких полос вычисляется с помощью взвешенного расстояния Евклида:

$$S(X_{u,k}, \bar{X}_{c,k}) = \sum_{t=1}^{T+1} \sqrt{(q_t (1 - |hv_{u,t,k} - \bar{h}v_{c,t,k}|))^2} \quad (15)$$

$$S(Y_{u,t}, \bar{Y}_{c,t}) = \sum_{k=1}^{K+1} \sqrt{(r_k (1 - |vv_{u,t,k} - \bar{v}v_{c,t,k}|))^2} \quad (16)$$

На каждом шаге вычисления коэффициента схожести  $S_c(I_u, C_c)$  необходимо использовать определенные веса. Выбор значений для весов зависит от приложения, благодаря тому факту, что различные регионы пространства объекта могут иметь различные степени



важности, которые характеризуют этот объект. Обычно рассматривается случай, когда распределение горизонтального и вертикального представлений для коэффициента схожести имеют одинаковую важность.

Следовательно,  $w_1 = w_2 = 1/2$ . А. В (12) веса  $weightH_{c,k}$  выбираются таким образом, чтобы придать большую степень важности горизонтальной нечеткой полосе  $X_{c,k}$ . Они являются мерой релевантности горизонтальной нечеткой полосы  $X_{c,k}$  по отношению к другим горизонтальным нечетким полосам. Подобные рассуждения могут быть использованы для вертикальных нечетких полос. В эксперименте используется следующее выражение:

$$s_{c,k} = \frac{\sum_{n=1}^N S(X_{n,k}^c, \bar{X}_{c,k})}{\sum_{j=1}^K \sum_{n=1}^N S(X_{n,j}^c, \bar{X}_{c,j})} \quad (17)$$

где  $S(X_{n,k}^c, \bar{X}_{c,k})$  - коэффициент схожести между  $k$ -тым горизонтальным нечетким представлением  $X_{n,k}^c$ ,  $n$ -того экземпляра класса  $c$  и  $X_{c,k}$ . Коэффициент схожести  $S(X_{n,k}^c, \bar{X}_{c,k})$  вычисляется, используя выражение (15), в котором веса  $q_t$  выбираются с учетом предыдущих коэффициентов схожести, чтобы придать большую степень важности прямоугольнику  $R_{t,k}$ , а именно:

$$q_t = \frac{\sum_{n=1}^N \sqrt{(1 - |hv_{n,t,k}^c - \bar{h}v_{c,t,k}|)^2}}{\sum_{j=1}^K \sum_{n=1}^N \sqrt{(1 - |hv_{n,j,k}^c - \bar{h}v_{c,j,k}|)^2}} \quad (18)$$

Классификация неизвестного объекта выполняется путем определения того класса  $c$ , который дает наибольший коэффициент схожести.

**Выводы**

В данной работе рассматривается процесс распознавания образов (на примере идентификации человека) с использованием математического аппарата нечеткой логики. Для построения системы распознавания объектов необходимо обеспечить как минимум три основных этапа, а именно: улучшение качества изображения путем фильтрации шумовых составляющих, сегментации или кластеризации объектов, присутствующих на изображении, и, наконец, классификации образов. Следует отметить, что результат распознавания в одинаковой степени зависит от качества каждого из этапов, причем если на предыдущем этапе был получен негативный результат, то последующие этапы только усилят эту ошибку, что в целом даст негативный результат для системы распознавания в целом.

Еще одним важным моментом, который необходимо отметить, является то, что на этапе классификации образов огромную роль играет набор входных данных для процесса классификации. Если этот набор избыточный или, наоборот, недостаточный, то это также отразится на качестве распознавания. Как правило, непосредственно перед процессом классификации выполняется процедура выделения характерных признаков во входной информации, т.е. выделение наиболее значимой информации и игнорирование малозначимой. Для выделения наиболее значимой информации можно использовать метод, описанный в [10]. Таким образом, можно сделать вывод, что теория нечетких множеств становится мощным инструментом для построения интеллектуальных аппаратно-программных систем распознавания образов.

In work application of the theory of fuzzy sets for realization of process of recognition of graphic images for human identification is considered. The basic attention is given to algorithmic features of realization of functions of recognition with use of fuzzy operations.

1. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH – СПб.:БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.: ил.
2. Lotfi A. Zadeh. Foreword – Recognition Technology and Fuzzy Logic // IEEE TRANSACTION ON FUZZY SYSTEM, VOL.9, NO.1, FEBRUARY 2001.
3. Detlef Nauck and Rudolf Kruse. New learning strategies for NEFCLASS. In Proc. Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA'97, Vol. IV, pp. 50-55, Academia Prague, 1997.
4. Detlef Nauck and Rudolf Kruse. What are neuro-fuzzy classifiers? In Proc. Seventh International Fuzzy Systems Association World Congress IFSA'97, Vol. IV, pp. 228-233, Academia Prague, 1997.
5. Detlef Nauck. Building neural fuzzy controllers with NEFCON-I. In Rudolf Kruse, Jorg Gebhardt, and Rainer Palm, editors, Fuzzy Systems in Computer Science, Artificial Intelligence, pages 141-151. Vieweg, Wiesbaden, 1994.
6. V. Boskovitz, H. Guterman. An Adaptive Neuro-Fuzzy System for Automatic Image Segmentation and Edge Detection // IEEE TRANSACTION ON FUZZY SYSTEM, VOL.10, NO.2, APRIL 2002.
7. L.O. Hall, A. Bensaid, L. Clark, R. Velthuizen, M.Silbiger, and J. Bezdek. A comparison of neural network an fuzzy clustering techniques in segmenting magnetic resonance images of the brain // IEEE TRANSACTION ON NEURAL NETWORK, VOL.3, SEPTEMBER 1992.
8. B. Lazerini, F. Marcelloni. A Fuzzy Approach to 2-D Shape Recognition // IEEE TRANSACTION ON FUZZY SYSTEM, VOL.9, NO.1, FEBRUARY 2001.
9. Я.Ю.Дорогой. Реализация офтольмогеометрического подхода к идентификации человека. //Вісник НТУУ «КПІ», «Інформатика, управління та обчислювальна техніка», №44. – 2006. – С. 240-253.
10. Я.Ю.Дорогой. Оценка значимости признаков на основе многослойных нейронных сетей в системах диагностики автотранспорта //Автомобильный транспорт, №13, 2003. – с. 52-55.

## ОБОБЩЁННЫЕ МАСШТАБНЫЕ ФУНКЦИИ С КОМПАКТНЫМ НОСИТЕЛЕМ В ЗАДАЧЕ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ УПОРЯДОЧЕННЫХ ТЕКСТУР

Полякова М.В., Крылов В.Н.

**Постановка проблемы.** В данной работе рассматривается задача сегментации изображений упорядоченных текстур. Значительный интерес для решения практических задач представляют методы текстурной сегментации изображений с высокой помехоустойчивостью и низкой погрешностью определения координат точек границ текстурных областей. Этим требованиям удовлетворяют методы текстурной сегментации изображений, осуществляющие переход от значений признака сегментации к значениям интенсивности. Они включают процедуры оценки признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком; сигнально-семантического преобразования (ССП), подчеркивающего границы между однородными областями изображения; пороговой и морфологической обработки потенциальных границ однородных текстурных областей [1].

Основное влияние на помехоустойчивость и погрешность определения границ однородных текстурных областей этих методов оказывают процедуры оценки признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком, и СПП. Чтобы обеспечить высокую помехоустойчивость метода текстурной сегментации, СПП должно выделять только границы однородных текстурных областей, причем тех, которые имеют смысловую интерпретацию. С другой стороны, для снижения погрешности определения координат точек границ однородных текстурных областей результат СПП должен стремиться к совокупности  $\delta$ -функций, сосредоточенных в точках границ однородных текстурных областей изображения.

**Анализ последних публикаций. Нерешенные части общей проблемы.** В работах, посвященных методам текстурной сегментации изображений, чаще всего для перехода от значений признака сегментации к значениям интенсивности используются вейвлеты Габора [1]. Они представляют собой гауссианы, модулированные комплексными синусоидами и обладают следующими преимуществами:

— это единственные функции, которые достигают наименьшего значения длительности на ширину полосы, определяемого принципом неопределенности; это означает высокую избирательность вейвлетов Габора по частоте при сохранении пространственной локализации;

— существует предположение о том, что в зрительной коре человеческого мозга осуществляется разложение стимульного изображения по базису вейвлетов Габора;

— вейвлеты Габора реализуются как полосовые фильтры и могут быть настроены на частотное содержание изображения.

Однако применение вейвлетов Габора в задаче текстурной сегментации изображений не лишено недостатков, а именно, сохраняется проблема высокой погрешности определения координат точек границ однородных текстурных областей изображения, особенно для неравномерных текстур. Причиной этого является то, что результат СПП с вейвлетами Габора не позволяет получить совокупность  $\delta$ -функций, сосредоточенных в точках границ однородных текстурных областей изображения, т. к. вейвлеты Габора представляют собой регулярные функции. Эта проблема обусловлена также недостаточной пространственной локализацией вейвлетов Габора. Известно, что улучшению пространственной локализации анализирующих вейвлетов при сохранении их локализации по частоте способствует использование разных вейвлет-функций на разных масштабах вейвлет-преобразования — нестационарное вейвлет-преобразование [2]. Снижению погрешности

определения координат точек границ однородных текстурных областей изображения способствует применение обобщенных функций [3]. Обобщенная функция — это математическое понятие, обобщающее классическое понятие функции. В понятии обобщенной функции находит отражение тот факт, что реально нельзя измерить значение физической величины в точке, а можно измерять ее средние значения с помощью последовательности локально интегрируемых функций в малых окрестностях данной точки.

При использовании в составе ССП обобщенных функций последние целесообразно применять либо после умножения на некоторую бесконечно дифференцируемую функцию (регуляризации), либо представления обобщенной функции как предела последовательности регулярных функций. Применение регулярных функций, стремящихся в пределе к обобщенной функции, в качестве анализирующих на разных масштабах нестационарного вейвлет-преобразования позволяет реализовать ССП, которое в этом случае объединяет в себе функции оценки признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком, а также подчеркивания границ между однородными областями изображения. В объединении этих двух процедур сегментации и заключается преимущество использования регулярных функций, стремящихся в пределе к обобщенной функции, в качестве анализирующих функций на разных масштабах нестационарного вейвлет-преобразования. При этом большие значения масштаба приводят к помехоустойчивой сегментации с высокой погрешностью определения координат точек границ между однородными областями изображения, а при малых значениях масштаба вейвлет-преобразования помехоустойчивость снижается, но снижается и погрешность определения координат границ текстурных областей. Однако обобщенные функции позволяют обеспечить лучшую пространственную локализацию по сравнению с вейвлетами Габора.

Целесообразно, чтобы обобщенные функции, применяющиеся в задаче текстурной сегментации изображений, обладали следующими свойствами:

— так как частотные свойства изображений локально изменяются в пространстве, обобщенные функции должны иметь различную пространственно-частотную локализацию;

— для того, чтобы обеспечить локализацию границ однородных текстурных областей изображения, обобщенные функции должны обладать компактным носителем;

— текстурное изображение содержит различные типы сигнатур (перепады или всплески значений интенсивности) на границах однородных текстурных областей, что обусловлено типом текстуры; поэтому при их анализе должны использоваться обобщенные функции как с нулевым средним (вейвлет-функции), так и с отличным от нуля средним (масштабные функции).

Далее в этой работе рассматриваются только обобщенные масштабные функции. Целью работы является снижение погрешности определения координат точек границ однородных областей при текстурной сегментации изображений упорядоченных текстур путём использования обобщенных масштабных функций с компактным носителем. При достижении поставленной цели решены следующие задачи:

— усовершенствована модель представления упорядоченной текстуры изображения путем учёта помеховой ситуации для построения методов текстурной сегментации с высоким качеством границ однородных текстурных областей;

— разработаны обобщенные масштабные функции с компактным носителем;

— разработана модель обработки изображений на основе ССП с последовательностью локально интегрируемых функций, которые приближают обобщенную масштабную функцию.

**Математическая модель изображения упорядоченной текстуры.** Первым этапом создания методов текстурной сегментации изображений, удовлетворяющих требованиям помехоустойчивости и низкой погрешности определения координат точек границ однородных текстурных областей, является моделирование изображения. Известно, что

метод текстурной сегментации в пространстве преобразования с вейвлетами Габора [1] предполагает представление текстуры с помощью неприводимых элементов. Эта модель представления текстуры является структурной и не учитывает статистическую модель помеховой ситуации, возникающей при формировании изображений. Поэтому сформулируем структурно-статистическую модель текстурного изображения.

Пусть полутоновое текстурное изображение  $I(x, y)$ ,  $x=1, \dots, N$ ;  $y=1, \dots, M$ ; представлено значениями интенсивности в точках  $(x, y)$ , где  $x, y$  — пространственные координаты.

Для определения математической модели текстурного изображения предположим, что совокупность значений интенсивности  $i$ -й строки изображения  $I(x, y_i)$  включает  $n$  равномерных текстур  $i_1(x, y_i), \dots, i_n(x, y_i)$ . Текстуры  $i_1(x, y_i), \dots, i_n(x, y_i)$  характеризуются соответственно разными неприводимыми элементами  $t_1(x, y_i), \dots, t_n(x, y_i)$ , представляющими собой детерминированные функции пространственной координаты  $x$ , для которых существует преобразование Фурье. Равномерная текстура  $i_k(x, y_i)$ ,  $k=1, \dots, n$ , состоящая из равноотстоящих неприводимых элементов  $t_k(x, y_i)$  определяется формулой

$$i_k(x, y_i) = t_k(x, y_i) * \sum_{l=1}^{L_{ki}} \delta(x - l\Delta x),$$

где  $\Delta x$  — период следования неприводимых элементов,  $L_{ki}$  — их количество в  $k$ -й текстурно однородной области  $i$ -й строки изображения, “\*” — оператор свертки. Так как совокупность значений интенсивности  $i$ -й строки изображения  $I(x, y_i)$  представлена текстурами  $i_1(x, y_i), \dots, i_n(x, y_i)$ , разобьем область определения  $[0, N]$  строки изображения на  $n$  сегментов точками  $a_0 = 0 < a_1 < \dots < a_n = N$  так, чтобы каждый сегмент  $[a_{k-1}, a_k]$  или интервал  $(a_{k-1}, a_k)$ ,  $k=1, \dots, n$ , представлял однородную текстурную область изображения.

Однородная текстурная область изображения в терминах значений интенсивности его  $i$ -й строки определяется фрагментом текстуры  $i_k(x, y_i)$ :

$$\tilde{i}_k(x, y_i) = S_k(x, y_i) i_k(x, y_i),$$

где  $S_k(x, y_i) = \begin{cases} 1, & a_{k-1} \leq x \leq a_k, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$  если однородная текстурная область замкнута и  $S_k(x, y_i) = \begin{cases} 1, & a_{k-1} < x < a_k, \\ 0, & \text{в противном случае,} \end{cases}$  если область открытая.

Однородные текстурные области составляют текстурное изображение, тогда

$$I_0(x, y_i) = \sum_{k=1}^n \tilde{i}_k(x, y_i), \quad (1)$$

где  $I_0(x, y_i)$  —  $i$ -я строка незашумленного изображения.

При формировании изображений существенно влияние внутренних шумов датчиков различной физической природы. Адекватной моделью собственных шумов датчиков согласно [4] является адитивная гауссовская модель:

$$I(x, y_i) = I_0(x, y_i) + N(x, y_i), \quad (2)$$

где  $I(x, y_i)$  —  $i$ -я строка зашумленного изображения,  $I_0(x, y_i)$  —  $i$ -я строка незашумленного изображения,  $N(x, y_i)$  — независимые нормально распределенные наблюдения с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ .

Структурно-статистическая модель  $i$ -й строки текстурного изображения с учетом (1), (2) принимает вид:

$$I(x, y_i) = \sum_{k=1}^n \tilde{I}_k(x, y_i) + N(x, y_i).$$

**Обобщенные масштабные функции с компактным носителем.** Для текстурной сегментации изображений с низкой погрешностью определения координат точек границ однородных текстурных областей построим на основе двумасштабного разностного уравнения обобщенные масштабные функции с компактным носителем. Двумасштабное разностное уравнение использовалось для математического описания информационного содержания изображения при его представлении на двух масштабах. Как показано в работах [5, 6], к решению двумасштабного разностного уравнения сводится задача построения базисов вейвлетов с компактным носителем.

Двумасштабное разностное уравнение — это функциональное уравнение вида

$$f(x) = \sum_{n=0}^N c_n f(\alpha x - \beta_n), \quad (3)$$

где  $\alpha > 1, \beta_0 < \beta_1 < \dots < \beta_N \in R, x \in R, c_n \in C, \alpha, \beta_n, c_n$  — константы. В зависимости от значений коэффициентов уравнения (3) его решения могут представлять собой интегрируемые функции или обобщенные функции. Решения (3), представляющие интегрируемые функции, широко известны в вейвлет-анализе как масштабные функции (scaling functions).

Пример интегрируемого решения уравнения (3) с коэффициентами  $\alpha = 2, \{c_n\}_{n=0}^N = \{0,482; 0,836; 0,224; -0,129\}, \{\beta_n\}_{n=0}^N = \{0, 1, 2, 3\}$  — вейвлет Добеши 2-го порядка — показан на рис. 1, а. Пример решения уравнения (3) с коэффициентами  $\alpha = 2, \{\tilde{c}_n\}_{n=0}^N = \{-1/8, 1/4, -1/2, 1, 1, -1/2, 1/4, -1/8\}, \{\beta_n\}_{n=0}^N = \{0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\},$

$\{c_n\}_{n=0}^N = \frac{\{\tilde{c}_n\}_{n=0}^N}{\sum_{n=0}^N \tilde{c}_n}$ , в пространстве обобщенных функций показан на рис. 1, б.

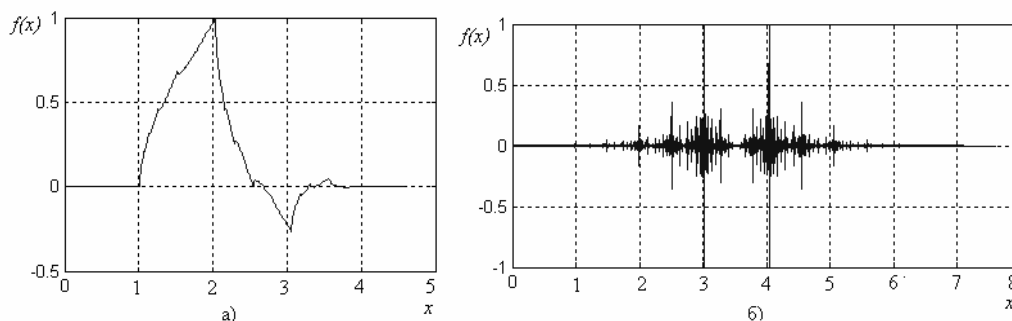


Рис. 1 Интегрируемое решение (3) (а) и решение (3) в пространстве обобщенных функций (б).

В задачах сжатия, обработки и распознавания изображений в настоящее время используются только интегрируемые решения уравнения (3). Они применяются при построении вейвлетов как функции, локализованные как в исходном пространстве, так и в области преобразования Фурье, что связано с необходимостью применения к нестационарным сигналам локального пространственно-частотного анализа. Обобщенные функции позволяют обеспечить лучшую пространственную локализацию по сравнению с интегрируемыми функциями. В соответствии с целью сегментации мы предлагаем использовать некоторые решения уравнения (3) в пространстве обобщенных функций при решении задачи текстурной сегментации изображений. А именно, для снижения погрешности определения координат точек границ однородных текстурных областей изображения целесообразно применять ССП на основе последовательности локально интегрируемых функций, стремящихся в пределе к обобщенной функции.

Приведем утверждения, касающиеся существования и свойств решений (3). Уравнение (3) предполагает существование двух масштабов, на которых анализируется  $f(x)$ , а также, что значения  $f(x)$  на большем масштабе представляют собой результат преобразования подобия и сдвига этой же функции на меньшем масштабе. В частном случае (3), когда  $\alpha$  и  $\beta_n$  — целые, это уравнение принимает вид

$$f(x) = \sum_{n=0}^N c_n f(kx - n), \quad n, k \in Z, k \geq 2. \quad (4)$$

Уравнение (3) всегда имеет решение в смысле обобщенных функций. Определим, при каких условиях на коэффициенты уравнения (3) его решения в пространстве обобщенных функций целесообразно использовать для сегментации изображений упорядоченных текстур. Приведем сначала утверждения, касающиеся решений (3), принадлежащих пространству  $L_1(R)$  функций, модуль которых интегрируем на пространстве вещественных чисел.

Выполнив преобразование Фурье (3), имеем

$$f(i\omega) = P(\alpha^{-1}i\omega)f(\alpha^{-1}i\omega),$$

где  $\omega$  — частота, а

$$P(i\omega) = \frac{1}{\alpha} \sum_{n=0}^N c_n e^{i\beta_n \omega}. \quad (5)$$

Обозначим

$$\Delta = P(0) = \frac{1}{\alpha} \sum_{n=0}^N c_n. \quad (6)$$

Совокупность решений (3), принадлежащих пространству  $L_1(R)$ , определяется следующей теоремой [5].

Теорема 1.

Если  $|\Delta| \leq 1$  и  $\Delta \neq 1$ , существует только тривиальное решение (3) из пространства  $L_1(R)$ .

Если  $\Delta = 1$ , существует не более одного нетривиального решения (3) из пространства  $L_1(R)$ . Если такое решение существует, то его преобразование Фурье определяется формулой

$$f(i\omega) = A \prod_{j=1}^{\infty} P(\alpha^{-j}i\omega), \quad (7)$$

где константа  $A = f(0) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx$  и бесконечное произведение в (7) сходится для любого  $\omega$ .

Если  $|\Delta| > 1$ , то преобразование Фурье любого решения (3) из пространства  $L_1(R)$  имеет вид:

$$f(i\omega) = \left( \prod_{j=1}^{\infty} p(\alpha^{-j}i\omega) \right) e^{\frac{\ln \Delta}{\ln \alpha} \ln |\omega|} g_{\text{sign}(\omega)} \left( \frac{\ln |\omega|}{\ln \alpha} \right), \quad (8)$$

где  $p(i\omega) = \Delta^{-1}P(i\omega)$ ,

$g_{+1}(\omega), g_{-1}(\omega)$  — непрерывные периодические функции с периодом 1;

$\ln \Delta = \ln |\Delta| + i\theta$ , где  $\Delta = |\Delta|e^{i\theta}$ ,  $-\pi < \theta \leq \pi$ ; причем бесконечное произведение в (8) сходится для любого  $\omega$ . Обратное, если  $g_{+1}(\omega), g_{-1}(\omega)$  — непрерывные периодические функции с периодом 1 такие, что обратное преобразование Фурье правой части (8) принадлежит пространству  $L_1(R)$ , то  $f(x)$  удовлетворяет уравнению (3).

Теорема 1 определяет явный вид решения уравнения (3) в частотной области, т. к. в пространственной области решение (3) в явном виде удастся получить только в исключительных случаях.

При моделировании текстур высокочастотные компоненты изображения обычно не учитывают, поэтому рассмотрим решения уравнения (3), преобразование Фурье которых определяется формулой (7) для  $\Delta=1$ . Имеет место следующее следствие теоремы 1.

**Следствие.** Пусть двумасштабное разностное уравнение (3) с  $\Delta=1$  имеет нетривиальное решение  $f(x) \in L_1(\mathbb{R})$ . Тогда  $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx \neq 0$  и  $f(x)$  имеет компактный носитель  $\text{supp}(f) \subset [\beta_0(\alpha-1)^{-1}, \beta_N(\alpha-1)^{-1}]$ .

Доказательство этого следствия [5] показывает, что двумасштабное разностное уравнение (3) с  $\Delta=1$  всегда обладает единственным с точностью до масштабного множителя решением  $f(x)$  в пространстве обобщенных функций  $K'$ . Это решение  $f(x)$  имеет компактный носитель  $\text{supp}(f) \subset [\beta_0(\alpha-1)^{-1}, \beta_N(\alpha-1)^{-1}]$ , а его преобразование Фурье определяется формулой (7).

В дальнейшем в этой работе оценим целесообразность применения в задаче текстурной сегментации изображений решений частного случая уравнения (3) — уравнения (4) с  $\Delta=1$ , которые принадлежат пространству обобщенных функций и имеют компактный носитель.

При решении задач анализа и сегментации изображений возникает необходимость обработки дискретных данных, поэтому явный вид решения (3) необходим для построения фильтров, согласованных с моделью текстуры. Решения уравнения (3) в пространственной области в явном виде получены только для некоторых значений его коэффициентов. Поэтому рассмотрим процесс приближенного вычисления решений уравнения (3) в пространственной области.

**Каскадный алгоритм.** Заметим, что двумасштабное разностное уравнение может быть представлено как однородное интегральное уравнение Фредгольма второго рода [7]. Интегральным уравнением называется уравнение, которое содержит неизвестную функцию под знаком интеграла. Например, интегральным уравнением относительно  $f(x)$  является уравнение

$$f(x) - \lambda \int_a^b G(x, s) f(s) ds = g(x),$$

где  $g(x)$ ,  $G(x, s)$  — принимающие вещественные или комплексные значения известные функции переменных  $x \in [a, b]$ ,  $s \in [a, b]$ ,  $\lambda$  — параметр. Уравнение (9) называется уравнением Фредгольма второго рода. Для этого уравнения предполагают, что ядро  $G(x, s)$  и свободный член  $g(x)$  являются квадратично интегрируемыми функциями. В случае  $f(x) \equiv 0$  уравнение (9) называется однородным.

Очевидно, что двумасштабное разностное уравнение (3) представляет собой однородное уравнение Фредгольма второго рода, причем переменная  $s$  под знаком интеграла принимает конечное число дискретных значений и интеграл заменен суммой. Решение уравнения (9) и, следовательно, двумасштабного разностного уравнения (3) может быть получено итерационно с помощью метода последовательных приближений. Он заключается в следующем [7].

Пусть свободный член и ядро уравнения Фредгольма являются непрерывными функциями (первая — на  $[a, b]$ , вторая — на  $[a, b] \times [a, b]$ ). Выберем какую-нибудь непрерывную функцию  $f_0(x)$  и подставим ее в правую часть уравнения (9). Получим



$$f_1(x) = g(x) + \lambda \int_a^b G(x, s) f_0(s) ds,$$

причем  $f_1(x)$  также непрерывна на  $[a, b]$ . Продолжая этот процесс, получим последовательность функций  $f_0(x), f_1(x), \dots, f_n(x), \dots$ , удовлетворяющих уравнениям

$$f_2(x) = g(x) + \lambda \int_a^b G(x, s) f_1(s) ds, \dots, f_n(x) = g(x) + \lambda \int_a^b G(x, s) f_{n-1}(s) ds, \dots$$

Из этих уравнений следует, что

$$f_n(x) = g(x) + \lambda \int_a^b G_1(x, s) g(s) ds + \lambda^2 \int_a^b G_2(x, s) g(s) ds + \dots + \lambda^{n-1} \int_a^b G_{n-1}(x, s) g(s) ds + R_n(x),$$

где  $R_n(x) = \lambda^n \int_a^b G_n(x, s) f_0(s) ds$ , а  $G_n(x, s)$  — итерированные ядра, определяемые рекуррентной формулой

$$G_n(x, s) = \int_a^b G(x, \tau) G_{n-1}(\tau, s) d\tau, \quad n = 2, 3, \dots, \quad G_1(x, s) \equiv G(x, s).$$

Известно [7], что при  $|\lambda|(b-a) \max_{t,s \in [a,b]} |G(x, s)| < 1$  выполняется  $\lim_{n \rightarrow \infty} R_n(x) = 0$  и  $\lim_{n \rightarrow \infty} f_n(x) = f(x)$ , где  $f(x)$  — решение уравнения Фредгольма второго рода.

С помощью метода последовательных приближений может быть получено как решение двумасштабного разностного уравнения (3), так и его частного случая — уравнения (4).

Итеративный метод поиска решения двумасштабного разностного уравнения на решетке (4) известен как каскадный алгоритм [6]. Согласно этому алгоритму решение (4) представляет собой фиксированную точку  $f(x) = Gf(x)$  линейного оператора

$$Gf(x) = \sum_{n=0}^N c_n f(kx - n),$$

получаемую в результате применения итеративной схемы  $f_j(x) = Gf_{j-1}(x)$  к начальному приближению вида

$$f_0(x) = \begin{cases} 1 - |x|, & x \in [-1/2, 1/2], \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Построение  $f_j(x)$ , если известно  $f_{j-1}(x)$ , включает три этапа:

- 1) выделяют сегменты длиной  $2^{-(j-1)}$ , на которых  $f_{j-1}(x)$  постоянна;
- 2) заменяют значения  $f_{j-1}(x)$  на каждом из этих сегментов промасштабированной и сдвинутой версией  $f_1(x)$ ;
- 3) суммируют полученные компоненты  $f_j(x)$ .

Последнее означает, что значения  $f_j(k^{-j}m), m \in Z$  могут быть вычислены путем использования только значений  $f_{j-1}(x)$  в малой окрестности  $k^{-j}m$ . Например, в случае

$$j=1, f_1(m) = \begin{cases} c_m, & m = 0, \dots, N, m \in Z, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

Т. к. любое приближение  $f_j(x)$  является суммой промасштабированных и сдвинутых версий  $f_1(m)$ , процесс его построения представляют графически с помощью гистограммы. Тогда начальное приближение каскадного алгоритма

$$f_0(x) = \begin{cases} 1, & x \in [-1/2, 1/2], \\ 0, & \text{в противном случае} \end{cases}$$

представляет собой одиночный импульс длительности 1.  $f_1(x)$  изображают прямоугольными импульсами длительности 0,5,  $f_j(x)$  — импульсами длительности  $2^{-j}$  с амплитудой  $2^j f_j(x)$ . Множитель  $2^j$  вводится для нормализации.

Если существует непрерывное решение (3), а также если решение (3) существует лишь в пространстве обобщенных функций, каскадный алгоритм сходится к этому решению в смысле обобщенных функций, т. е.  $f_j(x)$  сходятся к обобщенной функции  $f(x)$  (рис. 2).

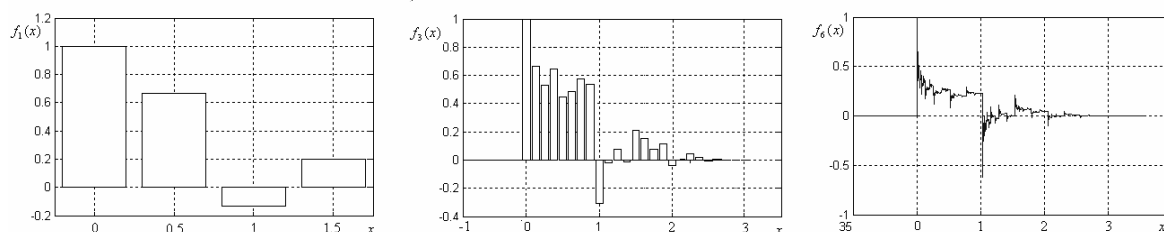


Рис. 2 [6]. Построение последовательности функций  $f_j(x)$ , имеющей предел в пространстве обобщенных функций, представленное с помощью гистограмм:  $f_1(x)$  (а),  $f_3(x)$  (б),  $f_6(x)$  (в)  $\{c_n\}_{n=0}^N = \{0,816; 0,544; -0,109; 0,163\}$ .

Заметим, что в процессе последовательных приближений каждая функция  $f_j(x)$  зависит от выбора начальной функции  $f_0(x)$ . Однако предельная функция от выбора  $f_0(x)$  не зависит. Согласно теореме 1, решения двумасштабного разностного уравнения (3) имеют отличное от нуля среднее и определяют масштабные функции вейвлет-анализа.

**Реализация ССП изображения в пространстве обобщенных функций с компактным носителем.** Известно, что хорошей локализацией в пространстве обладают сингулярные обобщенные функции. Дискретизируем функции  $f_j(2^{-j}x)$ ,  $j=1, 2, \dots$ , полученные в результате применения каскадного алгоритма для вычисления обобщенной масштабной функции  $f(x)$  с компактным носителем. Получаем дискретные последовательности  $\{f_n^j\}_{n=0}^{N_j}$ ,  $j=1, 2, \dots$ , где  $N_j$  — количество коэффициентов соответствующих последовательностей. Эти дискретные последовательности используем в качестве банка фильтров при выполнении ССП для текстурной сегментации изображений.

Пример импульсных характеристик фильтров, полученных в результате дискретизации  $f_j(2^{-j}x)$  и представляющих собой приближенные решения уравнения

$$f(x) = \sum_{n=0}^N c_n f(2x - n) \tag{10}$$

в пространстве обобщенных функций с компактным носителем, показан на рис. 3. В качестве коэффициентов уравнения (10)  $\{c_n\}_{n=0}^N$  выбрана последовательность  $\left\{-\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, -\frac{1}{2}, 1, 1, -\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, -\frac{1}{8}\right\}$ , нормированная к единице.

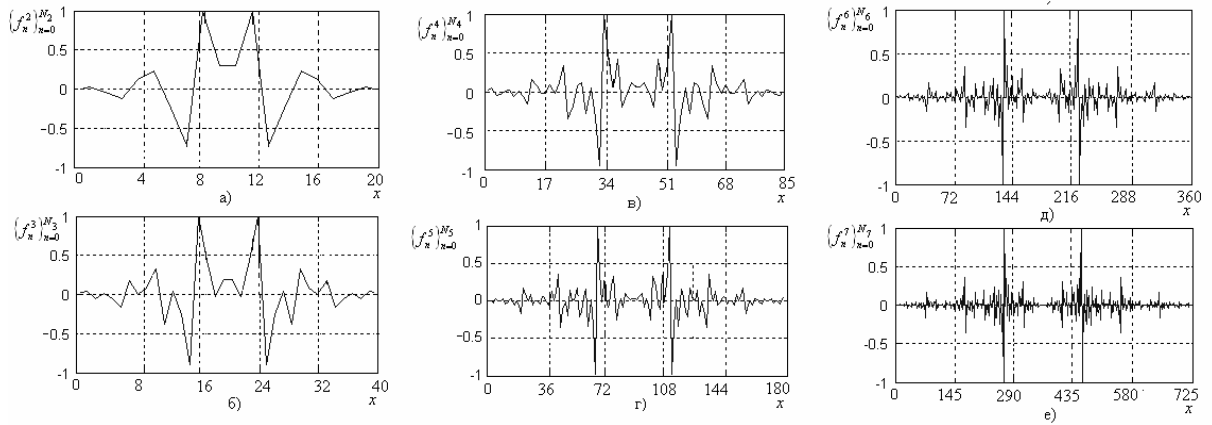


Рис. 3 Импульсные характеристики фильтров  $\{f_n^j\}_{n=0}^{N_j}$  для  $j=2$  (а), 3 (б), 4 (в), 5 (г), 6 (д), 7 (е).

Основные положения этой работы проверялись на тестовом изображении, размером 512x512 пикселей, представляющем собой однородную область упорядоченной текстуры на фоне (рис. 4, а).

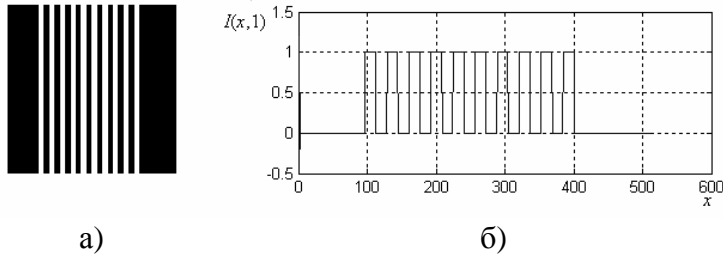


Рис. 4 Тестовое изображение (а) и его строка (б).

Это изображение незашумлено и описывается моделью (1). Непроизводный элемент текстуры согласно модели (1),  $t_1(x, y_i)$  представляет собой одиночный импульс, протяженностью 16 пикселей. Фрагмент текстуры  $i_1(x, y_i)$  состоит из последовательности десяти импульсов, равноотстоящих друг от друга на расстоянии  $\Delta x=16$  пикселей. Обработка тестового изображения производилась с помощью фильтров, полученных в результате дискретизации функций  $f_j(2^{-j}x)$ ,  $j=2, 3, 4, 5, 6, 7$ . Для построения  $f_j(2^{-j}x)$  коэффициенты уравнения (10)  $c_n$ ,  $n=0, \dots, N$  выбирались как  $\{c_n\}_{n=0}^N = \left\{ -\frac{1}{8}, \frac{1}{4}, -\frac{1}{2}, 1, 1, -\frac{1}{2}, \frac{1}{4}, -\frac{1}{8} \right\}$ ,  $N=7$ . Последовательности  $\{f_n^j\}_{n=0}^{N_j}$ ,  $j=2, \dots, 7$ , нормировались к единице.

На рис. 4, б представлена строка тестового изображения, а на рис. 5, а – результат ее обработки с помощью фильтра  $\{f_n^2\}_{n=0}^{N_2}$ , реализующего  $f_2(2^{-2}x)$ .

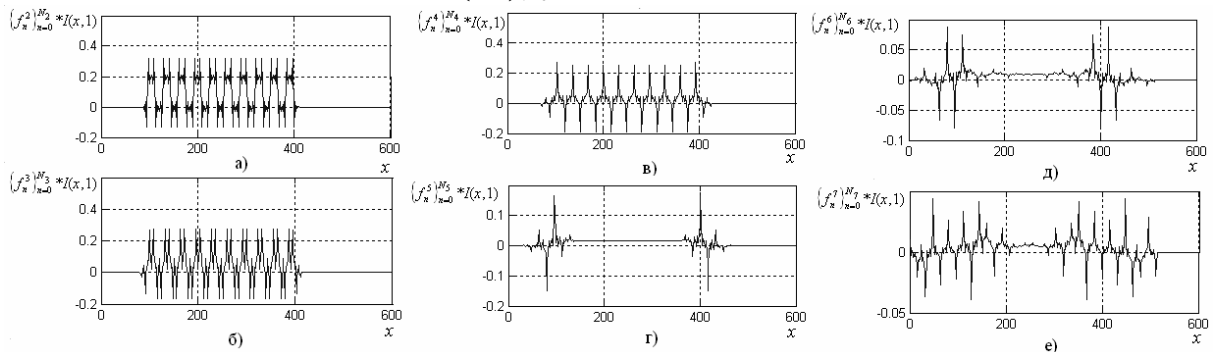


Рис.5 Строка изображения с рис. 3, б в пространстве преобразования с фильтрами  $\{f_n^j\}_{n=0}^{N_j}$ ,  $j=2$  (а), 3 (б), 4 (в), 5 (г), 6 (д), 7 (е).

Непроизводные элементы текстуры и однородная текстурная область имеют в пространстве коэффициентов преобразования равные максимумы в области перепадов интенсивности (рис. 5, а — в). При увеличении номера итерации каскадного алгоритма  $j$  относительные размеры пиков непроизводных элементов уменьшаются (рис. 5, г), в то же время увеличивается амплитуда пиков на границах текстурной области изображения. Т. о., с помощью функций, полученных в результате каскадного алгоритма и сходящихся к обобщенной масштабной функции, можно регулировать детальность описания текстуры изображения.

**Выводы.** В работе разработан математический аппарат сигнально-семантического преобразования изображений упорядоченных текстур, позволяющий получить подчеркнутые границы текстурно-однородных областей. Для реализации процедуры сегментации с использованием этого преобразования могут быть использованы как дифференциальные, так и корреляционно-экстремальные методы в соответствии с требованиями к помехоустойчивости и погрешности определения координат точек границ однородных текстурных областей.

Tempered distribution scaling functions with compact support is defined. The model of image processing based on signal-semantic transform with the sequence of local integrable functions which approximate the tempered distribution is proposed.

1. Dunn D., Higgins W.E., Wakeley J. Texture segmentation using 2D Gabor elementary function // IEEE Trans. on PAMI. — 1994. — Vol.16, № 2. — P. 130 — 149.
2. Cohen A., Sere E. Time-frequency localization with non-stationary wavelet packets. // Subband and Wavelet Transforms: Design and Application / Akansu A.N., Smith M.J.T. (eds.) — Kluwer, 1996. — P. 54 — 81.
3. Гельфанд И.М., Шиллов Г.Е. Обобщенные функции и действия над ними. Вып. 1. — М.: Физматгиз, 1959. — 470 с.
4. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с.
5. Daubechies I., Lagarias J.C. Two-scale difference equations. I. Existence and global regularity of solutions // SIAM J. Math. Anal. — 1991. — Vol. 22, № 5. — P. 1388 — 1410.
6. Daubechies I. Orthonormal bases of compactly supported wavelets // Comm. Pure Appl. Math. — 1988. — Vol. 41. — P. 909 — 996.
7. Городецкий В.В., Нагнибида Н.И., Настасиев П.П. Методы решения задач по функциональному анализу: Учеб. пособие. — К.: Выща шк., 1990. — 479 с.

## МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ НА ПРИМЕРЕ МОДЕЛИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ.

Ходаков В.Е., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н.

**Введение.** Моделирование, прогнозирование возникновения, развитие и оценка последствий экологических катастроф, к которым относятся лесные пожары (ЛП), являются важными и актуальными научными задачами, решение которых востребовано государством, владеющим, сохраняющим и использующим природные ресурсы страны.

Для решения таких задач необходимо привлечение больших объемов разнородной информации, поступающей из разных источников, оперативная обработка и анализ этой информации, представление её в виде, обеспечивающем принятие решений в ограниченных временных рамках.

Одним из наиболее эффективных способов представления больших объемов разнородной информации, привязанной к большим территориям земной поверхности, является визуализация.

Под визуализацией понимается преобразование числовой информации об объектах с большим количеством параметров в наглядные графические образы. Другими словами исходные данные преобразуются в удобный для восприятия графический образ, который объективно отражает свойства и природу объекта, с которым работает пользователь.

В настоящее время существует мощнейший инструмент отображения информации, привязанной к географической сетке координат. Это быстро развивающийся сегодня арсенал ГИС-технологий.

Географические информационные системы (ГИС) представляют собой программно-аппаратные комплексы, способные вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации.

К основным функциональным возможностям ГИС можно отнести:

- 1) построение математических (статистических, детерминированных) моделей изменения тех или иных показателей в пространстве и во времени;
- 2) анализ разнородной информации с учетом требуемых критериев (запросов);
- 3) анализ информации с учетом построенной в пространстве модели;
- 4) анализ пространственно-распределенных данных с учетом имеющихся топологических моделей Мира;
- 5) пространственную визуализацию любых данных, их интеграцию на одном носителе (бумажном, электронном).

Таким образом, одним из важных моментов при моделировании ЛП является визуализация полученных данных, а значит, представляет практический и научный интерес разработка методов и алгоритмов визуализации данных, имеющих пространственную составляющую.

**Анализ работ.** Визуальное отображение контура пожара - одна из важнейших функций, которой должно обладать современное программное обеспечение, призванное решать задачи, связанные с моделированием лесных пожаров. Поэтому вопросам построения контуров горения посвящено большое число работ. Отметим наиболее значимые.

Авторы ранних работ аппроксимировали форму пожара простыми геометрическими фигурами [1]. Например, Митчел (1937 г.) описывал форму пожара кругом, Пирско (1961 г.) – кругом и эллипсом, Друэ, О’Реган – эллипсом, Н.П. Курбатский (1960 г.) - в виде фигуры, состоящей из двух полуэллипсов.

Из более поздних работ следует отметить метод С. К. Годунова [1]. Основная идея метода состоит в использовании для построения контуров горения подвижных сеток. Причем, расчетная сеточная область согласно данному методу не задается заранее, а определяется самим решением, двигаясь и развиваясь вместе с ним.

Среди стохастических сеточных моделей наиболее показательна модель распространения пожара Воробьева О.Ю. [2, 3]. Пожар здесь рассматривается как процесс случайного распространения по плоской квадратной решетке. Считается, что горение, возникнув в некотором узле, передается во все соседние узлы решетки в течение одного такта времени с определенными вероятностями. Каждая реализация процесса приводит к контуру случайной формы.

Подход с использованием сеточной структуры применяли также Кортц, О'Рэган, Севидж, Майн [1].

Перечисленные выше модели, безусловно, эффективны в случаях движения огня по пространственно-однородному и неизменному во времени слою горючего, т.е. в пределах биоценоза одного типа. Однако в реальных лесных условиях горючее по территории расположено неравномерно, значительно варьируют его свойства, часто нарушается непрерывность слоя (в тех местах, где проходят дороги, реки, специальные противопожарные разрывы). Кроме того, свойства горючего значительно меняются во времени.

Цель статьи. Исходя из выше изложенного, целью настоящей статьи является разработка методов и алгоритмов визуального представления контуров лесных пожаров, учитывающих неравномерное расположение лесных горючих материалов (ЛГМ) - неоднородность слоя, изменчивость свойств ЛГМ во времени и т.д.

Описание метода. Для построения контура горения используется способ аппроксимации территории квадратными ячейками [4, 5].

Анализируемая поверхность (участок местности) представляется в виде регулярной сети ячеек. Каждая ячейка такой сети будет наследовать статические свойства плоского однородного участка местности, к которому принадлежит ее центр.

С точки зрения горения каждая ячейка сети в определенный момент времени  $t$  может находиться в одном из трех состояний: не горела, горит, уже сгорела и впредь загореться не может.

Таким образом, все множество ячеек  $Y$ , принадлежащих рассматриваемой области местности, в определенный момент времени можно представить состоящим из двух подмножеств:  $Y_{акт}$  - горящие (активные) ячейки,  $Y_{пас}$  - ячейки, которые в данный момент времени не горят (пассивные). Подмножество пассивных ячеек в свою очередь состоит из двух подмножеств:  $Y_1$  - ячейки, которые еще не горели;  $Y_2$  - ячейки, которые находились в состоянии горения до данного момента времени, но в данный момент времени не горят. Ячейка может оказаться в множестве  $Y_2$  в одном из двух случаев: если ее горючее вещество выгорело, или если она потушена пожарниками. Множество  $Y_1$  состоит из двух подмножеств:  $Y_3$  - ячейки, которые еще не захвачены пожаром, но будут гореть в случае их принадлежности площади, пройденной пожаром;  $Y_4$  - ячейки, которые не способны гореть, даже если их захватит пожар (например, если ячейка моделирует участок водоема, песчаной насыпи и т.д.).

Все множество ячеек, моделирующих рассматриваемую территорию, изменяется во времени. Исключение составляют лишь ячейки, принадлежащие подмножеству  $Y_4$ .

Во время функционирования системы ячейки могут переходить из  $Y_{акт}$  в  $Y_{пас}$  и наоборот. Причем из  $Y_{акт}$  ячейки смогут перейти только в одно подмножество  $Y_{пас}$  -  $Y_2$ , а в множество  $Y_{акт}$  ячейки могут перейти только из одного подмножества  $Y_{пас}$  -  $Y_3$ . Невозможен переход в  $Y_{акт}$  из  $Y_4$  и  $Y_2$ .

Возможные переходы ячеек из одного множества в другое, а также условия переходов приведены в [5].

Таким образом, процесс распространения пожара при таком подходе состоит в «передаче» горения от горящих ячеек ко всем соседним - негоревшим. Кроме того, в такой модели должно быть определено время, необходимое для перехода огня от ячейки к ячейке. Это время зависит от размера ячейки расчетной сетки, а также скорости распространения горения, которая, в свою очередь, зависит от свойств горючих материалов, скорости и направления ветра.

Время перехода огня от ячейки к ячейке определяется выражением [1]:

$$t = \frac{h}{g}, \quad (1)$$

где  $h$  - размер ячейки расчетной сетки (ячейка представляет собой квадрат заданного размера  $h$ ),

$g$  - скорость распространения горения в ячейке (определяется моделью, описание которой приведено в [7]).

Рассматривая процесс передачи горения от горящих ячеек к негоревшим, можно предположить, что в первую очередь загорится та ячейка, время перехода до которой от любой из всех горящих ячеек будет минимальным.

Таким образом, сетка горючего будет рассматриваться как сеть, узлы которой являются серединами квадратов (ячеек). Начальный узел помечается цифрой 1, а все остальные – произвольно. Процедура приписывает каждому узлу метку, которая может быть временной или постоянной. Временные метки присваиваются узлам, время достижения которых превышает нижнюю грань минимального времени, необходимого для прохождения от начального узла до данного, а постоянные – узлам, которые достигаются из начального узла за минимальное время. При помощи итеративного процесса временно помеченные узлы преобразуются в постоянно помеченные. Процесс заканчивается тогда, когда все узлы помечаются постоянными метками.

Опишем алгоритм метода [1]:

Шаг 1. Пометить начальный узел числом 1, а метки для всех остальных узлов считать неопределенными.

Шаг 2. Вычислить время достижения каждого, соседнего с последним (постоянным), временного узла; прибавить эту величину к значению времени, необходимого для достижения данного последнего постоянного узла из начального; сравнить этот результат со значением, вычисленным ранее для этого временного узла и взять меньшую из этих величин в качестве новой временной метки узла.

Шаг 3. Изучить значение меток всех временно обозначенных узлов и узлу с минимальным значением метки присвоить постоянную метку. Практически в изучении нуждаются только узлы, соседние с постоянными.

Шаг 4. Повторять шаги 2 и 3 до тех пор, пока все узлы не будут обозначены постоянными метками.

Итак, в качестве способа отображения области занятой пожаром, выбрана ячеечная технология с регулярной сеткой ячеек. Сделано это по нескольким причинам. Во-первых, простота компонентов ячеечной технологии (как правило, это простые геометрические фигуры: прямоугольники, треугольники, квадраты и др.), используемых для моделирования поведения пожара, позволяет задавать на них любые законы и ограничения. Во-вторых, вследствие регулярности сетки ячеек, от них легко перейти к любой другой форме представления пространственной информации.

Однако, для того, чтобы использовать ячеечную технологию для визуального отображения динамики пожара, необходимо от объектов, моделирующих однородные участки местности, перейти к ячейкам.

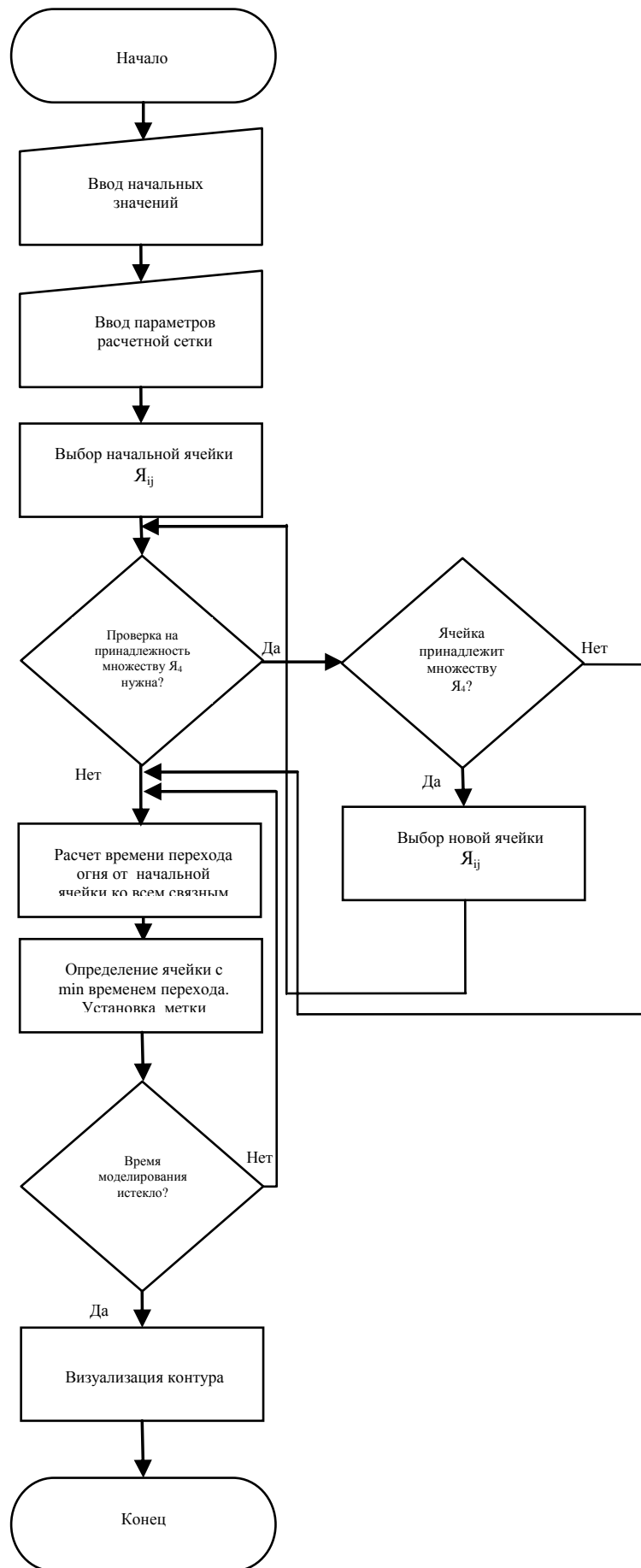


Рис.1 Блок-схема алгоритма



Для этого необходимо дискретизировать зону пожара на однородные участки.

Опишем этапы дискретизации:

На первом этапе лесная территория проецируется на горизонтальную плоскость и дискретизируется на плоские однородные участки, такие, как однородные участки леса, водоисточники (гидрография), дороги (инфраструктура). Каждый такой участок содержит информацию определенного типа: области, точки, линии.

Первый этап дискретизации происходит при создании электронной карты лесничества, когда однотипные данные выделяются в отдельные слои.

В отличие от геометрической структуры местности, геометрическая форма пожара динамически изменяется во времени.

Здесь происходит второй этап дискретизации - дискретизация области, состоящей из однородных участков, на ячейки, которые будем называть элементарными. Каждая элементарная ячейка будет наследовать статические свойства плоского однородного участка местности, к которому принадлежит ее центр, а также будет обладать дополнительными динамическими свойствами, отражающими процесс горения. Область, занятая пожаром, будет представлять собой множество таких ячеек, каждая из которых является объектом.

Таким образом, дискретизация зоны пожара происходит в два этапа:

- 1) дискретизация местности, спроектированной на горизонтальную плоскость, на однородные участки;
- 2) дискретизация области на элементарные ячейки.

Таким образом, геометрическая форма лесного пожара на плоскости представляется в виде случайного множества элементарных ячеек. Так как применение компьютера является неизбежным при моделировании распространения лесного пожара, то данный способ является более приемлемым при описании случайной геометрии пожара по сравнению с ее аналитическим описанием.

Дополнительные преимущества предоставляет послойная организация пространственных данных. Эти преимущества проявляются при разработке программного продукта. При послойной организации данных удобно манипулировать большими группами объектов, представленных слоями как единым целым, например, включая или выключая слои для визуализации, определять операции, основанные на взаимодействии слоев. Объекты в виде однородных участков местности, формирующиеся на первом этапе дискретизации, будем визуально отображать полигонами и отнесем к отдельному слою. Этот слой формируется на основе растрового изображения карты местности, которое, в свою очередь, также является отдельным слоем.

При моделировании лесного пожара потребуются дополнительный динамически формирующийся слой - слой элементарных ячеек. Слой элементарных ячеек служит для визуального отображения динамики пожара на лесной территории. Послойная организация пространственных данных приведена на рис. 2. Выделены следующие  $n$  слоев пространственных данных: слой с растровым изображением (под номером 1), слой с объектами-полилиниями (под номером 2), слой с объектами-полигонами (под номером  $n-1$ ), слой с элементарными ячейками (номер  $n$ ).

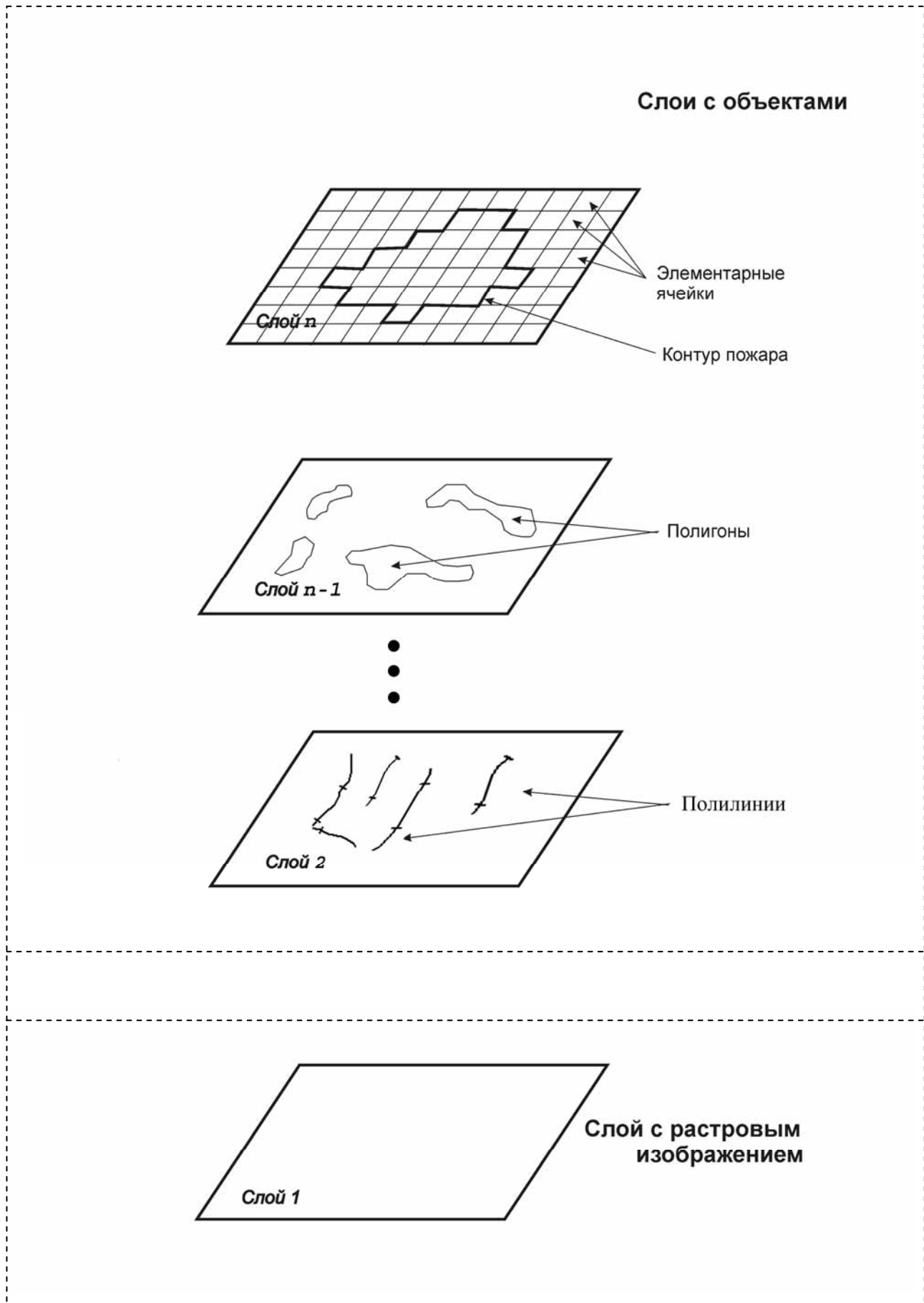


Рис. 2 Послойная организация пространственных данных

**Практическая реализация.** Для демонстрации работы приведенного выше алгоритма рассматривается сеть из 10 узлов с возможными путями перехода (рис.3).

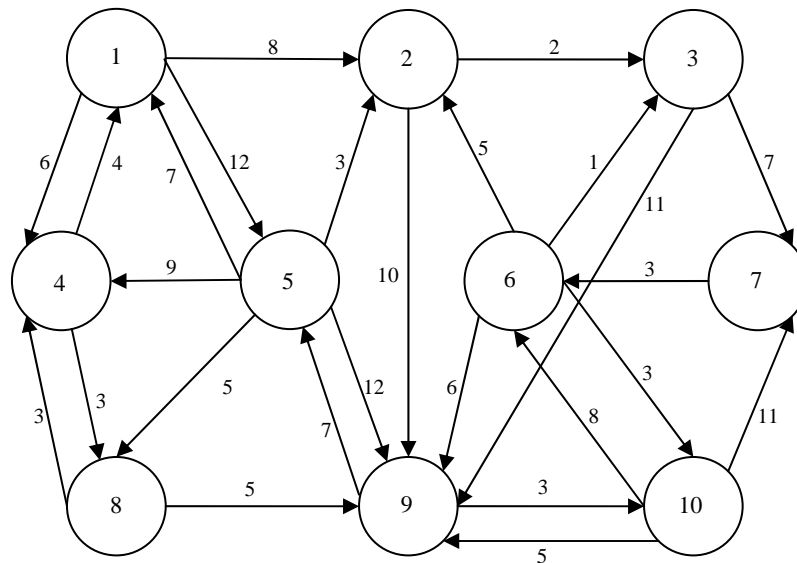


Рис.3 К пояснению алгоритма

На каждой дуге, соединяющей соседние узлы, нанесено время перехода от узла к узлу. За начальный выбран узел с номером 1, он помечается числом 0, и рассматриваются соседние с ним узлы 2, 4, 5. Им присваиваются временные метки соответственно 8, 6, 12. После сравнения значений временных меток, узлу с номером 4 присваивается постоянная метка 6. На следующем этапе постоянно помеченными будут узлы 1 и 4. В рассмотрение войдут соседние с ними узлы 2, 5, 8. Процесс повторится снова.

Программная реализация алгоритма приведена на рис.4.

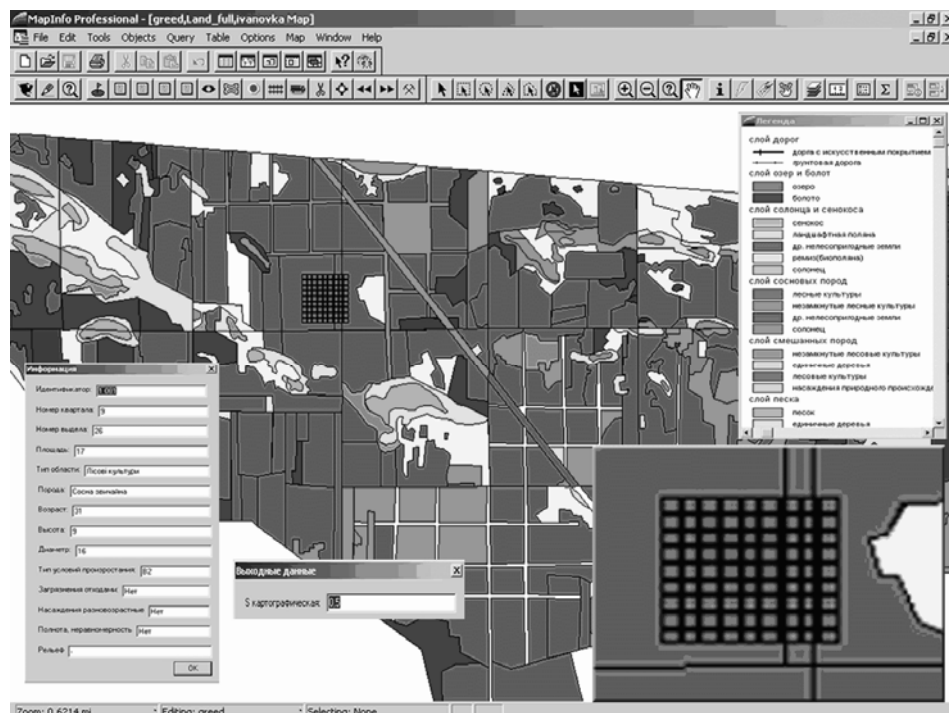


Рис. 4 Программная реализация алгоритма

Для программной реализации алгоритма была выбрана ГИС MAPINFO PROFESSIONAL [6]. Это мощная система географического анализа, с помощью которой можно вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Кроме того, ГИС MAPINFO PROFESSIONAL работает на платформах PC (Windows 3.x/95/98/NT), PowerPC (MacOS), Alpha, RISC (Unix), что позволяет переносить файлы данных с платформы на платформу без конвертации, тем самым, расширяя круг пользователей.

В качестве объекта моделирования выбрана часть Ивановского лесничества Херсонской области. На основе алгоритма, описанного выше, были проведены экспериментальные расчеты и смоделирована область пожара (рис. 4).

**Вывод.** Разработанные метод и алгоритм могут найти широкое применение в лесохозяйственной промышленности для охраны лесов и поддержки принятия решений во время ликвидации лесных пожаров. Они помогут не только хранить и обрабатывать данные, но и преумножать опыт специалистов. Разработанные метод и алгоритм так же могут пригодиться для кризисного центра Областного Управления Чрезвычайных ситуаций для тщательного анализа лесных пожаров и поддержки принятия решения по их ликвидации.

Description of the methods and algorithm, intended for spatial data visualization were used in the article. New geoinformation technologies were used at development of methods described in the article.

1. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979, 161 с.
2. Воробьев О.Ю. Среднемерное моделирование. – М.: Наука, 1984. – 136 с.
3. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 160 с.
4. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесного пожара // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. - № 1(14). - С. 312-315
5. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. - № 2(18). - С. 33-41
6. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: “Финансы и статистика”, 1998. – 288 с.
7. Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н. Структура и принципы функционирования системы поддержки принятия решений при ликвидации лесных пожаров на базе новых геоинформационных технологий. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические системы. – 2006. - № 1(17). - С. 99-104.

## ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681.5:004.78

### АКТУАЛЬНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛИЗАЦИИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ОБУЧЕНИЯ

Мазурок Т.Л., Тодорцев Ю.К.

Развитие системы образования на этапе становления информационного общества неразрывно связано с использованием информационных технологий. Однако, практика использования автоматизированных систем учебного назначения показывает, что технология наполнения программных оболочек дидактическим процессом является тупиковой. Перспективным является путь проектирования дидактического процесса от схемы управления к созданию программных оболочек [1].

Современная классификация дидактических систем по способу реализации управления выделяет ручное и автоматическое. По виду управления дидактические системы подразделяются на разомкнутое и цикличное (замкнутое). В соответствии с видом информационного процесса – дидактические системы могут быть рассеянными и направленными. При рассмотрении всей совокупности классифицирующих признаков получаем восемь основных дидактических систем [1].

Анализ традиционных или ручных дидактических систем с точки зрения их управляемости показывает, что, основываясь на аналогии с представлением технических систем управления, можно выделить следующие элементы (рис.1): объект управления – обучаемый; исполнительную (ИСП), измерительную (ИП), управляющую подсистемы (УП).

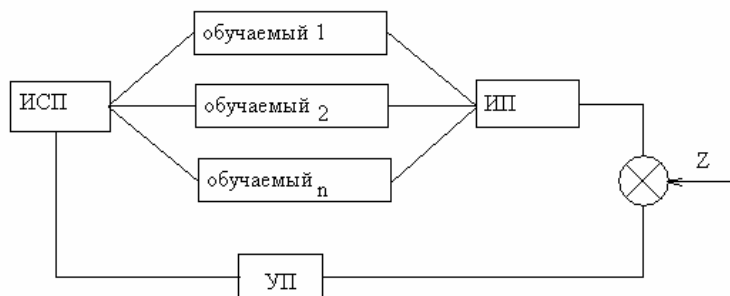


Рис.1 Схема ручного управления учебным процессом со стороны преподавателя

Таким образом, получается, что  $n$  разнородных объектов управляются одной подсистемой управления при единой задаче обучения  $Z$ . Один преподаватель на группу обучаемых не в состоянии обеспечить эффективное управление, так как объективно оценить результат учебной деятельности большой группы учащихся, принять решение индивидуально для каждого обучаемого требует огромных интеллектуальных ресурсов.

С другой стороны, обучаемый изучает одновременно в течение определённого времени  $m$  дисциплин и его участие в управляемом процессе можно представить структурной схемой (рис.2).

При этом на одного обучаемого приходится  $m$  разнородных подсистем управления и огромный поток несогласованной информации. В данной схеме отсутствует координация.

Внедрение в практику обучения автоматизированных обучающих систем (АОС), не смотря на многочисленные положительные последствия, не разрешило указанных противоречий.

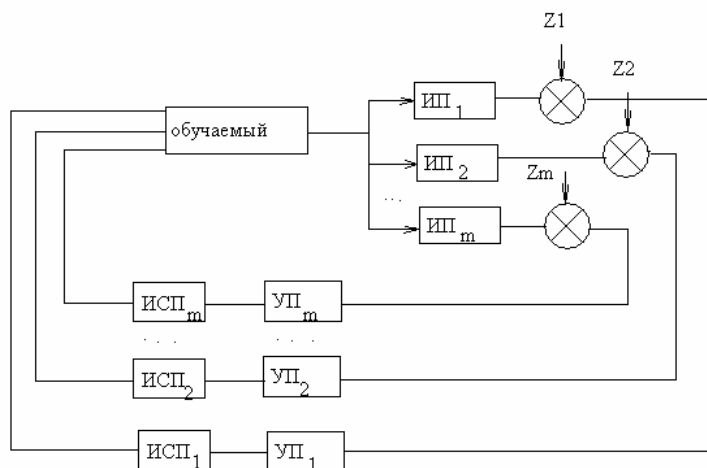


Рис.2 Схема потоков учебных воздействий на обучаемого

Анализ существующих электронных учебных материалов показал, что эффективность решения частных задач обучения и образования в целом определяется степенью управляемости обучаемым в процессе обучения [1]. В то же время совершенствование информационных технологий, развитие адаптивных средств автоматизации управления, бурное развитие интеллектуальных технологий в управлении обучением определяет роль компьютера как участника процесса обучения. Такая концепция сформулирована в работах Гальперина П.Я., Шадрикова В.Д., Беспалько В.П., Талызиной Н.Ф., Суходольского Г.В. и др.

Активно развиваются в последние годы АОС в виде сетевых программных систем управления учебным процессом, таких как Learning Space (<http://www.lotus.com/learningspace>), Top Class (<http://www.wbtsystems.com>), WebCT ([www.webct.com](http://www.webct.com)), ИОС ОО ([www.openet.ru](http://www.openet.ru)) и др. Эти системы интегрируют основные функции организации электронного обучения - регистрацию обучающихся, поддержку самостоятельной учебной работы, организацию индивидуального и группового взаимодействия обучающихся и преподавателей, промежуточное и итоговое тестирование и ряд других функций, поддерживающих, прежде всего, дистанционные формы организации учебного процесса. Необходимо отметить, что применение специализированных инструментальных технологических средств электронного обучения создает предпосылки, но также не гарантирует высокого дидактического качества учебных материалов и учебного процесса.

Фрагментарное и необоснованное использование электронных обучающих средств разрушает сложившуюся педагогическую систему. В соответствии с принципами системного подхода любое существенное изменение одного из элементов системы неизбежно вызывает необходимость пересмотра всей системы. Поэтому *актуальным является* целостное рассмотрение системы управления учебным процессом, в которой компьютерный инструментарий выполняет функцию автоматизации управления.

Для определения целей и задач автоматизированной системы управления процессом обучения (АСУ ПО) рассмотрим основные противоречия, которые сложились в процессе автоматизированного обучения, и возможности их разрешения с помощью информационных технологий.

С точки зрения традиционных схем автоматизированного управления (рис. 3) преподаватель формирует очередные управляющие воздействия. В существующих электронных курсах, в основном, определены жёсткие схемы, не учитывающие реальные индивидуальные особенности, цели обучения. Индивидуализация, в лучшем случае, заключается в последующем продвижении по изучаемому материалу в зависимости от результатов контроля. В условиях неустранимой новизны изучаемого материала, присущей этапу информатизации общества, выполнение функции индивидуализации

обучения преподавателем становится невозможным из-за ее критичности по времени. Следовательно, **первое противоречие**, присущее современным системам автоматизированного обучения состоит в том, что преподаватель не успевает качественно формировать управляющие воздействия на обучаемых на основе многокритериальной оценки его состояния, цели обучения. Таким образом, нарушается одна из важнейших тенденций современного образования – дифференциация.

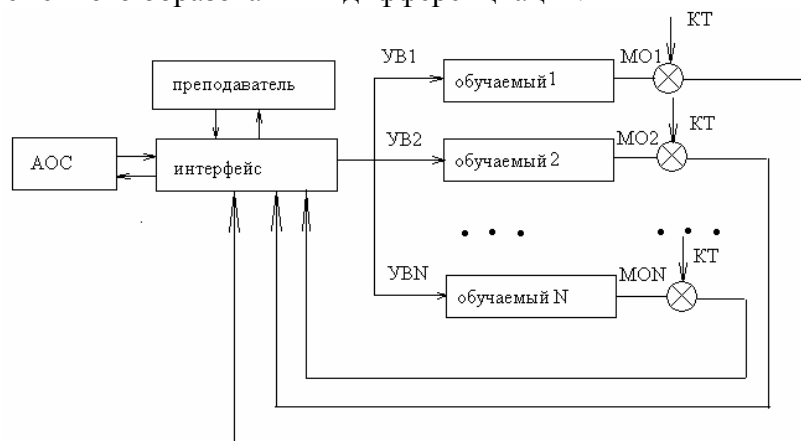


Рис. 3 Схема управления учебным процессом преподавателем в АОС

Основными элементами в представленной схеме управления являются:

УВ – учебное воздействие;

КТ – квалификационные требования, выражающие цель обучения; в общем случае (например, в дистанционном обучении) КТ могут быть различны для разных обучаемых;

МО – модель обучаемого - содержит результаты контроля, индивидуальные характеристики.

Если рассмотреть процесс учения, т.е. проанализировать неорганизованную, иногда противоречивую, нарастающую совокупность управляющих воздействий всех учебных курсов на каждого обучаемого, то очевидным становится и **второе противоречие** современных АОС (рис. 4). Суть его состоит в том, что множество управляющих воздействий, направленных на обучаемого, не согласованы, следовательно, не оптимизированы ни по объёму, ни по достижимости целей и т.д. Данное противоречие нарушает вторую важную тенденцию современного образования – интеграцию.

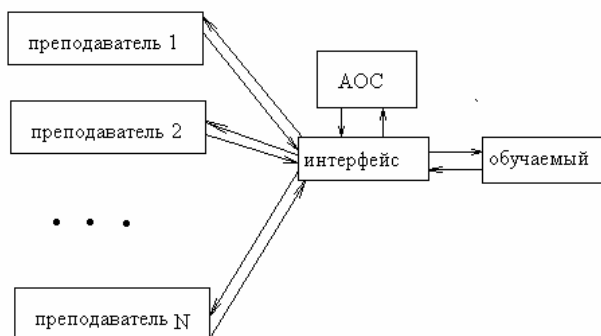


Рис. 4 Схема потоков обучающих воздействий на студента в АОС

Следовательно, повышение эффективности использования различных видов АОС (в т.ч. дистанционных) связано с устранением указанных двух противоречий. Таким образом, дальнейшее совершенствование АОС связано с использованием инструментария информационных технологий для решения следующих задач:

- формирование единой технологии автоматизированного обучения;
- разработка и реализация единого алгоритма управления;
- унификация процедур сбора информации об обучаемом (в т.ч. контроля);

- возможность учёта и управления системой межпредметных связей;
- разработка моделей и алгоритмов координации управляющих воздействий субъектов обучения.

С учётом сформулированных задач схема управления в АОС примет вид (рис.5):

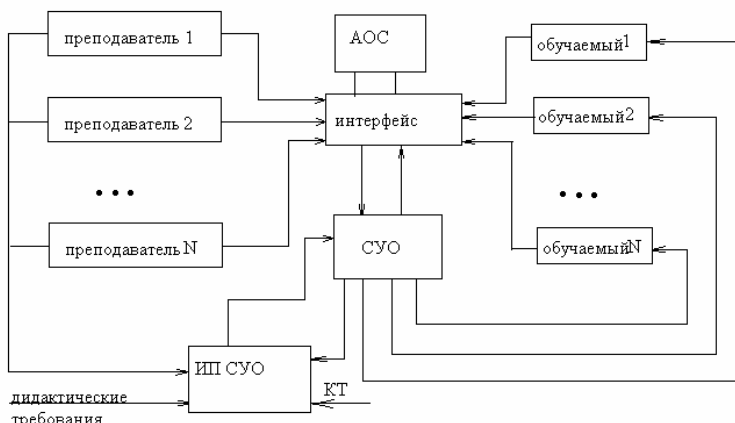


Рис. 5 Обобщённая схема управления в АОС

Здесь введены дополнительно два элемента:

СУО – система управления обучением;

ИП СУО – интеллектуальная поддержка СУО.

Таким образом, формирование управляющих воздействий выполняется СУО на основе интеллектуальной обработки информации об изучении монопредметных учебных дисциплин, полученной от преподавателей; системы дидактических требований; квалификационных требований; атрибутов модели обучаемых.

На основе сформированных требований к функциям системы управления рассмотрим предлагаемую структуру блока интеллектуальной поддержки СУО.

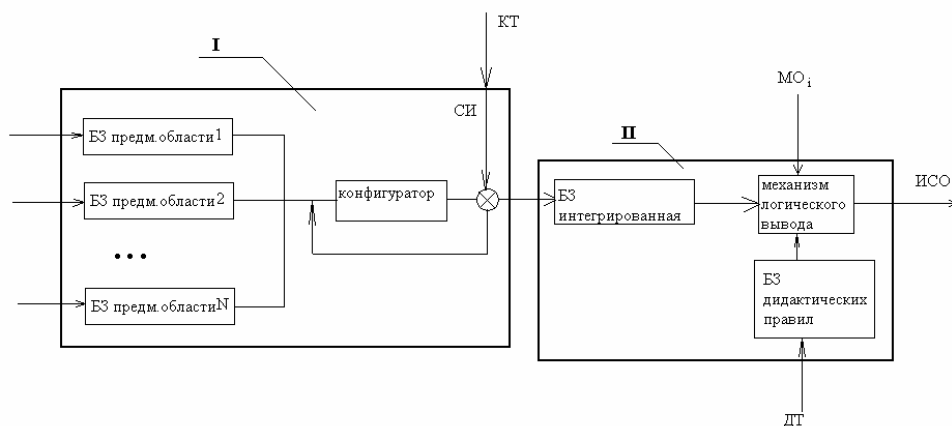


Рис. 6 Структура блока интеллектуальной поддержки АОС

Здесь показана структура блока ИП СУО, состоящая из двух основных частей:

I – контур формирования структуры интегрированного содержания обучения;

II – контур формирования индивидуализированной стратегии обучения на основе интегрированной БЗ;

КТ – квалификационные требования;

СИ – степень интеграции материала;

МО<sub>i</sub> – модель i-го обучаемого;

ДТ – дидактические требования;

ИСО – индивидуальная стратегия обучения.

Основная цель функционирования блока интеллектуальной поддержки состоит в формировании индивидуальной стратегии обучения. Исходными данными для этого



процесса являются: структуры предметных областей, полученные от преподавателей - представлены в виде соответствующих баз знаний; квалификационные требования к формируемым знаниям, умениям, навыкам и соответствующий им показатель степени интегрированности монопредметных областей; дидактические требования, полученные от экспертов-специалистов по методике обучения, дидактике; модели обучаемых.

В рамках I-го контура в результате функционирования конфигуратора формируется структура интегрированного содержания обучения данному учебному элементу. В основе функционирования конфигуратора применяется искусственная нейросеть [2], с помощью которой моделируется междисциплинарный объект изучения как модель ассоциативного мышления [3]. Процесс подбора в нейросети требуемых синаптических весов (соответствуют коэффициентам взаимосвязей между учебными элементами) носит итерационный характер. В результате «настройки» нейросети на требуемую степень интегрированности, получаем структуру взаимосвязанных учебных элементов, отобранных для содержания обучения.

Во втором контуре на основе процедур логического вывода [4], знаний о дидактических, психологических особенностях формирования последовательности изучения материала, формируются по мере поступления запросов из СУО, рекомендации по очередным элементам индивидуальных стратегий обучения.

Таким образом, задачи преподавателя по формированию индивидуальных управляющих воздействий на обучаемого передаются блоку интеллектуальной поддержки. Формирование базы знаний предметной области и её поддержание для преподавателя, как правило, процесс менее динамичный, чем управление процессом обучения, не имеет строгих временных ограничений. С другой стороны, обучаемый при такой схеме обучения получает унифицированное учебное воздействие, построенное с учётом тех взаимосвязей между дисциплинами, которые оптимальны с точки зрения формирования необходимых компетенций. Следовательно, предлагаемые направления использования интеллектуальных технологий, могут служить эффективным инструментарием для совершенствования АОС в плане разрешения указанных противоречий.

Some substantial contradictions, inherent the automated departmental teaching, are certain in the article. The operating charts of management are considered and a chart, containing the block of intellectual support of the teaching system, is offered. Intelligence support is offered to realize by the successive use the model of associative thought and logical conclusion.

1. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютеров (педагогика третьего тысячелетия). – М.: МПСИ, 2002.
2. Калан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Изд.дом «Вильямс», 2003.
3. Мазурок Т.Л. Ассоциативный подход к моделированию системы межпредметных связей в АОС //Сборник научных трудов четвёртого семинара «Информационные системы и технологии», Одесса, ОГАХ, 2006, с.155 – 162.
4. Частиков А.П. и др. Разработка экспертных систем. Среда CLIPS. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ  
УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ПРОЦЕССОМ

Ускач А.Ф., Становский А.Л., Носов П.С.

В настоящее время развитие системы образования не может обойтись без внедрения автоматизированных систем управления. Это касается не только самого процесса обучения, но и всех служб и комплексов, которые обеспечивают организацию этого процесса. Одна из таких работ, требующая автоматизации управления – работа диспетчера учебного заведения при составлении расписания занятий (календарном распределении аудиторного фонда).

В связи с реформами, связанными с присоединением Украины к Болонскому процессу, в частности, с внедрением кредитно-модульной системы организации учебного процесса, данная автоматизация требует создания не просто отдельной программы для решения задачи диспетчерской службы, а разработки целого комплекса программ обработки и распределения данных фонда учебного заведения, который будет подсистемой для единой системы управления и организации учебного процесса.

Задачи, которые должна решать описанная подсистема:

1. Определение недельной нагрузки преподавателя по отдельным дисциплинам ( в занятиях в неделю) исходя из нагрузки на семестр;
2. Составление текущего расписания занятий:
  - а) создание расписания занятий в полуавтоматическом режиме;
  - б) полностью автоматический режим создания расписания занятий;
3. Динамическое изменение исходных данных, а следовательно и текущего расписания (запрос меняется согласно базы созданной по учебному плану) с течением времени.
4. Возможность формирования индивидуального плана студента согласно базы вариативной части нагрузки студента.

Так как рассмотренная подсистема является лишь частью единой системы управления и организации учебного процесса, то данные нагрузки преподавателей (в часах) в нее должны поступать из подсистемы планирования педагогической нагрузки преподавателей учебного заведения. На начальном этапе работы первая подпрограмма системы анализирует исходные данные (аудиторный фонд; пожелания преподавателей; определяет количество пар в неделю по каждому предмету, в каждой группе, для каждого преподавателя). После этого первый цикл модулей дисциплин со всеми данными поступает в виде запроса в подпрограмму составления текущего расписания. Далее возможны два варианта: автоматический и полуавтоматический режимы составления расписания. В автоматическом режиме подпрограмма сама распределяет данные запроса и выдает результат в виде расписания занятий [2]. В полуавтоматическом режиме подпрограмма ведет себя как среда, облегчающая и корректирующая работу диспетчера, который в свою очередь сам решают задачу распределения нагрузки преподавателей по дням недели, в результате программа выдает расписание, составленное диспетчером.

После того как результат получен, активизируется счетчик стационарности текущего расписания, который необходим для определения момента его изменения (при вычитке определенного модуля, дисциплины). Когда этот момент наступает, информация отправляется снова в подпрограмму подготовки запроса, которая передает скорректированные данные в подпрограмму составления расписания, происходит изменение текущего расписания. Наблюдается некоторый цикл работы подсистемы (рис.1), который заканчивается при календарном завершении некоторого этапа обучения (семестр, учебный год, курс).

Согласно условий внедрения кредитно-модульной системы организации учебного процесса существует необходимость разработки индивидуальных графиков обучения студентов[1], поэтому рассмотренная система должна содержать подпрограмму, которая бы позволяла составлять такой график с учетом текущего расписания занятий.

Автоматизация процесса обучения должна представлять собой некоторую совокупность управляющих подсистем, каждая из которых выполняет определенную функцию и взаимосвязана со всеми подсистемами общей системы.



Рис.1 Схема работы подсистемы «Расписание»

В частности рассмотрен пример функционирования подсистемы «Расписание», которая позволяет не только составлять расписание по исходным данным, а и анализировать текущую информацию и принимать решение об изменении своего стационарного состояния.

The example of functioning of a subsystem "Schedule" which allows not only to make the schedule on initial data is considered, and both to analyze the current information and to make a decision about change of the stationary condition:

1. Сікорський П. Дидактичні поняття кредиту і модуля в контексті Болонського процесу // Шлях освіти. – 2004. - №2. - С. 15-19.
2. Ускач А.Ф., Гогунский В.Д., Яковенко А.Е. Модели задачи распределения в теории расписания / Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.—2006—№ 2(18).—С.98-104

ІНФОРМАЦІЙНА БАЗА ЯК ОСНОВА ДЛЯ СТВОРЕННЯ  
АСОРТИМЕНТУ ЛЛЯНИХ ВИРОБІВ

Рожков С.О., Кузьміна Т.О., Валько П.М.

**Вступ.** На Україні галузь льонарства існує здавна і вона з надлишком забезпечена лляною сировиною. Але заповнення в останній час Українського ринку дешевими імпортованими виробами, нездатність вітчизняних виробників швидко реагувати на зміни ситуації на ринку лляних виробів, знаходити резерви для зниження ціни товарів і головне – суттєво поліпшувати якість продукції призвело до того, що за останні роки виробництво вітчизняних лляних тканин і виробів з льону суттєво знизилася. При цьому брак достовірної інформації про якість сировини призводить до суттєвих втрат часу, можливостей і переваг [1, 2].

В сучасних умовах мода на лляні тканини і вироби швидко змінюється, тому підприємства легкої промисловості мають швидко реагувати на такі зміни з метою оновлення асортименту товарів. Можливість переробляти лляну сировину у волокна з різними потрібними фізико–механічними показниками дозволяє формувати модифіковані лляні волокна, що придатні до змішування з іншими видами волокон залежно від застосування майбутнього виробу. Важливо своєчасно припинити виробництво застарілої продукції і постачання її на ринок аби зменшити можливі збитки. Фахівці льонозаводів систематизують отримані данні і аналізують можливості власного виробництва. У випадку зменшення попиту на тіпане довге волокно на льонозаводах слід ретельно дослідити свої технологічні і технічні можливості, розглянути проекти з впровадженням новітніх технологій і реконструкції виробництва.

Не може пройти поза увагою аналіз результатів експлуатації товарів та строк служби окремих видів виробів з лляних волокон, де неабияким плюсом виробів з льону є їх екологічність. І не дарма виробники автомобілів і літаків широко застосовують лляні тканини для оздоблення внутрішньої частини цих транспортних засобів.

Основою аналітичної та маркетингової діяльності льонозаводів з метою формування асортименту лляних виробів з наявних запасів сировини мають бути дослідження, спрямовані на збирання і аналіз всієї корисної інформації з метою використання її для створення саме таких виробів і з такими фізико–механічними показниками, що сьогодні можуть задовольняти потреби потенційних споживачів. Для прийняття рішень і планування оптимальної технології виробництва нового асортименту лляних виробів в умовах льонозаводів, що в повній мірі задовольняє потребам потенційних споживачів, фахівці повинні розробляти нові, автоматизовані методи визначення якості луб'яних волокон, а відділи маркетингу мають бути поінформовані про реальні потреби у цих виробках.

**Аналіз останніх публікацій.** На формування асортименту лляних виробів впливають висновки відділів стандартизації і сертифікації льонозаводів [2]. Користь від такої інформації буває не лише у випадку планування випуску нових виробів, але й для удосконалення технології випуску нинішніх. Причому не можна обмежуватись кон'юнктурою вітчизняного ринку, адже зарубіжний досвід використання сировини, технологій і устаткування може бути неординарним і придатним для вітчизняного виробника.

Інформація з цього питання є основною для вибору технології виробництва оновленої продукції. Наявне устаткування та його технічні характеристики обов'язково мають бути проаналізовані, бо повна заміна обладнання або самої технології можуть виявитись економічно необґрунтованими. Для цього виробництва вкрай важливо постійно підвищувати якість сировини, з якої виробляються лляні вироби.

На рис. 1 показано модель системи якості лляних виробів з урахуванням інформаційних потоків.

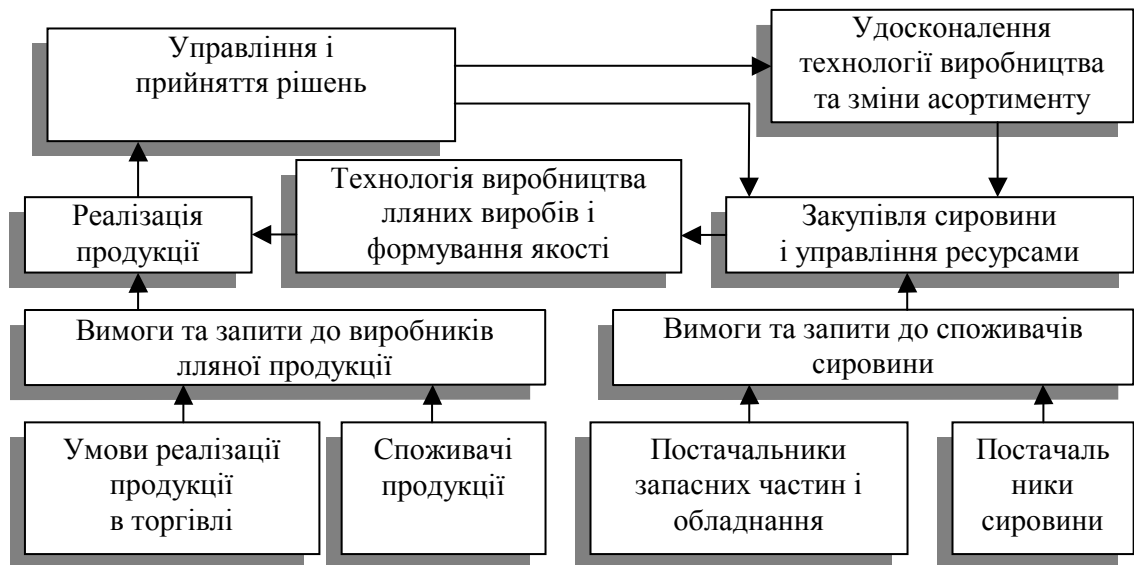


Рис.1 Модель системи якості лляних виробів з урахуванням інформаційних потоків

Найважливішою у прийнятті рішення про оновлення асортименту лляних виробів напевно стає первинна інформація про виробників лляної сировини (розміщення, врожайність, сорти, ціни); відомості про нові перспективні сорти льону; інформація про інших виробників та постачальників товару (об'єми виробництва, ціни) та вторинна інформація про новітні технології переробки волокон, можливість вторинного використання лляного волокна, вивчення кон'юнктури ринку.

Вплив зовнішньої інформації на формування асортименту лляних виробів в умовах льонозаводів показано на рис.2.

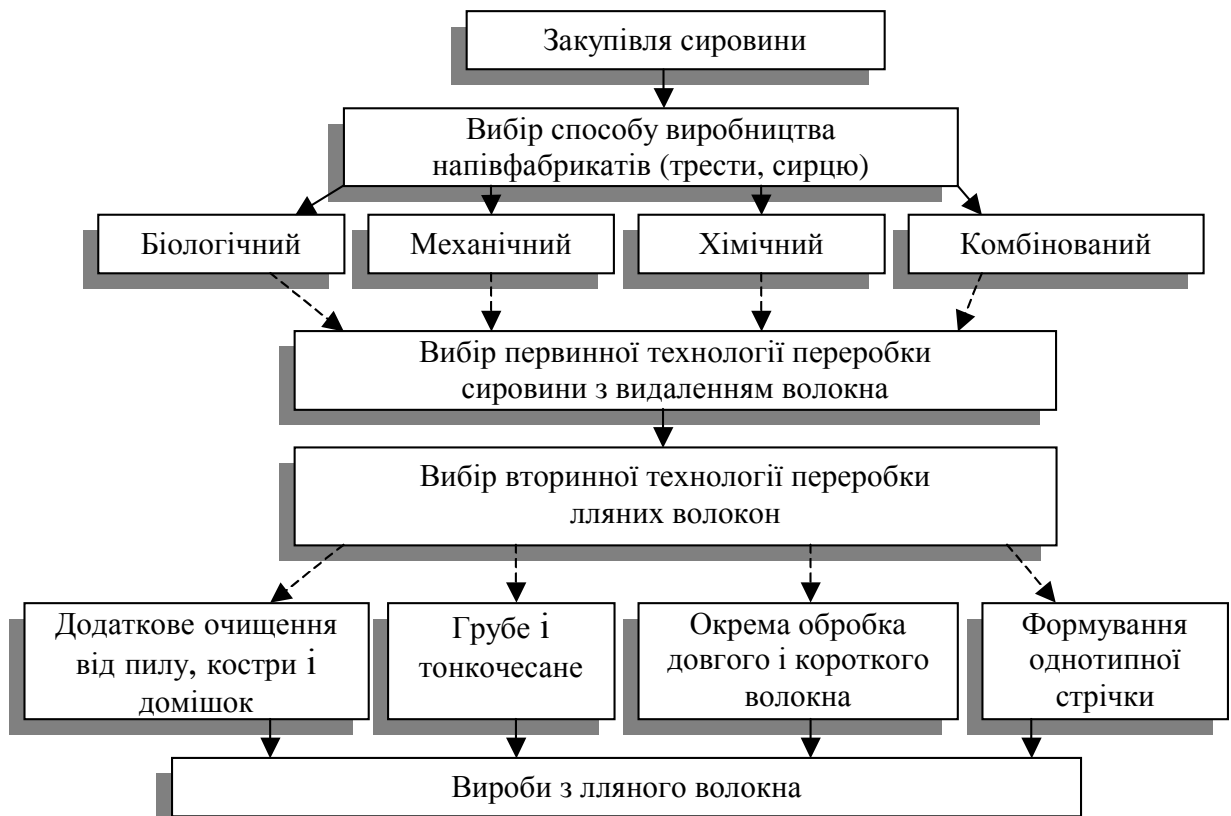


Рис.2 Вплив зовнішньої інформації на формування асортименту лляних виробів в умовах льонозаводів

Крім традиційної крученої пряжі у текстильній промисловості використовують різноманітні фасонні нитки: звивисті, гусеничні, петлісті, вузелкові та ін. Неоднорідність оцінювання структурних характеристик більшості ниток для виробництва текстильних полотен проводять за [3], що значно уповільнює визначення характеристик ниток розрахунковими методами.

Для лляного модифікованого волокна характерна досить велика розщепленість волокон, що значно ускладнює визначення лінійної густини волокон. Відсутність у цей час доступних автоматизованих інструментальних засобів і алгоритмів для визначення якісних характеристик лляних (рослинних) волокон дозволяє порушувати питання про розробку більш досконалих методів і алгоритмів.

Відомо, що оптичні методи аналізу є такими, що не руйнують і мають високу швидкодію. Дослідження таких методів, що побудовані на основі методів аналізу оптичних образів, дозволили розробити цілу гаму високопродуктивних оптичних аналізаторів [4]. Такі інструментальні методи для визначення і оцінки якісних показників різних матеріалів для текстильної промисловості сьогодні використовуються досить широко. Але висока вартість приладів, складність і трудомісткість вимірів обмежує їхнє практичне застосування.

Розвиток оптичних методів контролю дозволив розробити нові прилади, робота яких заснована на основі методів аналізу оптичних образів. Наприклад, такими є OFDA (Optical Fibre Distribution Analyser) і Laserscan [5, 9]. Метод визначення тонини вовни, що засновано у приладі Air-Flow, базується на використанні формули Kozenі [5]:

$$Q = \frac{g \cdot A_c}{16 \cdot k \cdot \eta \cdot L_c} \cdot \Delta P \cdot \frac{\varepsilon^3}{(1 - \varepsilon)^2} \cdot (1 + C^2)^2 \cdot \bar{d}^2 \quad (1)$$

чи в спрощеному виді:

$$Q = K \cdot \Delta P \cdot \bar{d}^2 \quad (2)$$

де:  $Q$  – середня щільність потоку (рідини чи повітря),  $\text{см}^3/\text{с}$ ;

$K$  – константа Kozenі;

$\Delta P$  – зміна тиску на об'єкт (наприклад, зразок вовни), що знаходиться в потоці,  $(\text{г}/\text{см}^2)$ ;

$d$  – квадрат середньої тонини вовни.

Але ці методи не можуть бути використані для визначення довжини і тонини волокон рослинного походження: прилади здатні обробляти спеціально приготовлені компактні проби вовни і тільки у водних розчинах. Для сировини рослинного походження такі вимірювання проводити недоцільно.

Для обробки зображень з використанням обчислювальних засобів використовують цифрові методи, які розділяють на дві категорії – структуровані і неструктуровані методи. Перша група методів побудована на використанні великих обчислювальних (програмних) блоків, що оперують не окремими відліками зображень, а векторами відліків.

Методи другої групи не можна представити більшими стандартними блоками, чим звичайні для існуючих цифрових обчислювальних машин арифметико-логічними операціями над окремими відліками сигналів. Неструктуровані методи, як правило, використовують на початковій стадії пошуку рішення змістовних задач обробки зображень і в міру знаходження рішення вони переростають у структуровані.

Рангові алгоритми позбавлені такого характерного недоліку, як просторова інерційність, де клас структурованих нелінійних алгоритмів здійснює перетворення виду

$$\bar{y} = \{y_k\} = F(x) = \{\Phi_k(x_k)\} \quad (3)$$

де  $\Phi_k(x_k)$  – нелінійна функція, що визначається деякою підмножиною рангів і порядкових статистик вибірки, утвореної відліками сигналу з деякого околу даного елемента, у послідовності впорядкованих відліків сигналу.

Відомо [6], що при використанні лінійних фільтрів вплив окремих деталей зображення проявляється на результуючому зображенні на відстані порядку розмірів апертури фільтра. Це помітно в розмиванні границь деталей при згладжуванні зображень, у перекручуванні форми деталей при їхньому виділенні із тла й т.п.

Методи рангових перетворень дозволяють здійснити нелінійне посилення високочастотної складової зображення, що приводить до підвищення детальності зображень, але при цьому процедура супроводжується зменшенням контрастності тонкоструктурних об'єктів. Можливим варіантом усунення цього недоліку є використання зважених рангових перетворень, де частковим випадком рангової фільтрації є медіанна фільтрація [7]. Рангові алгоритми використовують у процедурах обробки зображень – стандартизації, згладжування, посилення детальності, виділення об'єктів з фонові частини, виділення границь, визначення статистичних характеристик і т.д. Вони інваріантні до просторових зв'язків і до розмірності сигналу. Крім застосувань для згладжування, посилення детальності, виділення деталей зображень і границь деталей, рангові алгоритми можна вживати для рішення багатьох інших задач обробки зображень, наприклад, для діагностики статистичних характеристик перекручувань відеосигналу, стандартизації зображень, визначення статистичних характеристик відеосигналу й виміру текстурних ознак.

В різницевих методах вихідне зображення сканують двома апертурами з різною роздільною здатністю [6]. В одній апертурі роздільна здатність відповідає нормі, а в другий – нижче норми. Результат формується шляхом вирахування зображень за алгоритмом:

$$L^*(i, j) = kL(i, j) - (1 - k)\bar{L}(i, j) \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт пропорційності (у більшості випадків –  $\frac{3}{5} < k < \frac{5}{6}$ );  $L$  – масив елементів зображення;  $\bar{L}$  – масив елементів нечіткого зображення.

Більше розповсюдженим варіантом цього методу є

$$L^*(i, j) = k[L(i, j) - \bar{L}(i, j)] + c \quad (5)$$

де  $k$  – коефіцієнт підсилення контрастності;  $\bar{L}(i, j)$  – середнє арифметичне значення яскравостей елементів змінної апертури із центром в елементі з координатами  $(i, j)$  розміром  $n \times m$  елементів, де  $c$  – константа (часто  $c=128$ ).

$$\bar{L}(i, j) = \frac{1}{n \cdot m} \sum_{k=i-\lfloor \frac{n}{2} \rfloor}^{i+n-\lfloor \frac{n}{2} \rfloor-1} \sum_{l=j-\lfloor \frac{m}{2} \rfloor}^{j+m-\lfloor \frac{m}{2} \rfloor-1} L(k, l) \quad (6)$$

Для посилення локальних контрастів деталей різних розмірів і поліпшення візуального сприйняття зображень використовують корекцію фонові складової, на яку накладається високочастотна текстура об'єктів і деталей зображення. Створювання нових класів методів нечіткого маскування базуються на нелінійних перетвореннях локальних контрастів, де використовують також методи подання детальної складової зображення через локальний контраст.

Якщо під час досліджень сформованих зображень не використовується весь діапазон можливих градацій яскравостей, що визначає їхню низьку інформативність, застосовують методи розтягання. Наприклад, метод підвищення якості зображень, що складається в нелінійному перетворенні значень відеосигналу, де в основі таких перетворень лежить лінійне розтягання або гамма-корекція [6–8].

При забезпеченні нелінійного розтягання використовують модифікацію виразу (5)

$$L^*(i, j) = R \left( \frac{L(i, j) - L_{\min}}{L_{\max} - L_{\min}} \right)^\alpha \quad (7)$$

де  $L_{min}$ ,  $L_{max}$  – відповідно мінімальна й максимальна яскравості елементів зображення;  $L(i,j)$  – елемент зображення з координатами  $(i,j)$ ;  $R$  – максимальне значення яскравості елементів зображення;  $\alpha > 0$ .

**Постановка задачі.** Статистичний аналіз відомостей дає можливість отримати реальні і достовірні дані, що необхідні для прийняття обґрунтованих рішень стосовно поліпшення якості продукції. Для оцінки якості короткого лляного волокна треба розробити методику і пристрій, що дозволяють проводити неруйнівний контроль і вимірювання основних характеристик лляного волокна: довжини, тонини, заокругленості, розщепленості, лінійної густини і вмісту лляного компонента в суміші з бавовною.

**Основна частина.** Для формування інформаційної бази якісних параметрів лляних волокон можна використовувати сучасні методи цифрової обробки зображень, де якість зображення визначається більшою кількістю технічних характеристик системи: співвідношенням сигнал/шум і статистичні характеристики шуму, градаційними, спектральними (колірними) характеристиками, інтервалами дискретизації й т.д.

Відомо, що одним з основних показників є середня масодовжина льоноволокна, яка обчислюється як [3]:

$$L_g = \frac{L_1 M_1 + L_2 M_2 + \dots + L_n M_n}{M_1 + M_2 + \dots + M_n} = \frac{\sum_i^n L_n M_n}{\sum_i^n M_n}, \quad (8)$$

де:  $L_i$  – середнє значення довжини відповідної групи, мм;

$M_i$  – маса відповідної групи волокон, мг.

Контраст є одним з параметрів, які визначають якість зображень. Оскільки зображення має складний сюжетний характер, то це породжує необхідність при визначенні його контрастності виходити з контрасту окремих комбінацій елементів зображення. При цьому всі елементи вважаються ідентичними, і контраст кожної їхньої пари обчислюється по формулі

$$C_{ij} = \frac{L_i - L_j}{L_i + L_j} \quad (9)$$

де  $L_i, L_j$  - яскравості елементів сюжетного зображення.

Метод перетворення локальних контрастів використовують, якщо на зображенні присутні перекручування в певних локальних областях, які викликані дифракцією світла, недоліками оптичних систем або їх розфокусуванням. Це породжує необхідність виконання локальних перетворень зображення. Для підвищення якості зображень, що ґрунтується на перетворенні локальних контрастів [8], для кожного елемента зображення спочатку визначається локальний контраст, а потім відбувається його нелінійне посилення й відновлення яскравості даного елемента зображення із уже скоректованого локального контрасту. Ці методи дозволяють вирішувати задачі не тільки поліпшення візуальної якості зображень, але й реалізовувати як високочастотну, так і низькочастотну фільтрацію за допомогою застосування різних функцій перетворення локальних контрастів.

З обраного елемента  $L(i,j)$  із координатами  $(i,j)$  вихідного зображення  $L$ ,  $L(i,j) \in L$  обчислюють локальний контраст елемента

$$C(i, j) = \frac{|\bar{L}_1(i, j) - \bar{L}_2(i, j)|}{\bar{L}_1(i, j) + \bar{L}_2(i, j)}, \quad (10)$$

де  $m=3n$ ,  $n > 1$

$$\bar{L}_1(i, j) = \frac{1}{n^2} \sum_{(i,j) \in W_1} L(i, j), \quad (11)$$



$$\bar{L}_2(i, j) = \frac{1}{m^2} \sum_{(i,j) \in W_2} L(i, j). \quad (12)$$

Області  $W_1$  й  $W_2$  представляють собою змінні вікна у вигляді квадрата із центром в елементі з координатами  $(i, j)$ . При змінному розміщенні вікна  $W_1$  усередині змінного вікна  $W_2$  слід враховувати оптимальну апертуру вікна.

Локальний контраст підсилюють згідно (11)

$$C^*(i, j) = \phi[C(i, j)], \quad (13)$$

де  $\phi[C(i, j)]$  – нелінійна монотонно зростаюча і визначена на інтервалі  $[0, 1]$  функція, що задовольняє умовам

$$C(i, j) \in [0, 1], \phi[C(i, j)] \geq C(i, j), \phi[C(i, j)] \in [0, 1]. \quad (14)$$

Далі відбувається відновлення елемента зображення з координатами  $(i, j)$  й скоректованого контрастом  $C^*(i, j)$ . Для цього використовують (3) визначення локальних контрастів. Розрахунок за допомогою (3) – (9) проводять для кожного елемента зображення  $L$ .

Недостатня ефективність цього підходу, де результуюче зображення виходить розмитим, дозволило для усунення цього недоліку використати замість усередненого значення  $\bar{L}_1(i, j)$  значення центрального елемента  $L(i, j)$  [6]. При цьому область  $W_1$  вироджується в центральний елемент  $L(i, j)$  і приймає розміри  $n=1$ .

$$C(i, j) = \frac{|L(i, j) - \bar{L}_2(i, j)|}{L(i, j) + \bar{L}_2(i, j)}, \quad (15)$$

$$\bar{L}_1^*(i, j) = \begin{cases} \bar{L}_2(i, j) \frac{1 - C^*(i, j)}{1 + C^*(i, j)} & \text{при } L_1(i, j) \leq \bar{L}_2(i, j) \\ \bar{L}_2(i, j) \frac{1 + C^*(i, j)}{1 - C^*(i, j)} & \text{при } L_1(i, j) > \bar{L}_2(i, j) \end{cases} \quad (16)$$

Метод, що запропоновано, заснований на визначенні параметрів модифікованого волокна льону за допомогою комп'ютерних технологій. У даному методі пропонується визначати структурні характеристики лляних волокон по їх зображенню і передбачає виконання наступних етапів:

- приготування зразка за існуючими стандартами [3]. Підготовка зразка для аналізу короткого лляного волокна здійснюється в такий спосіб: зразки піддаються нормуванню по довжині, ширині, вазі і вклеюються в рамки, розміром  $12 \times 7,5$  см;
- одержання цифрового зображення зразка;
- обробка зображення в програмному середовищі MATLAB [8]. Обробка зображення виконується в два етапи: попередня обробка та кінцева. Попередня обробка містить в собі алгоритми покращення зображення, виділення границь об'єктів. При кінцевій обробці знаходять границі об'єктів та визначають їх геометричні характеристики.

Для реалізації метода в роботі використовувався планшетний сканер CanoScan 4200F.

Алгоритм, що був розроблений і реалізований у системі контролю структурних показників лляного волокна показано на рис. 3.

Послідовність виконання алгоритму обробки зображення зразка волокон льону:

- зчитування і відображення зображення;
- оцінка і апроксимація значень пікселей фона, перегляд поверхні фона;
- створення зображення з рівномірним фоном;
- поліпшення контрасту на оброблюваному зображенні;
- створення бінарного зображення;
- визначення числа об'єктів на зображенні;
- аналіз і перегляд матриці міток;

- подання матриці міток у вигляді псевдокольорового зображення;
- вимір властивостей об'єктів на зображенні;
- обчислення статистичних властивостей об'єктів зображення;
- побудова гістограми розподілу елементів зображення по їхньому розміру.

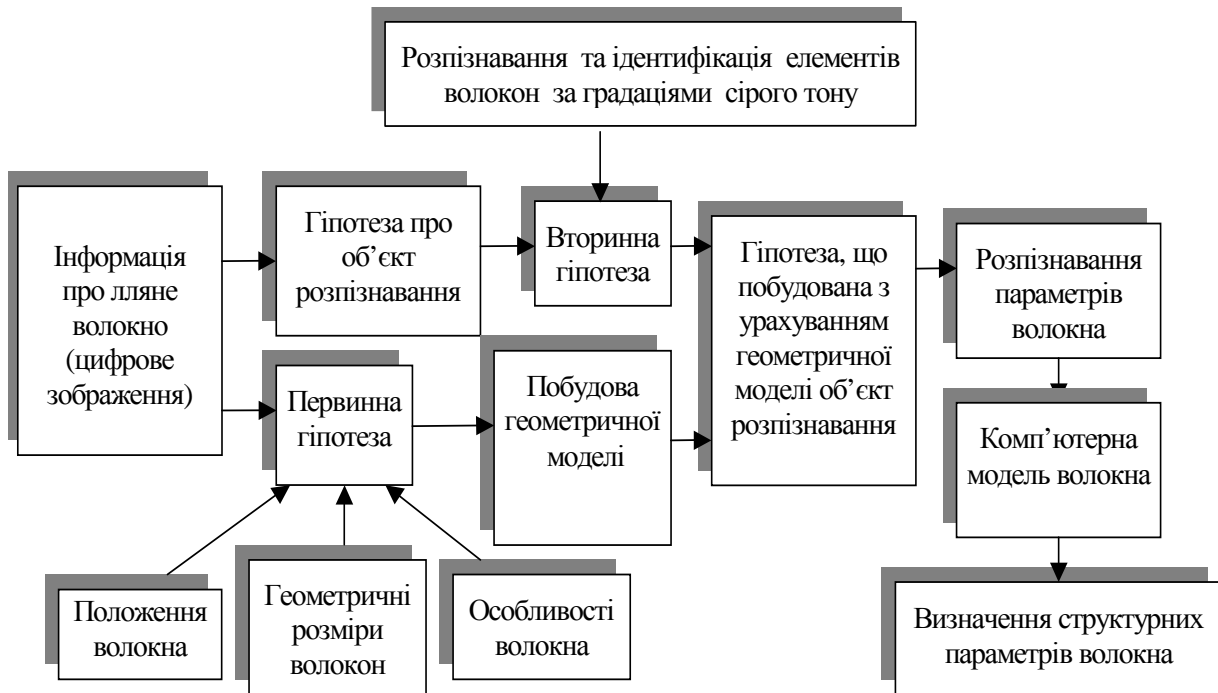


Рис. 3 Алгоритм безконтактного методу контролю структурних властивостей лляного волокна

На рис. 4, а – г показано приклади деяких окремих етапів формування зображень для визначення структурних параметрів льноволокна, де рис.4 а, б – зображення окремих волокон льону при визначенні довжини; рис.4 в, г – зображення при визначенні тинини.

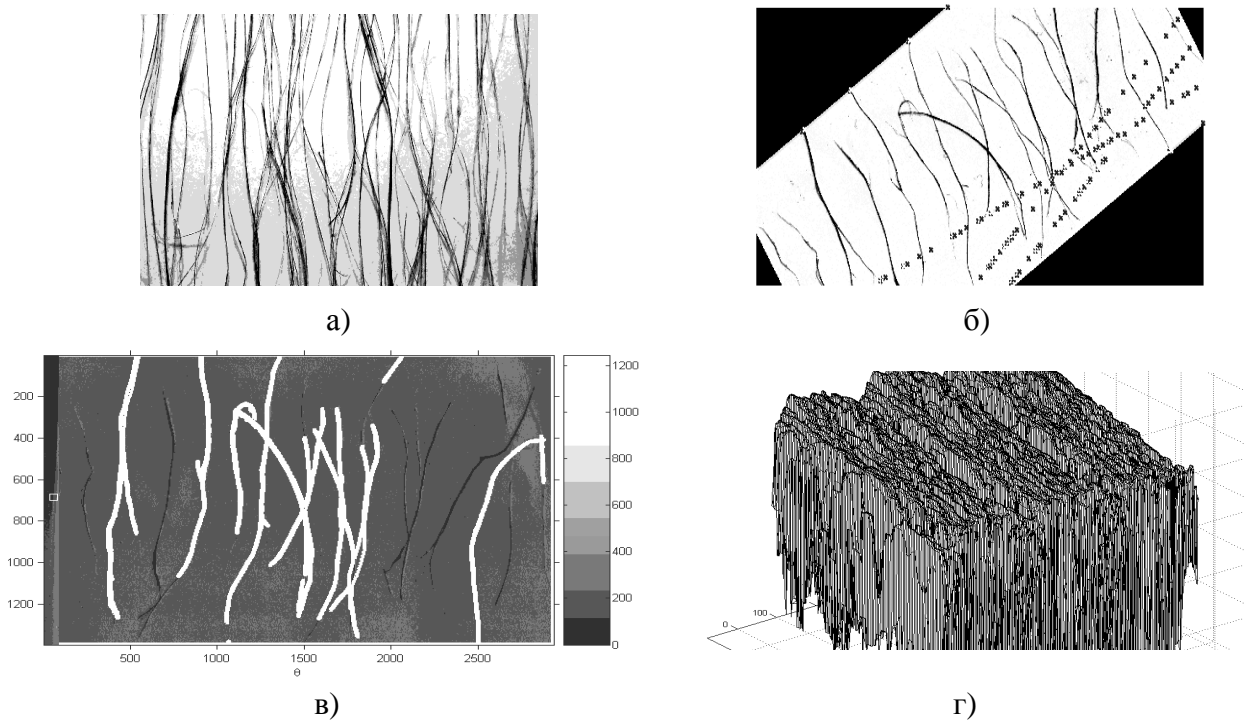


Рис. 4 Формування зображень для визначення структурних параметрів льноволокна

**Висновки.** Інформаційна база відіграє визначну роль у формуванні нового асортименту лляних виробів, що може задовольнити широкі потреби і запити споживачів. Результати аналізу статистичних, інформаційних і соціологічних досліджень можна використовувати в процесі формування та оптимізації асортименту лляних виробів в процесі їх виробництва на льонозаводах. Формування бази знань слід використовувати за допомогою сучасних методів цифрової обробки зображень.

The method of the processing the numerical expressing of the filament flex is presented. It is based on the using of the local contrasts for making a database, in which it is possible to define the stucture characteristics of the filament in program Matlab.

1. Орлов П.А. Менеджмент качества и сертификации продукции: Учебное пособие. - Х.: Издательский дом ИНЖЭК, 2004. – 304с.
2. Пугачевський Г.Ф., Осипенко Н.І. Методологічні засади формування показників якості текстильних матеріалів//Стандартизація, сертифікація, якість. –2005. – №2. –С.56–60.
3. Монастырский А. Г. Испытание текстильных материалов (лабораторный практикум). –М.: Легкая индустрия, 1970. –280 с.
4. Мирошников М.М. Теоретические основы оптикоэлектронных приборов. – Л.: Машиностроение, 1983. – 696 с.
5. Разумеев К.Э. Современные методы инструментального определения свойств шерстяного волокна//Текстильная промышленность. Научный альманах.–2005.–№1–2. – С.12–19.
6. Власенко В.А., Шкодин О.И. Микропроцессорные системы неразрушающего контроля качества изделий электронной техники. –К.: Техника, 1990. – 144 с.
7. Рожков С.А., Рудакова Г.В., Решетняк Ю.С. Моделирование алгоритма генерации эталонов для систем автоматического контроля качества текстильных материалов// Математическое моделирование в образовании, науке и промышленности: Сборник научных трудов. – СПб.: Санкт–Петербургское отделение МАН ВШ, 2005. –С.76 – 81.
8. Рудаков П.И., Сафонов И.В. Обработка сигналов и изображений. MATLAB 5.x/ Под общ. ред к. т. н. В. Г. Потемкина. –М.: ДИАЛОГ–МИФИ. 2000. –416 с.
9. [www.csiro.au](http://www.csiro.au) Dark Fibre detector and the dark fibre classifier

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 519.6+658.23:658.78

### УПРАВЛІННЯ МАТЕРІАЛЬНИМИ ЗАПАСАМИ З ОБМЕЖЕННЯМИ НА СКЛАДСЬКІ ПРИМІЩЕННЯ

Батурінець Є. В., Пасенченко Ю. А.

В статті вивчається задача управління запасами широкої номенклатури при наявності обмежень на складські приміщення та створенні страхових резервів.

Моделі управління запасами досліджуються в багатьох працях [2,3,4]. Особливістю моделі, що вивчається в даній роботі є наявність обмежень по попиту та складським приміщенням. Окремо досліджується оптимальний рівень страхового запасу в умовах невизначеності.

Приймемо наступні позначення:

$\beta_j$  – повний попит на  $j$ -ту сировину;

$C_{Lj}$  – вартість зберігання однієї одиниці  $j$ -ї сировини;

$C_{sj}$  – витрати по завезенню однієї партії  $j$ -ї сировини;

$V_j$  – об'єм складського приміщення, що зайнятий одиницею  $j$ -ї сировини;

$V$  – місткість складського приміщення;

$q_j$  – розмір замовлення  $j$ -ї сировини.

1. Припускаючи, що сировина витрачається рівномірно в часі, отримуємо середні (на одиницю часу) витрати по завезенню і зберігання  $j$ -ї сировини:

$$\frac{C_{Lj}}{2} q_j + \frac{C_{sj} \cdot \beta_j}{q_j}; \quad j = \overline{1, n} \quad (1)$$

та сумарні середні витрати по усій номенклатурі запасів:

$$Q(q_1, \dots, q_n) = \sum_{j=1}^n \left( \frac{C_{Lj}}{2} q_j + \frac{C_{sj} \cdot \beta_j}{q_j} \right). \quad (2)$$

З врахуванням обмежень на складські приміщення та розмір замовлення, отримуємо оптимізаційну задачу нелінійного програмування:

$$Q \rightarrow \min, \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^n V_j q_j \leq V, \quad (4)$$

$$0 \leq q_j \leq R_j; \quad j = \overline{1, n}. \quad (5)$$

Задачу (3) - (5) розв'язуємо за наступним алгоритмом:

а) Визначаємо оптимальний розмір замовлення за формулою Уїлсона [2] по кожній номенклатурі:

$$q_{j0_0} = \sqrt{\frac{2C_{sj} \cdot \beta_j}{C_{Lj}}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Якщо виконується обмеження (4), (5):

$$\sum_{j=1}^n V_j q_{j0_0} \leq V, \quad q_{j0_0} \leq R_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad (7)$$

то (6) є розв'язком задачі (3) – (5):

$$q_j^* = q_{j0_0}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (8)$$

б) Якщо  $\sum_{j=1}^n V_j q_{j_0} \leq V$  і існують  $q_{j_0} > R_j$ , для індексів  $j \in J \subset \{1, 2, \dots, n\}$ , то приймаємо:

$$q_j^* = R_j, j \in J; \quad q_j^* = q_{j_0}, j \notin J. \quad (9)$$

с) Якщо

$$\sum_{j=1}^n V_j q_{j_0} > V, \quad (10)$$

то розв'язуємо оптимізаційну задачу з обмеженням-рівністю:

$$Q \rightarrow \min; \quad \sum_{j=1}^n V_j q_{j_0} = V, \quad (11)$$

$$0 \leq q_j \leq R_j, \quad j = \overline{1, n}. \quad (12)$$

Для цього використовуємо функцію Лагранжа:

$$L(q_1, \dots, q_n, \lambda) = Q(q_1, \dots, q_n) + \lambda (\sum_{j=1}^n V_j q_j - V) \quad (13)$$

і знаходимо її стаціонарну точку:

$$q_{j_0}(\lambda) = \sqrt{\frac{2C_{sj}\beta_j}{C_{Lj} + 2\lambda V_j}}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (14)$$

В силу припущення (10) існує  $\lambda_1 > 0$  - корінь рівняння:

$$\sum_{j=1}^n V_j \cdot q_{j_0}(\lambda) = V. \quad (15)$$

Якщо  $q_{j_0}(\lambda_1) \leq R_j, j = \overline{1, n}$ , то знайдено оптимум:  $q_j^* = q_{j_0}(\lambda_1), j = \overline{1, n}$ .

д) Якщо існують  $q_{j_0}(\lambda_1) > R_j, j \in J_1 \subset \{1, 2, \dots, n\}$ , то приймаємо в рівнянні (11):  $q_j = R_j, j \in J_1; q_j = q_{j_0}(\lambda), j \notin J_1$  і знаходимо корінь  $\lambda_2 > 0$  рівняння:

$$\sum_{j \notin J_1} V_j \cdot q_{j_0}(\lambda) + \sum_{j \in J_1} V_j R_j = V. \quad (16)$$

Якщо  $q_{j_0}(\lambda_2) \leq R_j, j \notin J_1$ , то оптимум знайдено:

$$q_j^* = R_j, j \in J_1; \quad q_j^* = q_{j_0}(\lambda_2), j \notin J_1.$$

е) Якщо існують  $q_{j_0}(\lambda_2) > R_j, j \notin J_1$  то повертаємось до п.д алгоритму і розширюємо множину індексів  $J_1 \subset J_2$ . За скінчену кількість кроків оптимум буде знайдено, оскільки  $J_1 \subset J_2 \subset \dots \subset \{1, 2, \dots, n\}$ .

2. При розрахунку оптимального страхового запасу в умовах невизначеності припускаємо, що:

1) Термін виконання замовлення  $L$  є нормальна випадкова величина (в.в.) з математичним сподіванням (МС)  $m_L$  і середнім квадратичним відхиленням (СКВ)  $\sigma_L$ ;

2) Величини споживання  $j$ -го запасу в кожен фіксовану одиницю часу є однаковими незалежними між собою та з  $L$  в.в. Ці випадкові величини є нормально розподіленими з МС та СКВ рівними  $m_{1j}, \sigma_{1j}$ .

Тоді сумарна потреба в  $j$ -й сировині протягом періоду  $L$  є сума випадкової кількості випадкових величин і має нормальний закон розподілу з МС в СКВ рівними:

$$m_j = m_{1j} \cdot m_L; \quad \sigma_j = \sqrt{m_L \sigma_{1j}^2 + m_{1j}^2 \sigma_L^2}. \quad (17)$$

Нехай  $X_{jL}$  – випадкова величина – попит за час  $L$  виконання замовлення. Задамо ймовірність  $\omega$  - гарантію того, що попит не перевищить суми  $m_j$  та резерву  $V_j$   $j$ -ї сировини. Тоді  $V_j$  є розв'язком нерівності:

$$\text{Prob} \{X_{jL} \leq B_j + m_L \cdot m_{1j}\} \geq \omega . \quad (18)$$

Оскільки  $X_{jL}$  – нормальна випадкова величина, то отримуємо з (18):

$$B_j = \sigma_j \cdot \phi^{-1}(\omega); \quad j = \overline{1, n}, \quad (19)$$

де  $\phi(x)$  - інтеграл ймовірностей Лапласа. Таким чином, з врахуванням резерву замовлення складає (з гарантією  $\omega$ ):

$$\overline{q_{j0_0}} = q_{j0_0} + B_j; \quad j = \overline{1, n} . \quad (20)$$

Якщо виконується обмеження:

$$\sum_{j=1}^n V_j \overline{q_{j0_0}} \leq V, \quad \overline{q_{j0_0}} \leq R_j, \quad j = \overline{1, n} , \quad (21)$$

то (20) є розв'язання задачі (3) – (5) з гарантією (ймовірністю)  $\omega$ .

Якщо умови (21) не виконуються, то може не існувати рішення по забезпеченню запасами з заданою ймовірністю  $\omega$ . Це може бути, якщо не вистачає складських приміщень, або є певна регламентація зберігання різних запасів.

### Висновки.

1. В статті представлений алгоритм розрахунку оптимального розміру замовлення в задачі управління запасами, що враховує сукупні та номенклатурні обмеження складських приміщень.
2. В припущенні нормальних розподілів розрахований оптимальний страховий запас в умовах невизначеності.
3. Результати роботи дозволяють створення програмного продукту, за допомогою якого можна проводити числові розрахунки оптимальних та страхових рівнів замовлення.

The theme of article is managements of material resources with restrictions on warehouse and creation of an insurance stock. The stock in modern business ceases to be only settlement parameter of activity, becomes one of the basic objects of management who provides success of work of the enterprise. In decision-making on a place and a role of a stock in the organization take part including managers of the top echelon of management who define strategy of development of business. Their attitudes to a stock defines the further opportunities of management of the basic operational function of the company The optimum strategy of storekeeping offered in given article in borders of widely nomenclature model allows to supervise effectively over logistical system of the enterprise, and also optimum to plan the additional information, such as a level of procurement prices, expenses for performance, delivery of the order and preservation of a stock.

1. Бауэрсокс Д.Дж., Клосс Д.Д. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: Олтимп-Бизнес, 2001. – 336 с.
2. Зайченко Ю. П. Дослідження операцій – К.: ЗАТ "ВІПОЛ", 2000. – 687с.
3. Линдерс М.Р., Харольд Е.Ф. Управление снабжением и запасами. Логистика. - Пер. с англ. – СПб.: Полигон, 1999. – 448с.
4. Ларин О.Н. Расчет оптимального объема заказа / Ларин О.Н.// Бизнес и логистика – 2002: Сборник материалов IV Московского международного Логистического Форума (ММЛФ – 2002). – 2002. – С. 67 – 70.
5. Сток Д.Р., Ламберт Д.М. Стратегическое управление логистикой. – М.: ИНФРА-М, – 2005. – 440с.
6. Мещанкин А.С. Системы контроля товарно - материальных запасов. Формула Уилсона // Логистик & система. – 2006. – №5. – С. 40 – 45.
7. Стерлигова А.Н. Проблемы выбора подходов к управлению запасами в логистических системах предприятия // Логистические решения: Сб. материалов конференции. – Смоленськ: СКИ, 2002. – С. 4 – 10.

## ОПТИМІЗАЦІЯ УСТАНОВКИ КОНТАКТНОЇ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

Ладієва Л.Р., Жулинський О.А

При експлуатації установки процесу КМД розглядалась задача оптимізації статичних режимів роботи плоско камерних мембранних модулів. Важливо те, що даний процес відповідно техніко - економічним оцінкам [1] може конкурувати з такими традиційними мембранними технологіями, як зворотній осмос чи ультрафільтрація. Причому його ефективність може значно зрости при оптимізації всього процесу.

Установка для процесу контактної мембранної дистиляції включає теплообмінник для підігріву розчину, насос і мембранний модуль. В якості теплоносія може використовуватись низькоенергетичне (вторинне) тепло. З метою підвищення рівня енергозбереження процесу КМД розглядається задача оптимізації роботи установки.

В процесі КМД використовували центробіжний насос з тіресторною схемою керування, що дозволило зменшити витрати електроенергії.

В якості критерію оптимальності вибрано питому собівартість процесу КМД, що включає енерговитрати на підігрів розчину, перекачування його і амортизаційну вартість мембран. Вартість процесу переробки в мембранному модулі, може бути представлена рівнянням:

$$C = a_1 Q_{II} + a_2 N_2 + C_{\text{вир}} + C'_0 \quad (1)$$

де  $a_1$  – вартість одного джоуля тепла, що підводиться з парою,  $\frac{\text{грн}}{\text{Дж}}$ ;  $Q_{II}$  – кількість тепла, що сприймається розчином, від гріючої пари,  $\frac{\text{Дж}}{\text{год}}$ ;  $a_2$  – вартість однієї кіловат-години електроенергії, що витрачається на привід насоса,  $\frac{\text{грн}}{\text{кВт} \cdot \text{год}}$ ;  $N_2$  – потужність електродвигуна, що витрачається на привід насоса, кВт;  $C_{\text{вир}}$  – вартість виробничих витрат (що включає амортизаційні відрахування, вартість ремонту та інше),  $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$ ;  $C'_0$  – стала складова собівартості,  $\frac{\text{грн}}{\text{год}}$ .

Як відомо, у промисловій практиці при експлуатації теплових апаратів виробничі витрати  $C_{\text{вир}}$ , що включають і амортизаційні відрахування, часто умовно приймають сталою величиною. Цю величину можна представити:

$$C_{\text{вир}} = a_o Q_{M_o} \quad (2)$$

де  $a_o$  - коефіцієнт, який враховує питому вартість виробничих витрат, що віднесені до одного джоуля тепла,  $\frac{\text{грн}}{\text{Дж}}$ ;  $Q_{M_o}$  - фіксована кількість тепла, що сприймається мембраною,  $\frac{\text{Дж}}{\text{год}}$ . Тоді з урахуванням (2) рівняння (1) приймає вигляд:

$$C = a_1 Q_{II} + a_2 N_2 + a_o Q_{M_o} + C'_0 \quad (3)$$

При інших рівних умовах, кількість тепла, що сприймається мембраною від розчину, залежить від інтенсивності тепловіддачі. Це може бути виражене співвідношенням:

$$\frac{Q_M}{Q_{M_o}} = \frac{\alpha}{\alpha_o}, \text{ чи } Q_{M_o} = Q_M \frac{\alpha_o}{\alpha} \quad (4)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі від розчину до мембрани при поточному значенні тепла, що підводиться  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ;  $\alpha_{2_0}$  - теж при фіксованому його значенні,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ . При підстановці (4) в рівняння (3), останнє приймає вигляд:

$$C = a_1 Q_{II} + a_2 N_2 + a_0 Q_M \frac{\alpha_0}{\alpha} + C'_0 \quad (5)$$

Припустимо, що тепло, яке отримує розчин, віддається мембрані:  $Q_{II} \approx Q_M$ . Розділивши праву і ліву частини рівняння на  $Q_{II}$  і віднісши  $a_1$  до  $C'_0$ , отримаємо функцію цілі, сформульовану як питому собівартість процесу переробки в мембранній установці:

$$R = a_2 \frac{N_2}{Q_M} + a_0 \frac{\alpha_0}{\alpha} + C_0 \quad (6)$$

Для мембран з доброю проникністю вважали, що перенос тепла через мембрану здійснюється перш за все за допомогою потоку пари:

$$Q_M \approx J_{II} S_m r \quad (7)$$

де  $J_{II}$  - питомий потік пари через мембрану,  $\frac{кг}{м^2 \cdot с}$ ,  $S_m$  - поверхня мембрани,  $м^2$ ,  $r$  - прихована теплота пароутворення,  $\frac{Дж}{кг}$ .

Тоді з урахуванням (7), рівняння (6) прийме вигляд:

$$R = a_2 \frac{N_2}{J_{II} S_m r} + a_0 \frac{\alpha_0}{\alpha} + C_0 \quad (8)$$

Представлене рівняння (8) виразу функції цілі, містить відносну зміну тепловіддачі  $\frac{\alpha_0}{\alpha}$ , потужність двигуна, що витрачається на привід насоса  $N_2$  і потік пари через мембрану  $J_{II}$ .

Значення коефіцієнтів тепловіддачі фіксованого  $\alpha_0$  і поточного  $\alpha$  можуть бути підраховані за формулою [2], представленою у вигляді:

$$\alpha = 0,023 \frac{\rho^{0,25} \cdot c_p^{0,25} \cdot \lambda^{0,75} \cdot W^{0,8}}{\bar{D}_{63} \cdot \bar{d}^{0,2} \cdot \gamma^{0,55}} \quad (9)$$

Ця формула справедлива при турбулентній течії розчину. Позначимо індексом "0" фіксовані значення технологічних і конструктивних параметрів, а без індекса – поточні її значення. Тоді:

$$\frac{\alpha_0}{\alpha} = \left( \frac{W_0}{W} \right)^{0,8} \cdot \left( \frac{\bar{d}}{\bar{d}_0} \right)^{0,2} \quad (10)$$

Потік пари в гідрофобній мікропоруватій мембрані в процесі КМД описується виразом:

$$J_{II} = \frac{M \varepsilon \bar{D}_{вз} \cdot \bar{p} \cdot \ln \left| \frac{p_x - p_2}{p_2 - p_1} \right|}{\delta \chi RT} \quad (11)$$

У цей вираз, окрім коефіцієнтів поруватості  $\varepsilon$  і звивистості  $\chi$ , входить конструктивний параметр – товщина мембрани  $\delta$ .

Потужність, що споживається двигуном насоса  $N_2$ , визначається наступним чином:

$$N_2 = \rho g W S H, \quad (12)$$



де  $H$  – напір, м,  $S$  – площа поперечного перерізу нагнітального трубопроводу насоса,  $m^2$ ,  $\rho$  – густина рідини, що перекачується,  $\frac{\kappa z}{m^3}$ . Враховуючи (11), (12) перший член рівняння (8) можна записати так:

$$a_2 \frac{N_2}{J_{II} S_M r} = a_2 \frac{\rho g W S H}{M \varepsilon \bar{D}_{\text{вз}} \bar{p} \ln \left| \frac{p_x - p_2}{p_2 - p_1} \right| S_M r} \quad (13)$$

Приймаючи  $a_2 = 0,22 \frac{z p H}{\kappa B m \cdot z o d} = 0,6 \cdot 10^{-7} \frac{z p H}{B m \cdot c}$ ,  $\chi = 2$ ,  $\varepsilon = 0,8$ , рівняння (13) може бути представлено так:

$$a_2 \frac{N_2}{J_{II} S_M r} = 0,6 \cdot 10^{-7} \cdot 2,78 \delta \cdot W \quad (14)$$

Представивши рівняння (8) у функцію цілі і, з урахуванням вищесказаного може бути перетворена до наступного вигляду: так при оптимізації процесу КМД за керуючим впливом, швидкістю подачі розчину, рівняння (8) з урахування (10), (14) приймає вигляд:

$$R = 1,668 \cdot 10^{-7} \delta W + a_0 \left( \frac{W_0}{W} \right)^{0,8} \left( \frac{\bar{d}}{\bar{d}_0} \right)^{0,2} + C_0 \quad (15)$$

Наявність конфліктної ситуації у функції цілі, представленої рівнянням (15), має місце, так як маємо виражену протилежну направленість складових питомої собівартості і їх не лінійність. Для того, щоб впевнитися в наявності екстремума в розглянутому рівнянні і щоб він потрібної природи, нами, проведено чисельний аналіз.

Результати чисельного аналізу роботи установки процесу КМД наведені на рис. 1.

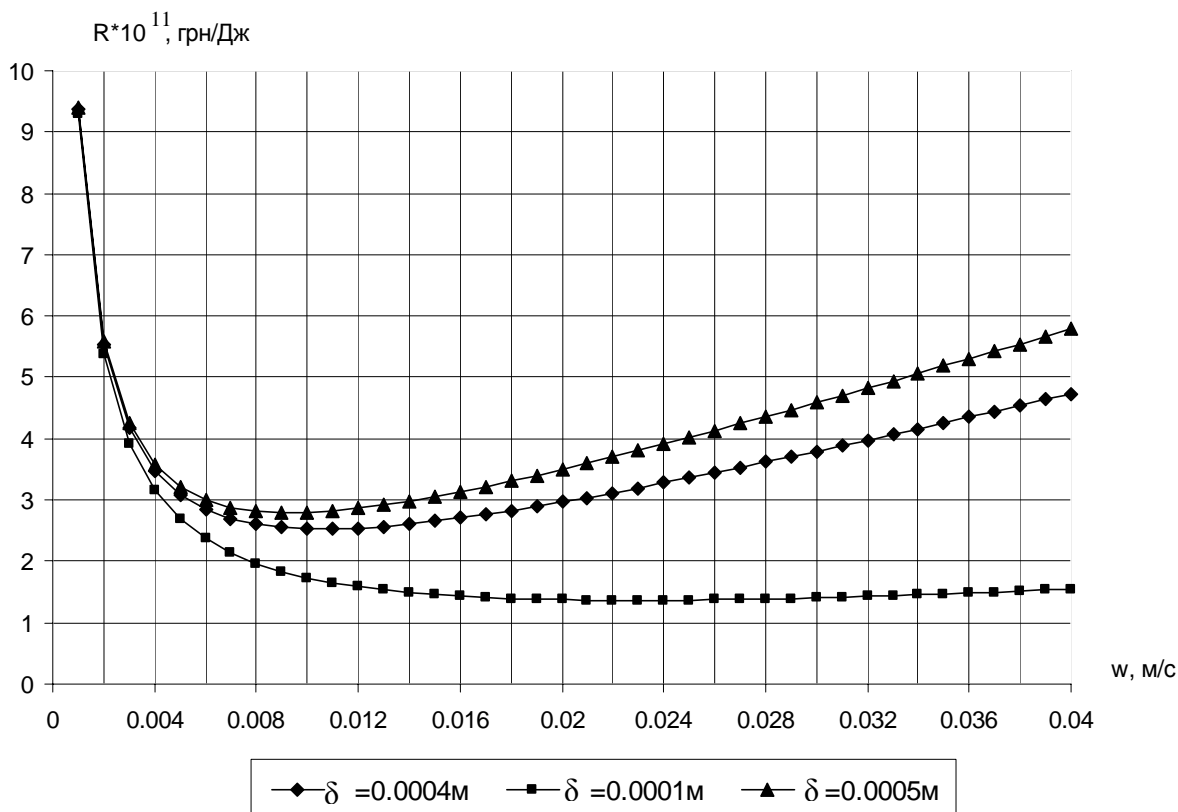


Рис. 1 Залежність функції цілі від швидкості при  $\delta = \text{const}$

Як видно з графіків, криві залежності  $R = f(W)$  мають виражений екстремальний характер. При цьому із збільшення товщини мембрани екстремальні точки суттєво зміщуються вліво в сторону менших швидкостей подачі розчину.

Наведення дає підстави вважати, що рівняння (15) може бути викотистано при оптимізації процесу КМД за мінімумом мінімальної собівартості. Це дає підстави перейти безпосередньо для розрахунку оптимальних значень  $W$  і основного конструктивного параметра мембрани  $\delta$ . Для цього скористаємося відомим з класичного аналізу методом визначення безумовного екстемуму шляхом прирівнювання до нуля першої похідної функції цілі за цікавлячи нас параметром  $W$ . Перша частина похідна функції цілі представленої рівнянням (15) і при умові  $d = \text{const}$ , будучи прирівняною до нуля, має вигляд:

$$\frac{\partial R}{\partial W} = -0,106 \cdot 10^{-11} \frac{W^{0,8}}{W^{1,8}} + 6,672 \cdot 10^{-11} = 0 \quad (16)$$

Розв'язуючи це рівняння відносно швидкості подачі розчину, отримаємо:

$$W_{on} = \frac{0.000302W^{0.44}}{\delta^{0.55}} \quad (17)$$

Приймаючи  $a_0 = 0,1337 \cdot 10^{-8} \frac{z_{PH}}{кДж}$  і  $W_0 = 0,1 \frac{м}{с}$  і підставляючи в (17), отримаємо:

$$W_{on} = \frac{0.149 \cdot 10^{-4}}{\delta^{0.55}} \quad (18)$$

Отримані за цим рівнянням швидкості розчину  $W$  є оптимальними, так як вони відповідають мінімуму питомої собівартості процесу. Отримана залежність (18) дозволяє розрахувати  $W_{on}$  для різних технологічних і конструктивних параметрах. Для того, щоб впевнитися в наявності оптимуму, запишемо матрицю Гессе:

$$\nabla^2 R(W, \delta) = \begin{bmatrix} 0.1908 \frac{W_0^{0.8}}{W^{2.8}} & 0 \\ 0 & 1.668 \cdot 10^{-7} \end{bmatrix} \quad (19)$$

яка є додатньо визначеною. Це підтверджує наявність ізольованого локального мінімуму. Чисельний аналіз за розробленою методикою розрахунку оптимальних технологічних параметрів процесу КМД показав наявність чітко вираженого екстремуму функції цілі від швидкості подачі розчину, що дозволяє на стадії проектування провести оптимізацію за основним конструктивним параметром – товщиною мембрани.

The criterion of unconditional static optimization of installation direct contact membrane distillation which will consist in minimization of the cost price of process of processing is formulated. The design procedure of optimum technological parameters of the unit of process DCMD is developed. The numerical analysis is carried out and existence of a well defined extremum of function of the purpose from speed of submission of a solution is shown. For a design stage optimization of installation of process КМД on the basic design data - thickness of a membrane is executed.

1 Fane A. G., Schofield R. W., Fell C. F. D. The efficient use of energy in membrane distillation // Desalination, – 1990, – v. 64, – P. 231

2 Угрозов В. В. Математическое моделирование процесса контактной мембранной дистилляции в проточном модуле. – ТОХТ, – 1994, – Т. 4, – С. 375 - 380

УДК 681.51

НОВЫЕ СООТНОШЕНИЯ ДЛЯ СИНТЕЗА ЦИФРОВЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ  
ОДНОМЕРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЪЕКТОВ С  
ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Стопакевич А.А.

**Введение.** Объекты управления, моделируемые в виде инерционного или интегрального звеньев с запаздыванием, являются традиционным объектом исследования в инженерной теории автоматического управления. Для синтеза систем управления таких объектов с типовыми регуляторами разработаны многочисленные методики настройки. Однако, внедрение компьютерной техники требует использования более совершенных цифровых систем управления. Такие системы можно рассчитать, используя разработанный аппарат синтеза оптимальных цифровых регуляторов с наблюдателями. Такой расчет, в традиционной постановке, невозможен без применения специализированных программ (например, Матлаб), зачастую существенно использующих ресурсы компьютера. В то же время, желательно было бы иметь простые инженерные соотношения для настройки систем на технологическом объекте управления, а также для использования в адаптивных системах управления. Такие соотношения впервые получены в настоящей статье. Побочным теоретическим результатом, вытекающим из полученных соотношений, является то, что, оказывается, параметры оптимального регулятора состояния совершенно не зависят от запаздывания и определяются исключительно постоянной времени объекта и периода дискретности.

**1. Модель объекта управления в дискретном времени.** Зададимся объектами управления в виде инерционного или интегрального звена с запаздыванием в виде:

$$W_0^1(p) = \frac{k_1}{T_1 \cdot p + 1} \cdot e^{-p \cdot \tau_1} \tag{1}$$

или

$$W_0^2(p) = \frac{k_2}{T_2 \cdot p} \cdot e^{-p \cdot \tau_2} \tag{2}$$

Переведем модель объекта управления в дискретное время, запишем

$$x_{i+1} = \alpha \cdot x_i + \beta \cdot u_{i-m}, \tag{3}$$

где  $\alpha = e^{-\frac{\Delta t}{T_1}}$ ,  $\beta = k_1 \cdot (1 - \alpha)$  – для системы, эквивалентной  $W_0^1$ ;

$\alpha = 1$ ,  $\beta = k_2 \cdot \Delta t / T_2$  – для системы, эквивалентной  $W_0^2$ ,

$\Delta t$  – шаг дискретности,

$m = \lceil \tau / \Delta t \rceil$  – число шагов запаздывания,

Тогда, с учетом запаздывания матрицы системы

$$x_{i+1} = A \cdot x_i + B \cdot u_i, \quad y_i = C \cdot x_i, \tag{4}$$

имеют вид  $A \in \mathbb{R}^{n,n}$ ,  $B \in \mathbb{R}^{n,1}$ ,  $C \in \mathbb{R}^{1,n}$ ,  $n=m+1$ ,

$$A = \begin{pmatrix} \alpha & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 1 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ 0 & 1 & \dots & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & \dots & \dots & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad B = \begin{pmatrix} \beta \\ 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{pmatrix} \quad C = (0 \ 0 \ \dots \ 0 \ 1)$$

**3. Структура оптимального регулятора.** Как известно, оптимальный регулятор, в рамках теории аналитического конструирования регуляторов, записывается в виде [1].

$$x_{i+1} = (A - B \cdot K - L \cdot C) \cdot x_i + L \cdot y_i, \quad (5)$$

$$u_i = -K \cdot x_i + K_z \cdot z,$$

где  $K = [k_1 \dots k_n]$  – матрица регулятора состояния,

$L = [l_1 \dots l_n]^T$  – матрица наблюдателя состояния.

$K_z$  – компенсатор задания.

**4. Синтез регулятора состояния.** Введем критерий качества в виде

$$J = \sum_{i=0}^{\infty} x_i^T \cdot Q \cdot x_i + u_i^T \cdot R \cdot u_i \Rightarrow \min \quad (6)$$

где,  $Q, R$  – весовые положительно – полуопределенные матрицы. Тогда, как известно [4], матрица параметров настройки регулятора состояния, определится в результате решения уравнения Риккати по зависимости

$$K = LQ(A, B, Q, R), \quad (7)$$

где

$$LQ(A, B, R, Q) = (B^T P B + R)^{-1} B^T P A,$$

$$P = A^T P A - A^T P B (B^T P B + R)^{-1} B^T P A + Q$$

С целью упрощения решения, без ограничения общности, примем весовые матрицы  $Q, R$  в виде

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & q_{n-1} & 0 \\ 0 & \dots & 0 & q_n \end{pmatrix}, \quad R = r \quad (8)$$

тогда справедлива теорема 1.

**Теорема 1.** Если объект управления задан в виде (4), весовые матрицы критерия качества (6) приняты в виде (8), то матрица параметров настройки регулятора состояния определяется скалярным соотношением

$$K = (k, 0, \dots, 0), \quad k = \frac{\alpha \cdot \beta \cdot P_1}{r + \beta^2 \cdot P_1} = LQ(\alpha, \beta, tr(Q), r) \quad (9)$$

$$P_1 = LR(\alpha, \beta, tr(Q), r), \quad tr(Q) = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (10)$$

$$LR(A, B, R, Q) = P, \quad P = A^T P A - A^T P B (B^T P B + R)^{-1} B^T P A + Q,$$

и, более того, величина  $K$  не зависит от запаздывания объекта управления.

Решение матричного уравнения Риккати относительно неизвестной матрицы  $P \in \mathfrak{R}_+^{m+1, m+1}$  определяется соотношениями

$$P = \begin{pmatrix} P_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \ddots & \ddots & \vdots \\ \vdots & \ddots & P_{n-1} & 0 \\ 0 & \dots & 0 & P_n \end{pmatrix}, \quad \text{где} \quad \begin{matrix} P_n = q_n \\ P_{n-i} = P_{n-i+1} + q_{n-i} \end{matrix}, \quad i = 1, \dots, n-2 \quad (11)$$

Доказательство теоремы 1 производится непосредственной подстановкой.

**5. Синтез наблюдателя состояний.** Наблюдатель состояния цифровой системы проведем в рамках модального синтеза (апериодический наблюдатель), выбрав все собственные значения наблюдаемой подсистемы равными нулю.

**Теорема 2.** Синтез апериодического наблюдателя производится по зависимости

$$L = [l_1 \dots l_n]^T, \quad l_i = \alpha^{n-i+1}, \quad i = 1..n \quad (12)$$

Доказательство теоремы 2 производится непосредственной подстановкой.

**6. Пример.** В качестве примера возьмем объект управления с передаточной функцией

$$W(p) = \frac{3 \cdot e^{-80 \cdot p}}{120 \cdot p + 1}$$

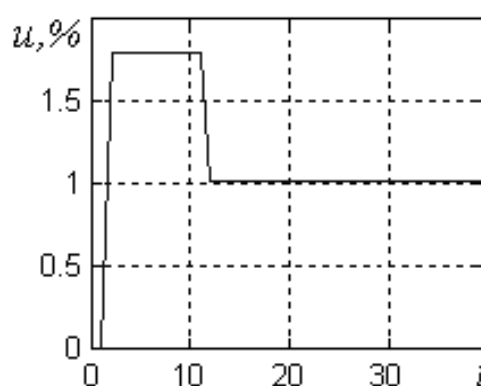
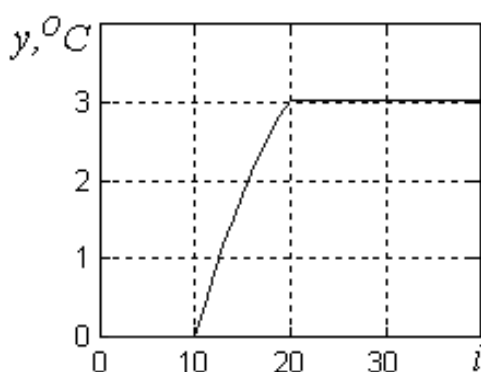
Тогда, если выбрана выбрать  $\Delta t = 10c$ , получим объект 9 порядка. Матрица настройки регулятора совпадает с результатами расчета по традиционной методике и имеет вид ( $Q_{i,i} = 1, \quad i = 1, \dots, 8, \quad Q_{9,9} = 10^7, \quad R = 1$ )

$$K = [3.8356 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0 \ 0].$$

Матрица настройки наблюдателя равна

$$L^T = [0.4724 \ 0.5134 \ 0.5580 \ 0.6065 \ 0.6592 \ 0.7165 \ 0.7788 \ 0.8465 \ 0.9200]$$

Переходные процессы при изменении задания на 3 единицы имеют вид



Отметим в заключение, что если выбрать  $\Delta t = 1c$ , то получим объект 81 порядка, время вычисления параметров для которого по традиционной методике превышает время синтеза по предложенной методике почти в  $10^4$  раз.

**Заключение.** Предложена методика расчета оптимальных цифровых систем управления, позволяющая существенно быстрее и точнее произвести расчет параметров регулятора (матрицы регулятора и наблюдателя), причем расчет для матриц объекта любого порядка можно произвести практически без компьютера. Показано, что параметры оптимального регулятора состояния совершенно не зависят от запаздывания и определяются исключительно постоянной времени объекта и периодом дискретности. Запаздывание определяет лишь размерность матриц регулятора и наблюдателя.

It is suggested new approach for optimal digital control systems synthesis. The approach lets us calculate controller parameters (controller and observer matrices) substantially faster. The calculation of the matrices can be executed without computer. Also it's shown that the parameters of the optimal state controller is not depended of time delay and depended of the object response time and sample time only. The time delay determines the dimension of controller and observer matrices.

1. Стопакевич А.А. Сложные системы: анализ, синтез, управление.— Одесса: Кред, 2004.— 277с.

## ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ МЕТОДИКИ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОГО РОЗКЛАДУ УПРАВЛІННЯ ОБЛАДНАННЯМ ПАРАЛЕЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ НА ОСНОВІ ЕКСПЕРТНИХ ОЦІНОК

Тарасюк В.П., Алдохіна А.С.

**Загальна постановка задачі і її зв'язок з важливими практичними завданнями.**

Велика група технологічних виробництв, таких як хімічне, харчове, кондитерське та інші, стикається з проблемою оптимального використання технологічного обладнання. Кожен технологічний процес (ТП) даних виробництв є багаторічним системою з послідовно-паралельним видом руху матеріального потоку [1]. Є кінцева множина  $N = \{1, 2, \dots, n\}$  видів готової продукції і кінцева множина  $\mu = \{1, 2, \dots, M\}$  технологічного обладнання (апаратів, вузлів). Процес одержання виду продукції  $i \in N$  включає  $r_i$  операцій. При цьому кожному виробу  $i \in N$  і на кожній операції  $q$ ,  $1 \leq q \leq r_i$ , його обслуговування зіставляється деяка безліч технологічного обладнання  $\mu_q^i \subseteq \mu$ . Проте погіршення якості продукції може відбуватися в процесі приготування на якому – то окремому етапі і виникає задача автоматизованого експрес - контролю показників якості на кожному етапі технологічного процесу.

Причому можна застосувати для управління параметрами якості і забезпечення отримання екологічно чистої продукції принципи ХАССП - це концепція, що передбачає систематичну ідентифікацію, оцінку і управління небезпечними факторами, що суттєво впливають на якість продукції. Система ХАССП нараховує сім принципів: проведення аналізу небезпечних факторів; Визначення критичних точок контролю (КТК); встановлення критичних меж для кожної КТК; встановлення процедур моніторингу; розробка корегуючих дій; встановлення процедур обліку і ведення документації; становлення процедур перевірки. Реалізація цих принципів - це функція фахівців – технологів, оскільки в системі ХАССП при оцінці якості хімічних і харчових продуктів головною є стовідсоткова гарантія безпеки. Та з урахуванням того, що в основі побудови ХАССП можуть також застосовуватися методи експертної оцінки якості продукції, то виникає задача розробки автоматизованої системи управління ТП на базі експертних оцінок якості продукції, отриманої на кожному проміжному етапі технологічного процесу. Одним з аспектів реалізації такої системи є створення автоматизованого модуля синхронного управління обладнанням.

Технологічне обладнання, вузли апарати, які використовуються на технологічних лініях, зв'язані безперервним матеріальним потоком, що обумовлює перенастроювання кожного апарату робіт згідно технічного регламенту з початком кінцем ( $t_n$  і  $t_k$ ) внутрішніх операцій. Тому для узгодження технологічних операцій для робіт  $K$ , з урахуванням технології приготування, їх необхідно синхронізувати так, щоб погоджувати початок  $t_n^i$  по наступній операції і кінець  $t_k^i$  попередньої без простою обладнання. Причому синхронізувати роботу технологічних ліній так, щоб найбільш оптимально завантажити технологічне обладнання, мінімізувати число виробничих змін, скоротити число переналагоджень.

Дана задача відноситься до задач побудови розкладу багато потокового виробництва [2,3]. Проблема складання розкладів обумовлена складністю і невизначеністю, які виникають при функціонуванні «пересічних» виробництв, тобто таких технологічних ліній, до складу яких можуть входити апарати, що настроюються на конкретний вид продукції. Крім того, оперативне планування залежить від рішень, прийнятих на різних рівнях управління ієрархічного виробництва.

**Аналіз публікацій і розробок по темі.** Календарне планування, до якого можна віднести поставлену задачу, може протікати в прямому або зворотному напрямку [3-6]. Безліч різних підходів застосовувалася для вирішення задач календарного планування і задач впорядкування, виконуваних априорі або у реальному часі. Традиційними методами дослідження операцій для задач планування є імітаційне моделювання, мережеві методи, комбінаторні процедури і евристичні підходи.

**Постановка задачі досліджень.** Виникає задача побудови оптимального розкладу взаємодії окремих операцій технологічних ліній у разі паралельно-последовного виду руху матеріальних потоків. Через обурення в системі регламентна тривалість звичайно не витримується і технологічні вузли взаємодіють у випадкові моменти часу. Таким чином процес узгодження регламенту для зменшення простою обладнання і підвищення продуктивності є одним з об'єктів автоматизованого управління [7].

**Мета досліджень.** На підставі аналізу структури функціонування паралельних технологічних ліній і виявлення спеціальних знань диспетчера – експерта розробити методику побудови оптимального розкладу управління обладнанням на основі експертних оцінок робочого стану об'єктів

**Основний матеріал і результати роботи.** Дані технологічні процеси, що протікають на паралельних лініях, відносяться до складних дискретних виробничих процесів, оскільки включають декілька операцій, призначення яких полягає в попередній підготовці виробництва; приготуванні первинного напівфабрикату у вигляді суміші компонентів та ін. Деякі технологічні ланцюги, утворені співпадаючим рядом часткових виробничих процесів, проводяться на одному і тому ж технологічному обладнанні. Необхідно скласти оптимальний розклад його завантаження.

Проблема заводського планування, як правило, зв'язується із слабкими можливостями прогнозування роботи цеху. Тому однією з цілей досліджень у області планування є пошук шляхів поліпшення цієї прогнозуючої здатності. Були зроблені спроби розробити планувальник, здатний генерувати такі виробничі плани, які б повною мірою відображали як складність виробничого середовища, так і встановлені цілі організації.

Існує, проте, і інший аспект задачі календарного планування. Він торкається здатності інтелектуально реагувати на зміни обставин, тобто гнучкості. Навіть якщо розклад відображає складність оточення і мети організації, цех є динамічним середовищем, в якому безперервно трапляються несподівані події. Поява таких подій, як поломка обладнання, нездатність напівфабрикатів замовлення пройти проміжний контроль якості, недостатнє число операторів і т. д., швидко приводить до необхідності переглянути дії, передбачені розкладом. Повне рішення задачі календарного планування повинне включати функцію прогнозного планування в поєднанні із здатністю змінювати плани у відповідь на зміну умов виробництва.

Один з підходів до складання робастного і ефективного розкладу — це побудувати інтелектуальний планувальник процесу, що працює у реальному часі, використовуючи техніку ІІ, об'єднану з деякими аспектами існуючих підходів до календарного планування, тобто з диспетчеруванням, складанням послідовності робіт, евристичними і імітаційним моделюванням. Інтелектуальний підхід дозволяє ефективно мати справу з динамікою системи і неповною інформацією, яка характеризує цей клас проблем [2]. У загальному випадку «інтелектуальний» планувальник – це експертна система, тобто обчислювальна система, в яку включені знання фахівців про деяку конкретну проблемну область і яка в межах цієї області здатна ухвалювати експертні рішення [8]. Базова структура експертної системи приведена на рис. 1.

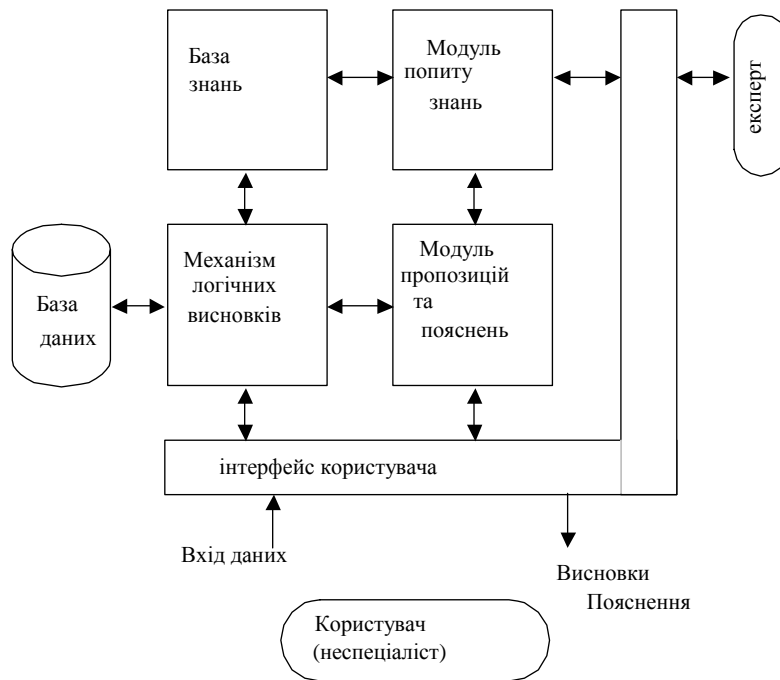


Рис. 1 Базова структура експертної системи

Вхід для конструювання бази знань і для даних під час виконання виходить з багатьох джерел. Ними можуть бути плануюча система, перелік матеріалів, цеховий монітор, головний розклад і евристики. Велика частина цього входу, разом з факторами, що роблять вплив на заводське планування, може бути розчленована на два широкі класи обмежень. Перша категорія містить обмеження календарного планування, які служать як межа для безлічі допустимих виборів. Друга категорія, переваги, при складанні розкладів надає засоби диференціації між допустимими варіантами зі всієї безлічі виборів. Для даного виробництва ці обмеження можна визначити, як:

- організаційні, тобто спізнення робіт, запаси незавершеного виробництва, збої в роботі технологічного устаткування,
- час настройки устаткування під ТП;

обмеження передування, що описують основні, тимчасові або причинні відносини, які визначають необхідні умови для використання напівфабрикату або початку процесу (підтримка необхідної температури напівфабрикату, заборонене технологією пролежування напівфабрикату і т.д.).

Відповідно дані, використовувані для побудови «інтелектуального» планувальника на базі вказаних обмежень будуть або статичними структурами, які виражають інформацію про частину розкладів тією, що не змінюється в ході управління, або динамічними структурами, які створюються або модифікуються в ході управління кондитерськими лініями. Функціональна схема побудови оптимального розкладу управління паралельними технологічними лініями з використанням експертних оцінок представлена на рис.2.

Дані, що зберігаються в статичній базі даних включають дані про рецептури продукції, що випускається, інформацію про технологічний процес, характеристики технологічного обладнання, інформацію про структуру початкової сировини, а також матрицю обмежень формування послідовностей. Динамічна база даних включає частково виконаний розклад, об'єми незавершеного виробництва, попередній розподіл запасів початкової сировини між технологічними процесами, поточний ступінь порушення обмежень. Зв'язок статичних і динамічних баз даних приведений на рис. 3.

Для планування оптимального розкладу складаються дві бази знань:

- база глобальних знань, що містить статичну інформацію, а саме метод складання оптимального розкладу на одному апараті, виробничу логіку;



- динамічна база знань, формована в процесі включення нових технологічних процесів в поточний цикл отримання готової продукції в режимі реального часу з урахуванням обурюючих чинників, що поступають зовні.

Представлення знань є формалізованою структурою і набором операцій, які передбачають описи, процедури і взаємозв'язки, необхідні для визначення задачі і для забезпечення активних засобів для активних дій інтелектуальної системи [9].

Для опису, наприклад, кондитерського виробництва якнайкращим варіантом виявився продукційний метод представлення знань з прямим способом формування висновку, оскільки він має ряд переваг в контексті даної задачі.

У загальному випадку продукцій не правило можна представити в наступному вигляді:

$$i : S; L; A>B; Q \quad (1)$$

де:  $i$  — індивідуальний номер продукції;  $S$  — опис класу ситуацій, в якому дана структура може використовуватися;  $L$  — умова, при якому продукція активізується;  $A>B$  — ядро продукції, наприклад: «ЯКЩО  $A_1, A_2, \dots, A_n$  ТО  $B$ ». Такий запис означає, що «якщо всі умови від  $A_1$  до  $A_n$  є істиною, то  $B$  також істина» або ж «коли всі умови від  $A_1$  до  $A_n$  стають істиною, то слід виконати дію  $B$ »;  $Q$  — постумова протекційного правила, описує операції і дії (процедури), які необхідно виконати після виконання  $B$ .

Безліч фактів і правил формування оптимального розкладу може бути сформовано шляхом формалізації експертної оцінки поточних ситуацій експертом – диспетчером цеху.

Тоді оброблені факти, причини і ситуації, які бере до уваги диспетчер мають вигляд, представлений в табл.1. Перелік постумов, що викликаються відповідними фактами і ситуаціями, класифікатор позначень, статичні правила, формовані на основі аналізу поточної інформації (фактів, причин і ситуацій) представлені в таблицях 1-3.

Таблиця 1.

Приклади деяких фактів, причин, ситуацій

позначення	Опис
A1	Пріоритет виду виробу, що задається системою планування виробництва
A2	Робочий пріоритет, формований залежно від числа продукції, що одночасно випускається
.....	
A21	Мінімальний час переналагодження обладнання
A22	Тривалість операції в ТПі більше, ніж тривалість операції в ТПj

Таблиця 2

Класифікатор позначень постумов

позначення	Опис
Q1	Формування нового розкладу в БД «Поточний розклад»
....	
Q6	Формування БД «розподіл запасів»

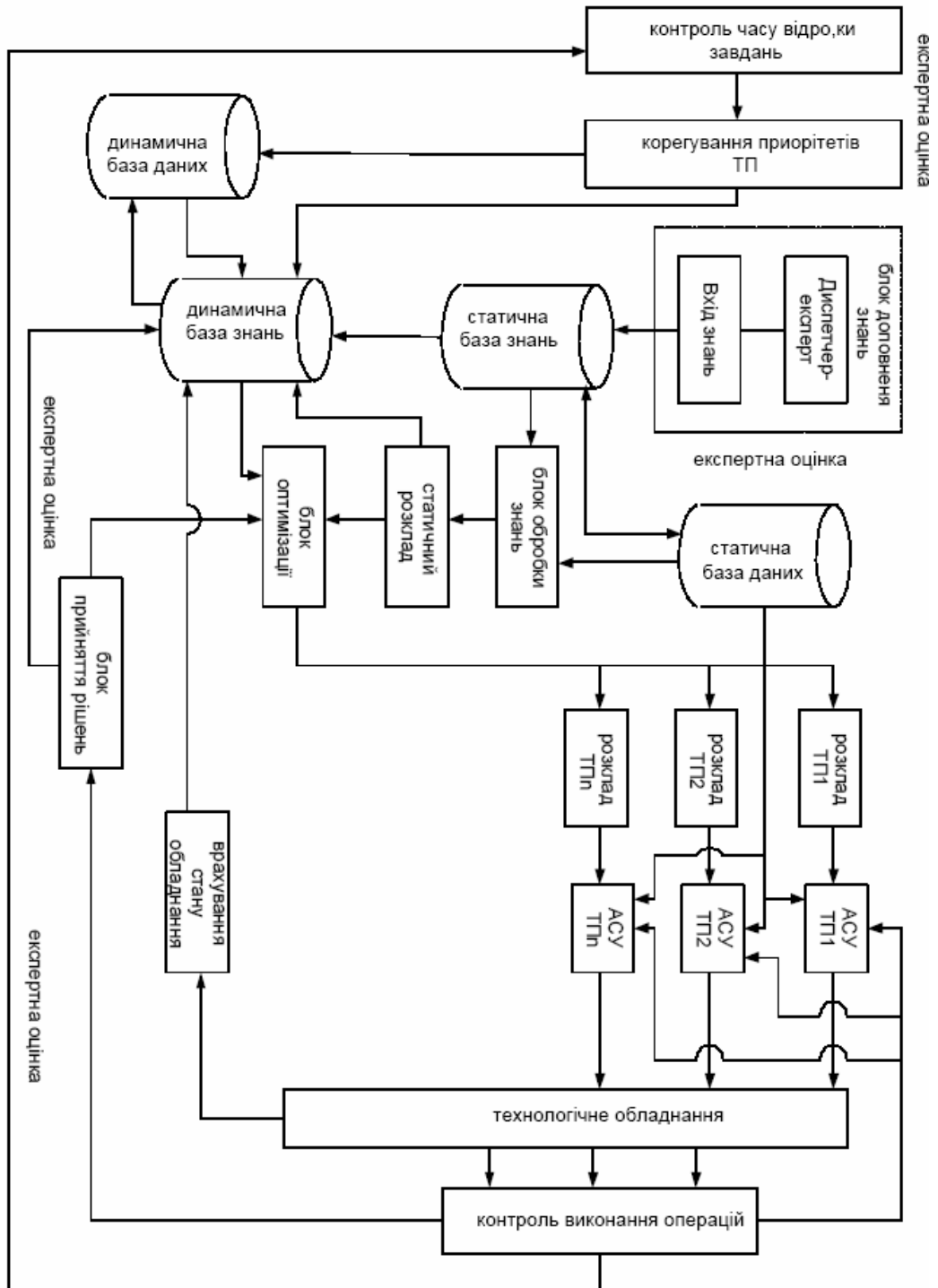


Рис. 2 Функціональна схема формування оптимального розкладу управління технологічними лініями з використанням експертних оцінок

НОК

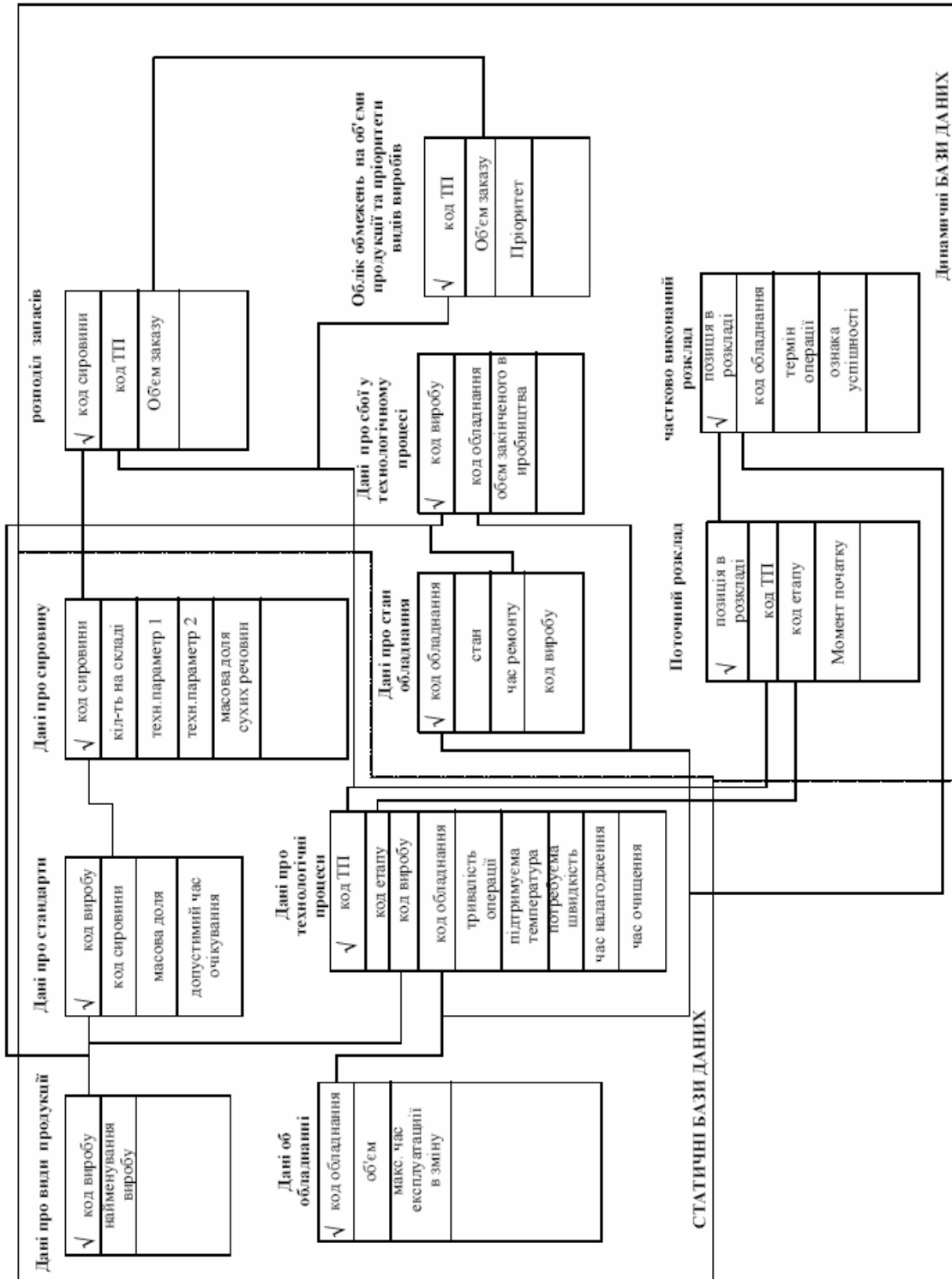


Рис. 3 Зв'язок таблиць статичних і динамічних баз даних

Статичні правила

№ правила	позначення	правило	Постумова
1	B1	$A1 > 0 \rightarrow A2 = A1,$	Q5, Q4
2	B2	$A2 > A4 \rightarrow A4 = A2$	Q5, Q4
.....			
14	B14	$A22 = 1 \rightarrow B2 \& B3$	Q1, Q4, Q5

Динамічна база знань формується на основі статичної залежно від числа одночасно протікаючих технологічних процесів і характеристики «зовнішнього світу» у нинішній момент. Опис побудови правил динамічної бази знань приведений в позначеннях програмного модуля, що реалізує систему пошуку оптимального рішення. Нижче приведені деякі приклади формування динамічних правил.

$$\begin{aligned}
 P_i^3 > 0 &\rightarrow P_i^P = P_i^3 ; \\
 P_i^P > P^P \max &\rightarrow P^P \max = P_i^P ; \\
 V_i < V_i^0 &\rightarrow P_i^P = P^P \min ; \\
 S\_Ko_j < S\_Ko_{ji}^{мреб} &\rightarrow P_i^P = 0 ; \\
 V_i > 1.5 * V_i^0 &\rightarrow P_i^P = P^P \max ; \\
 (T_i^{прол} > T_j^{прол}) \&(P_i^P > P_j^P) &\rightarrow \\
 &\rightarrow SWAP(P_i^P, P_j^P)
 \end{aligned}$$

У правилах позначено:  $P_i^3$  - заданий пріоритет і-го ТП;  $P_i^P$  - робочий пріоритет і-го ТП;  $P^P \max$  - максимальний робочий пріоритет;  $P^P \min$  - мінімальний робочий пріоритет;  $V_i$  - накопичений об'єм напівфабрикату і-го ТП;  $V_i^0$  - допустимий об'єм напівфабрикату і-го ТП;  $S\_Ko_{ji}$  - кількість сировини j-го типу, що є наявним;  $S\_Ko_{ji}^{мреб}$  - необхідна кількість сировини j-го типу для і-го ТП;  $T_i^{прол}$  - термін долежування накопиченого напівфабрикату.

Деякі правила в конкретній ситуації можуть опинитися рівноправними, тому як ваги вибору використовуються експертні оцінки – так званий коефіцієнт упевненості (КУ). Експертні оцінки застосовуються при навчанні системи як для всього ядра продукції так і при ідентифікації фактів і ситуацій. Логічні комбінації посилки в одному правилі оцінюються так:

№ правила:  $ЯКЩО A_i \text{ і } A_j \text{ то } B_k. КУ(A_i \text{ і } A_j) = \min(КУ(A_i), КУ(A_j)).$

Експерти оцінюють деяку гіпотезу ( $\Gamma$ ) (правило), проставляючи оцінки (КУ) цієї гіпотези при навчанні системи, у разі додавання нових видів виробів. Кожен експерт формує пару ( $\Gamma, КУ$ ). При цьому була введена вага (ступінь компетентності  $n$  - експертів,  $\alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n$ ), і результуючий  $КУ^P$  для  $\Gamma$  визначається як

$$КУ^P = \sum_{i=1}^n \alpha_i КУ_i / \sum_{i=1}^n \alpha_i \tag{2}$$

Для оцінки статистичної значущості результуючого  $КУ^P$  знаходимо дисперсію

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^n (КУ_i - КУ^P) \alpha_i / \sum_{i=1}^n \alpha_i \tag{3}$$

Задавши вірогідність помилки Рош визначають вірогідність (1- Рош) з якою випадкова величина потрапляє в інтервал  $[КУ^P - \Delta; КУ^P + \Delta]$ , де  $\Delta = t * \sigma * \sqrt[2]{n}$ ;  $t$  - коефіцієнт Стьюдента, вибраний з таблиці по значеннях Рош і  $n$ .

Принцип функціонування експертної системи полягає в наступному. Використовувана множина складається з  $G = \sum_{i=1}^n g_i$  операцій, причому на кожному кроці вибирається

одна з них і їй приписується момент початку виконання. У кожен момент часу є безліч операцій, що чекають, позначаються через  $\{Sso\}$ , тобто підмножина тих операцій з  $G$ , для яких передуючі вже включені в розклад; тобто, деяка операція входить в  $\{Sso\}$ , якщо вже вибрані моменти початку виконання всіх попередніх операцій даної роботи. Це значить, що в початковий момент множина  $\{Sso\}$  в системі типу  $n / m$  складається з  $n$  операцій – перших в кожній роботі. Після вибору і включення в розклад однієї з цих операцій, її місце займає друга операція тієї ж роботи (якщо вона є). Всякий раз, коли остання операція якої-небудь роботи включена в розклад і її нічим замінити в  $\{Sso\}$ , число елементів цієї множини зменшується на одиницю. Складання розкладу закінчується, коли множина  $\{Sso\}$  стає порожньою.

Використовується наступний спосіб розбиття  $\{Sso\}$ , який полягає у тому, що в  $\{Sso\}$  виділяється  $m$  підмножин, що відповідних  $m$  машинам і позначаються,  $k = 1, \dots, m$ . Кожна з підмножин складається з операцій, виконання яких повинне здійснюватися певною машиною і які можна включити в розклад в даний момент часу. Тобто підмножина  $\{S_{so}^k\}$  складається з операцій, що чекають виконання на машині  $k$  і таких, що попередні операції вже включені в розклад і «виконуються» іншими машинами. Спочатку є  $n$  операцій розбитих на  $m$  підмножин,  $k = 1, \dots, m$ . В процесі складання розкладу деякі підмножини можуть ставати то порожніми, то не порожніми і поповнюватися до тих пір, поки всі підмножини не виявляться порожніми і складання розкладу буде завершено.

Для включення операцій в підмножину, з якого потім вибирається операція для включення в розклад використовується наступний метод: існує додаткова безліч «виконуваних» операцій, позначене як  $\{Sip\}$ . Операція потрапляє в цю множину відразу, як тільки покидає  $\{Sso\}$ . Множина  $\{Sip\}$  розбивається на  $m$  підмножин, що позначаються,  $k = 1, \dots, m$ , відповідно до числа машин, і в кожен момент часу існує по одній операції в кожній з таких підмножин (операції, виконувани у цей момент кожною машиною). При включенні чергової операції в одну з множин  $\{S_{ip}^k\}$  попередня операція покидає цю підмножину.

Крім того при функціонуванні алгоритму основоположним є поняття *пріоритету* роботи або операції. *Пріоритет* – це числова характеристика роботи або операції, використовувана при виборі зі всіх можливих. Це правило, що визначає порядок включення робіт в розклад: роботи вибираються у порядку зростання приписаних їм числових характеристик. Кожному з  $n!$  способів призначення пріоритетів робіт відповідає один цілком певний алгоритм вказаного типу – алгоритм послідовного включення робіт. Система пріоритетів розроблена достатньо повною, щоб дві «конкуруючі» роботи (операції) завжди мали різні пріоритети і був би можливий однозначний вибір. У разі рівноімовірних пріоритетів рішення ухвалюється на основі максимального КУ.

Таким чином, запропонована експертна система базується на алгоритмах з правилом вірогідності призначення пріоритетів; лише в окремих випадках вірогідність або пріоритети не включаються в алгоритм явним чином. Моделювання роботи експертної системи показано у вигляді діаграми Ганта на рис. 4. Ефективність функціонування підтверджується експериментальними дослідженнями, що дозволили виявити підвищення продуктивності в 1,1 – 1,3 рази.

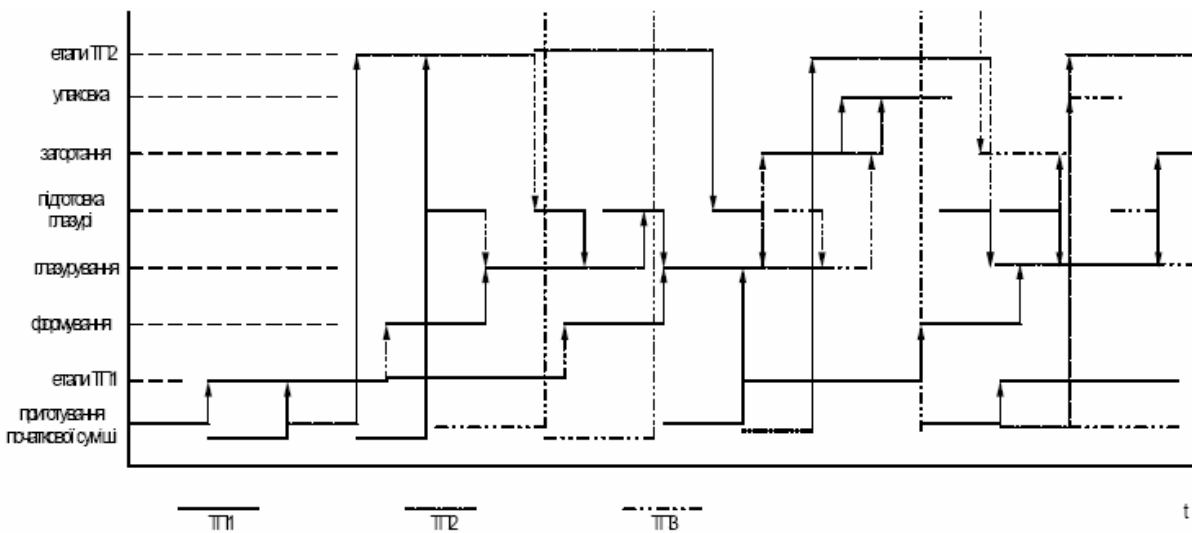


Рис. 4 Моделирование работы экспертной системы формирования оптимального расклада завантаження технологічного обладнання

**Висновки.** Запропонована методика побудови оптимального розкладу управління технологічними лініями на основі експертних оцінок базується на розробленій структурі експертної системи, що включає модуль придбання знань, механізм логічних висновків, блок ухвалення рішень на основі експертних оцінок. Встановлено, що для побудови експертної системи оперативного планування доцільно використовувати статичну і динамічну модель знань з алгоритмом функціонування, що базується на алгоритмах з правилом вірогідності призначення пріоритетів.

The aspects of method of construction of optimum curriculum of functioning of pastry lines on the basis of expert estimations are examined in work. The offered method is based on the developed structure of consulting model, including the module of acquisition of knowledges, mechanism of logical conclusions, block of acceptance of decisions on the basis of expert estimations. It is set that for construction of consulting model of the operative planning it is expedient to use the static and dynamic model of knowledges with the algorithm of functioning, being based on algorithms with the probabilistic rule of setting of priorities.

1. Кафаров В.В., Глебов М.Б. Математическое моделирование основных процессов химических производств.- М.: Высшая школа., 1991. – 400 с.
2. Поттосина С.А. Экономико-математические методы и модели. Мн.: БГУИР, 2003. – 94 с.:ил.
3. Klein, L.K., 1986. Manufacturing planning and control. CIM Technology, Fall 1986.
4. Lozinski, C. and Gershwin, S.B., 1986. Dynamic production scheduling in computer-aided fabrication in integrated circuits. In, Proc. IEEE Robotics and Automation, pp. 660 – 663.
5. Дойч Д. Структура реальности. - М.: РС, – 2001.
6. Гришин С.Г., Борщевская М.А., Ахматова Т.Т. Обзор типовых систем оперативно-производственного планирования, применяемых в промышленности. – М. Информэлектро, 1990. – 40 с.
7. Кафаров В.В., Кусков Е.К., Либерман М.Д. Химико-фармацевтический журнал, 1985, №9, С. 1134 – 1139.
8. Базы знаний интеллектуальных систем / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский-СПб.: Питер, 2001. – 384с.
9. Р.А. Алиев, Н.М. Абдикеев, М.М. Шахназаров Производственные системы с искусственным интеллектом. - М.: Радио и связь, 1990. – 261 с.

## ОПТИМИЗАЦИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОГО ТИПА С ПОМОЩЬЮ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Крючковский В.В., Шеховцов А.В., Мельник А.Н., Цивильский Ф.Н.

**Введение.** Множество реальных задач не являются стационарными, возникает задача адаптации текущего решения к изменениям параметров среды. Одной из наиболее сложных задач является задача оптимизации поставок, которая на практике усложняется частыми изменениями входных параметров. Возникает задача исследования алгоритмов, обладающих адаптивными свойствами и не требующими перезапуска при изменении условий задачи.

Основной целью задачи дискретной оптимизации является нахождение лучшего решения из конечного, но достаточно большого их числа. Задача дискретной оптимизации (1) является сложной не только для классических алгоритмов, но и для генетического алгоритма. Это связано с некоторыми особенностями задач данного класса. Во-первых, задачи имеют переборный характер, при этом с ростом параметров задачи перебор становится принципиально невозможным [1, 2]. Во-вторых, задачи являются нерегулярными, они могут иметь несколько оптимумов, в том числе локальные, значение функции в которых не совпадает с глобальным. Кроме того, область допустимых решений может быть несвязна и невыпукла. Затруднительно указать меру близости решений, поскольку «близкие» значения  $x_1, x_2 \in G$  могут иметь сколь угодно далекие значения  $Q(x_1)$  и  $Q(x_2)$ . Для определения близости решений в этих задачах используются различные техники, зависящие, в основном, от вида задачи.

**Постановка задачи.** Для преодоления этих трудностей предложены различные модификации генетического алгоритма, довольно успешно справляющиеся с решением задач этого класса. Генетический алгоритм (ГА) обладает свойством неявного параллелизма, что позволяет ему динамически отыскивать и исследовать области, содержащие локальные или глобальные оптимумы. Эти свойства должны помочь ГА при работе в динамически изменяющейся среде.

$$Q^*(x) = \min Q(x), \quad x \in G, \quad 0 \leq |G| \leq N < \infty. \quad (1)$$

В качестве представителей из класса задач дискретной оптимизации рассматриваются две следующие задачи: задача о ранце и задача коммивояжера. Эти задачи из класса  $NP$ , их вычислительная сложность растет экспоненциально с ростом числа параметров [1, 2].

**Задача коммивояжера** формулируется следующим образом: дан полный взвешенный граф из  $N$  вершин, необходимо найти Гамильтонов цикл, имеющий минимальный вес. Или математически (2), где  $N$  - количество вершин графа,  $C_{ij}$  — вес ребра, ведущего из вершины  $i$  в вершину  $j$

$$Q(x) = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, \quad \forall j = \overline{1, N},$$

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, \quad \forall i = \overline{1, N},$$

$$x_{ij} \in \{0, 1\}.$$

**Задача о ранце** содержательно звучит так: дан набор из  $N$  предметов, каждый из которых имеет вес и ценность, из них нужно выбрать несколько предметов, чтобы общий

вес предметов не превосходил определенного значения, и при этом суммарная их ценность была максимальной. Формально (3), где —  $c_i$ , ценность предмета,  $a_i$  его вес,  $W$  — ограничение на общий вес предметов.

$$\begin{aligned} Q(x) &= \sum_{j=1}^N c_j x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^N a_i x_i &\leq W, \\ x_i &\in \{0,1\}. \end{aligned} \tag{3}$$

Стационарная задача коммивояжера однозначно задается матрицей весов ребер. При изменении весов с течением времени задача становится нестационарной, изменяется вид целевой функции (4).

$$\begin{aligned} Q(x, t) &= \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij}(t) x_{ij} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N x_{ij} &= 1, \quad \forall j = \overline{1, N}, \\ \sum_{j=1}^N x_{ij} &= 1, \quad \forall i = \overline{1, N}, \\ x_{ij} &\in \{0,1\}. \end{aligned} \tag{4}$$

Задача о ранце имеет большее количество различных параметров: это ценности и веса предметов, а также допустимый суммарный вес, то есть в нестационарном варианте задачи, зависящими от времени может стать не только целевая функция, но и ограничения (5).

$$\begin{aligned} Q(x, t) &= \sum_{j=1}^N c_j(t) x_j \rightarrow \max, \\ \sum_{i=1}^N a_i x_i &\leq W(t), \\ x_i &\in \{0,1\}. \end{aligned} \tag{5}$$

**Решение задач.** Для решения оптимизационных задач комбинаторного типа используются специфические алгоритмы, среди них можно выделить несколько основных:

- Методы отсечения;
- Комбинаторные;
- Приближенные.

Генетические алгоритмы относятся к третьему типу.

Однако ГА не применяется в чистом виде, он использует специфику задачи и различные эвристики локального улучшения в виде жадных алгоритмов. Обе рассматриваемые в работе задачи являются задачами с ограничениями. Для успешного решения этих задач при помощи ГА необходимо использовать методы ухода от ограничений. Эти методы разделяются на три класса: прямые, непрямые и отображающие.

Для решения задачи о ранце можно использовать метод штрафных функций, при этом штраф накладывается на функцию приспособленности особи таким образом, чтобы приспособленность недопустимого решения была намного ниже приспособленности допустимых решений. Также в работе использовался метод восстановления недопустимых решений при помощи жадных эвристик. Если для некоторой особи весовое ограничение нарушено, то она приводилась к ближайшему допустимому решению.

Основным способом ухода от ограничений для задачи коммивояжера являются декодеры, которые относятся к методам, отображающим ограничения, и методы, гарантирующие допустимость решения. Декодер модифицирует пространство поиска таким обра-



зом, что гарантирует получение допустимого решения, устанавливая соответствие между областью допустимых решений и их представлениями. Если для задачи о ранце применимо классическое бинарное представление, то для задачи коммивояжера оно не является естественным.

Наиболее естественным представлением будет перестановка из номеров вершин графа для кодирования допустимого Гамильтонова цикла. В этом случае, число в представлении обозначает номер вершины, вершины появляются в представлении в соответствии с порядком их обхода. Другой способ кодирования Гамильтонова цикла - позиционное представление. Идея состоит в следующем: формируется эталонный список вершин, каждой присваивается порядковый номер. При кодировании решения каждой вершине ставится в соответствие ее порядковый номер в эталонном списке. Вершины кодируются в порядке их появления в обходе, закодированные вершины вычеркиваются из списка и порядковые номера оставшихся вершин изменяются. Здесь мы видим взаимно однозначное соответствие между представлением и решением.

Использование перестановочного представления и специальных генетических операторов для него является примером метода, гарантирующего допустимость решения. Использование позиционного представления является примером декодера.

#### **Методы решения нестационарных задач**

Методы, применяемые для оптимизации нестационарных функций при помощи генетического алгоритма, условно можно разделить на несколько классов:

- методы увеличения генетического разнообразия при изменении среды;
- методы постоянного поддержания генетического разнообразия;
- методы, использующие дополнительную память;
- методы, использующие дополнительные популяции.

В данной работе, в основном, рассматривались методы, использующие дополнительную память. Использование памяти может быть явным и неявным.

Применение диплоидного и структурного представления генотипа относится к методам, неявно использующим память. Эти виды представлений являются избыточными по отношению к фенотипу особи, то есть генотипы особей содержат больше генетической информации, чем требуется для кодирования фенотипа. Чтобы отсеять избыточную часть информации генотипа, используются различные техники, в основе которых лежит принцип доминирования (для диплоидного представления) или основанные на виде представления (структурное представление).

Главной идеей методов, основанных на избыточных генотипах, является возможность сохранять генетическую информацию, определяющую высокую приспособленность особи, при изменении условий внешней среды. Принцип доминирования обеспечивает защиту генам, приносящим пользу фенотипу при предыдущих состояниях среды, но не являющихся полезными при текущем состоянии. Таким образом, полезная генетическая информация постоянно сохраняется в популяции, хотя и не является всегда доступной для выражения в фенотипе. Поэтому такие методы еще называют методами с распределенной памятью.

Преобразование генотипа в фенотип при диплоидном представлении осуществляется при помощи матрицы доминирования. Каждой возможной аллельной паре ставится в соответствие значение фенотипа, при этом одни аллели являются доминантными, то есть обязательно проявляются в фенотипе, другие являются рецессивными, то есть проявляются в фенотипе только при отсутствии в паре доминантной аллели.

Защита полезной генетической информации при смене состояния среды осуществляется при помощи механизма смены доминантности. Этот механизм преобразует доминантные формы аллелей в рецессивные и наоборот. Таким образом, аллели, проявлявшиеся в фенотипе и влиявшие на приспособленность особи в предыдущем состоянии среды, становятся нейтральными по отношению к новой целевой функции, и на них не будет оказываться селекционное давление.

Генотип структурного представления является сложной иерархической структурой, в которой гены расположены на нескольких уровнях. Гены верхних уровней являются регулирующими и могут активировать (дезактивировать) подчиняющиеся им участки генотипа. В фенотипе проявляются области генотипа, регулирующие гены которых находятся в активном состоянии. Малые изменения в генах высокого уровня, приводят к радикальным изменениям фенотипа особи, что должно обеспечивать особи высокие адаптивные свойства.

В приведенных выше методах дополнительная память «скрыта» в генотипе особи и таким образом распределена по всей популяции. Существуют также алгоритмы, которые основаны на гаплоидном представлении и используют для работы дополнительную память. Использование внешней памяти сводится к запоминанию генотипов особей с наилучшей приспособленностью при определенных состояниях среды, с целью их дальнейшего использования при появлении сходного состояния. Методы различаются, в основном, принципами выбора особей для сохранения, способами их хранения и использования в дальнейшем.

**Выводы.** В данной работе рассматривался случай зависящего от времени весового ограничения, при постоянных остальных параметрах.

Поскольку генетический алгоритм моделирует эволюцию популяции, то процесс увеличения приспособленности популяции можно интерпретировать как процесс адаптации к условиям внешней среды, аналогом которой выступает целевая функция.

В случае изменения параметров задачи в ходе работы алгоритма, основной целью становится адаптация к изменяющимся условиям внешней среды. В отличие от задачи оптимизации стационарной функции, здесь основную роль играет способность алгоритма быстро реагировать на изменения среды, то есть отслеживать динамику оптимума по пространству поиска.

В рамках данной работы рассматривался случай дискретного изменения параметров задачи. Количество возможных значений параметров конечно и эти значения последовательно сменяют друг друга, полный цикл изменений параметров называется периодом задачи. Периоды, когда параметры задачи неизменны, называются интервалом постоянства.

В работе сравнивались пять методов: три на основе гаплоидного представления решения, в том числе алгоритм с использованием внешней памяти, один на основе диплоидного представления (триаллельная схема) [3] и на основе структурного представления [4].

Основные генетические операторы всех методов одинаковы, на сколько это позволяет представление. Во всех методах использовался одноточечный кроссовер и точечная мутация.

Два из рассмотренных гаплоидных алгоритма не имеют специальных механизмов, повышающих адаптацию в изменяющихся средах. Их исследование направлено на сравнение методов ухода от ограничений. Один метод использует штрафные функции, другой - преобразование генотипов. Штрафу и преобразованиям подвергаются особи, фенотипы которых не являются допустимыми решениями, то есть, нарушены ограничения задачи. В качестве функции штрафа рассмотрена квадратичная функция, преобразование генотипа осуществляется при помощи жадных эвристик.

Метод, использующий дополнительную память, имеет следующий механизм использования базы опыта. При смене состояния среды рабочая популяция сохраняется вместе со своим индикатором в базе опыта, для нового состояния среды формируется индикатор и в базе опыта производится поиск. Если популяция с таким индикатором сохранена в базе, то она берется в качестве текущей популяции и с ней продолжает работать алгоритм. В том случае, если такого индикатора нет, алгоритм формирует новую популяцию для своей работы.

При сравнении результатов работы различных алгоритмов в динамической среде,

важно определить цели оптимизации. Среди возможных целей можно перечислить: точность, стабильность, скорость восстановления.

Перечисленные выше алгоритмы сравнивались по скорости отклика на изменение состояния среды, коллективной приспособленности[5]. Под скоростью отклика понимается количество замеров, произведенных алгоритмом после изменения среды, для прихода к оптимальному решению (в таблице приведено среднее количество поколений). Коллективная приспособленность для алгоритма является значением лучшей в популяции особи, усредненным по количеству поколений в одном запуске и общему количеству запуска алгоритма.

Как видно из приведенной таблицы 1, алгоритм с памятью показывает наилучшие значения, как коллективной приспособленности, так и скорости отклика, поскольку найденные алгоритмом на предыдущих итерациях решения не теряются.

Таблица 1

Сравнительные характеристики генетических алгоритмов

Алгоритм	Коллективная приспособленность	Средняя скорость отклика
Алгоритм с памятью	63.108	2.60
Структурный алгоритм	54.291	20.44
Гаплоидный с преобразованием генотипа	56.829	23.16
Диплоидный	49.185	25.99
Гаплоидный со штрафной функцией	24.896	25.53

Алгоритм со структурным представлением имеет скорость отклика выше, чем гаплоидный алгоритм с преобразованием генотипа, но ниже значение коллективной приспособленности. Это можно объяснить следующим образом: поскольку алгоритм преобразования генотипа гарантирует получение допустимого решения, то в каждом поколении лучшая приспособленность будет больше нуля, в структурном алгоритме возможны случаи, когда во всем поколении не найдется допустимых решений, в этом случае приспособленность особей равна нулю. Таким образом, гаплоидный алгоритм с преобразованием генотипа всегда имеет в популяции только допустимые решения и среднее значение лучшей в популяции особи у него выше, в то время как структурный алгоритм, в среднем, быстрее приходит к оптимальному решению.

In the given work various updatings genetic algorithm for adaptation in non-stationary environments are considered. As model non-stationary tasks of discrete optimization are considered. The algorithms having adaptive properties and not demanding restart at change of conditions of a task are investigated.

1. Гери М. , Джонсон Д. Вычислительные машины и трудно решаемые задачи: Пер. С англ.-М: Мир,1982.

2. Сигал И.Х., Иванова А.П. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы. Учебное пособие. - М.: Физматлит, 2002.

3. Smith R. E., Goldberg D. E. Diploidy and Dominance. // in Artificial Genetic Search , Complex Systems, V.6, 1992, ph. 251—285.

4. Dasgupta D. Optimisation in Time-Varying environments using Structured Genetic Algorithms, Technical Report No IKBS-17-93, Dec. 1993.

5. R. Morrison. Performance measurement in dynamic environments.// In J. Branke, editor, GECCO Workshop on Evolutionary Algorithms for Dynamic Optimization Problems, pages 5-8, 2003.

## ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ БЕЗПОСЕРЕДНІМ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ ЗА КРИТЕРІЄМ МІНІМІЗАЦІЇ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ НА ЖИВИЛЬНУ МЕРЕЖУ

Лебеденко Ю.О.

### Постановка проблеми

В наступний час зростає інтерес до регульованих електроприводів як найбільш перспективного напрямку енергозбереження. Впровадження асинхронних та вентильних двигунів, сучасних алгоритмів їх управління та систем, що реалізують такі алгоритми, дозволяє, крім збереження енергії, значно подовжити строк служби промислового обладнання та підвищити якість вироблюваної продукції.

Завдяки цьому збільшуються вимоги до електроприводів змінного струму з погляду швидкодії, забезпечення максимальних параметрів і складних режимів, так і до перетворювачів частоти з точки зору підвищення енергетичної ефективності та електромагнітної сумісності перетворювача і з навантаженням, і з живильною мережею, збільшення надійності, та покращення масогабаритних показників.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Найбільше поширення для живлення асинхронних та синхронних двигунів набули двокаскадні перетворювачі частоти (з ланкою постійного струму). Але існує інший клас перетворювачів – безпосередні перетворювачі частоти, які мають певні переваги порівняно з двокаскадними. Це, по-перше, високий ККД, по-друге, добрі масогабаритні показники завдяки відсутності необхідності у громіздких фільтрах, а також легкість організації рекуперації до мережі.

Безпосереднім перетворювачам частоти присвячені роботи [1, 2].

За допомогою безпосередніх перетворювачів частоти (БПЧ), побудованих на повністю керованих силових напівпровідникових ключах з імпульсно-модуляційними алгоритмами управління можна досягти майже синусоїдальної форми вихідного струму, а також, з'являється можливість за рахунок алгоритму перемикання вентилів зменшити вплив перетворювача на живильну мережу. В попередніх роботах [ ] було запропоновано різні варіанти стратегій перемикання ключів перетворювача та проаналізовано вихідні напруги та вхідні струми в частотному діапазоні.

Відомо, що у системах електропостачання у зв'язку зі збільшенням споживачів електроенергії, що працюють в імпульсному режимі, а також систем із широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ), частотних перетворювачів у системах електроприводів з асинхронними двигунами, нелінійних навантажень, тиристорних перетворювачів та ін. виникає високий рівень вищих гармонік.

Це приводить до:

- збільшення повного споживаного струму;
- збільшення втрат в живильних кабелях і трансформаторі;
- додаткового нагрівання трансформатора;
- відхилення параметрів живлячої напруги від державних стандартів, що

спричиняє можливі проблеми в роботі інших пристроїв, підключених до цієї ж мережі й штрафних санкцій з боку енергопостачальної організації

Крім того, комутаційна апаратура повинна бути розрахована на струм з урахуванням гармонійних перекручувань, щоб уникнути необґрунтованих спрацьовувань захистів, а у випадку використання автономних джерел живлення, їхня потужність (повний струм) повинні вибиратися з урахуванням гармонійних складових. Цей факт обмежує використання перетворювачів такого класу для живлення, наприклад, судового обладнання.

Одною з перспективних областей для безпосередніх перетворювачів частоти є не-традиційні джерела енергії, наприклад, вітроенергетичні установки. Тут перетворювач вирішує зворотну задачу: перетворення напруги змінної частоти та амплітуди генератора в фіксовану частоту та напругу мережі. В цьому випадку наявність гармонійних переключувань в струмі генератора буде викликати додаткове нагрівання його обмоток та зменшення строку служби.

У зв'язку із цим питання зменшення впливу безпосереднього перетворювача частоти на мережу залишається актуальним.

**Постановка завдання**

Ціллю статті є розробка алгоритму оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти, що забезпечував би мінімум переключень вхідного струму перетворювача при забезпеченні необхідного заданого струму навантаження.

**Основний матеріал дослідження**

Узагальнений перетворювач частоти описується матричним рівнянням, яке зв'язує вхідні та вихідні напруги:

$$\mathbf{U}_{ВИХ} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{U}_{ВХ}, \tag{1}$$

де  $\mathbf{U}_{ВХ}$  - вектор вхідних напруг;  $\mathbf{U}_{ВИХ}$  - вектор вихідних напруг перетворювача;  $\mathbf{H}$  - матриця перемикальних функцій.

Для безпосереднього перетворювача частоти вхідними є напруги живильної мережі, тобто, наприклад, для трифазної мережі

$$\mathbf{U}_{ВХ} = \begin{pmatrix} u_A \\ u_B \\ u_C \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} u_{A\max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{ВХ} + \varphi_A) \\ u_{B\max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{ВХ} + \varphi_B) \\ u_{C\max} \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f_{ВХ} + \varphi_C) \end{pmatrix}, \tag{2}$$

Якщо система вхідних фаз симетрична, то  $u_{A\max} = u_{B\max} = u_{C\max} = u_{ВХ\max}$  й  $\varphi_A = 0, \varphi_B = 2 \cdot \pi / 3, \varphi_C = -2 \cdot \pi / 3$

Матриця перемикальних функцій для перетворювача з трьома вхідними та трьома вихідними фазами має вигляд:

$$\mathbf{H} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{pmatrix}, \tag{3}$$

де  $h_{ij}$  - перемикальна функція, можливі значення якої залежать від обраної схеми перетворювача.

Для перетворювачів, основою яких є набір реверсивних керованих випрямлячів за схемою з нульовим виводом перемикальна функція може приймати значення {0, 1}. Для мостових схем можливі три значення: {-1, 0, 1}. Перемикальна функція показує, яка з вхідних фаз бере участь у формуванні вихідної фази. Тобто, якщо функція  $h_{ij} = 0$  в певний момент часу, то j-а фаза в цей момент часу не підключена до i-ї вихідної фази перетворювача.

Для того, щоб покращити гармонійний склад вихідної напруги, використовують управління за інтегралом перетвореної напруги.

$$\int_0^t (\mathbf{U}^*(t) - \mathbf{U}_{ВИХ}(t)) \cdot dt \leq \varepsilon \tag{4}$$

При живленні інерційного навантаження форма струму в ньому при підвищенні частоти комутації силових вентилів буде майже синусоїдальною [3].

Вираз (4) можна розглядати як обмеження, що накладаються на управління перетворювачем.

При цьому вхідний струм можна визначити як

$$\mathbf{I}_{BX}(t) = \mathbf{H}^T(t) \cdot I_{BHX}(t), \quad (5)$$

Можна довести, що покращення гармонійного складу на виході перетворювача значно погіршує спектр вхідного струму. У вхідному струмі з'являються канонічні гармоніки з частотою, кратною частоті живильної мережі; неканонічні, які обумовлені частотою навантаження, та субгармоніки, частоти яких кратні вхідній та вихідній частотам.

Для зменшення рівня перешкод на вході перетворювача необхідно забезпечити таке управління, що доставляло б мінімум функціоналу  $\mathbf{J} = \int F(\mathbf{I}_{BX}) \cdot dt$ , де  $F$  - функція загороджувального фільтра ( $f_o = f_{BX}$ ) при заданих обмеженнях (4). При цьому чутливість функціонала мети до управління

$$\lambda_i = \frac{d\mathbf{J}_i}{d\mathbf{I}_{BXi}}.$$

Управління буде оптимальним, якщо воно буде мінімізувати чутливість  $\lambda_i$ . Зменшення чутливості можливо лише шляхом комутації фази з максимальною  $\lambda_i$  до навантаження, тобто підвищенням споживаного струму.

В якості оцінки чутливості функціоналу мети можна використовувати коефіцієнт перекручувань, що визначає ступень впливу перетворювача на живильну мережу:

$$k_B = \sqrt{\frac{\int (I_{BHX}(t) - I_{BHX}^*(t))^2 dt}{\int (I_{BHX}(t))^2 dt}}, \quad (6)$$

де  $I_{BHX}^*(t)$  - основна гармоніка фазного струму.

Перевагами даного критерію є те, що він враховує як канонічні, так і неканонічні гармоніки, а також субгармоніки.

На основі цих міркувань було розроблено алгоритм оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти з мінімізацією негативного впливу на мережу та проведено моделювання засобами програмного пакету MATLAB, суть якого полягає в наступному: Визначається коефіцієнт  $\bar{k}_B = \sqrt{k_{BA}^2 + k_{BB}^2 + k_{BC}^2}$  для кожного з можливих варіантів перемикання. Значення основної гармоніки визначається при цьому за допомогою вибіркового фільтра з частотою пропускання, рівній частоті живильної мережі. Завдяки тому, що струм навантаження при активно-індуктивному його характері та оцінки основних гармонік струму з виходів фільтрів змінюються повільно, можливо передбачити, який з варіантів забезпечить мінімум коефіцієнта  $\bar{k}_B$ .

Спектри вхідного струму перетворювача з комутацією фаз за розробленим алгоритмом та максимальної фази для вихідної частоти 40 Гц та напруги амплітудою 180 В наведені на рис. 1 б та а відповідно.

Як видно з рисунку, розроблений алгоритм збільшує рівень основної гармоніки вхідного струму. Застосування такого алгоритму значно зменшує коефіцієнт перекручувань. В даному випадку він складає 0.72, що значно менше, ніж при комутації максимальної та мінімальної напруги (в цьому випадку коефіцієнт  $\bar{k}_B = 0.978$ ).

### Виводи

В результаті проведених досліджень було розроблено алгоритм оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти з мінімізацією впливу на живильну мережу. Показано, що застосування такого алгоритму дозволяє значно підвищити рівень основної гармоніки у вхідному струмі перетворювача. Подальше удосконалення алгоритмів управління комутацією силових вентилів можливо в напрямку вибору фільтруючих елементів для визначення чутливості функціоналу мети.

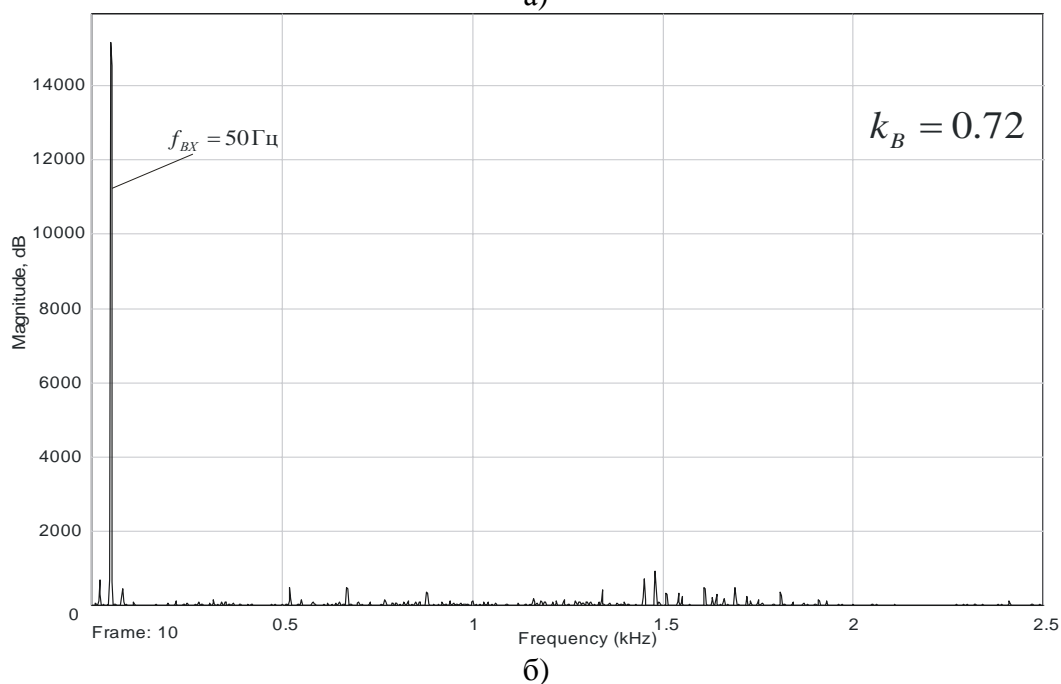
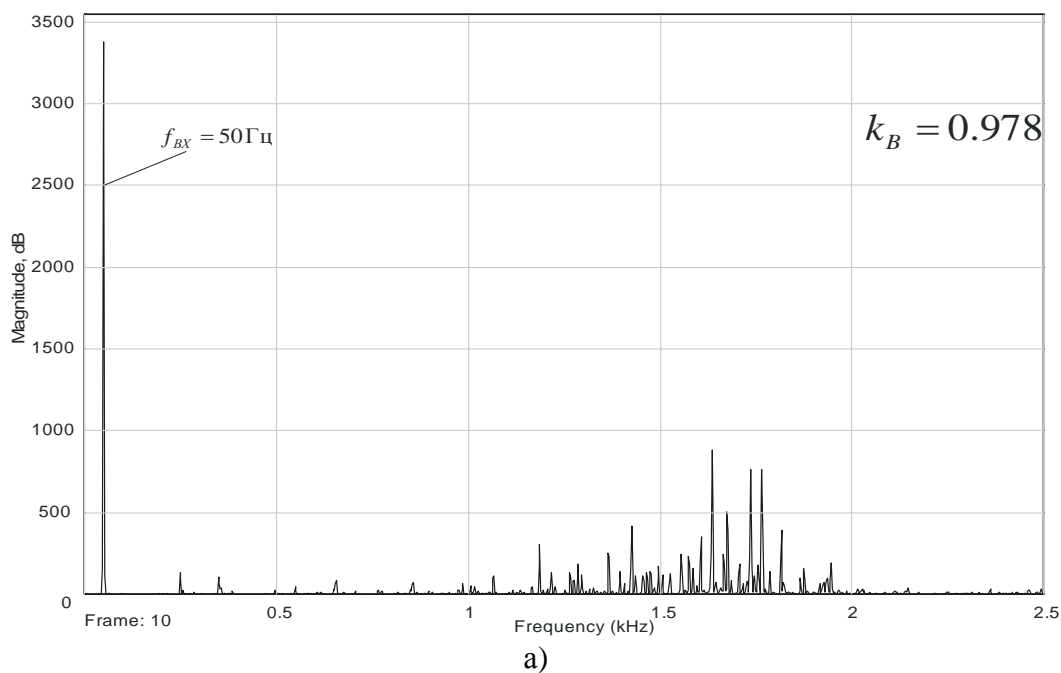


Рис. 1 Спектр вхідного струму перетворювача  
 а – з комутацією максимальної фази;  
 б – з комутацією фаз за розробленим алгоритмом.

Article is devoted to questions of reduction of negative influence of the converter of frequency on a nutritious network. The algorithm of optimum control is developed by the direct converter of frequency.

1. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода / Чехет Э.М., Мордач В.В., Соболев В.Н. – К.: Наукова думка, 1988. – 222 с.
2. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 400 с.
3. Лебеденко Ю.А. Выбор стратегии управления непосредственными преобразователями частоты // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон, 2006. – №1(17) - С. 138-144.

## МЕТОДИ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 621.311:681.5

### АДАПТИВНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА

Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Поліщук І.А.

Першочерговою задачею в сучасному виробництві є економне використання енергоресурсів, підвищення екологічності технологічних процесів. Таким чином, до систем регулювання процесом згоряння палива в енергетичних установках висувають підвищені вимоги. З одного боку, необхідно мінімізувати викиди шкідливих речовин, а з іншого – підвищити ефективність та якість спалювання органічного вида палива. Зменшення витрат енергоносіїв можна досягти тільки регулюванням без подорожчання технологічного обладнання й ускладнення конструкції пальникових пристроїв. Для розробки високоякісної системи автоматичного регулювання теплового навантаження необхідне комплексне вивчення факторів впливу на процес горіння, існуючих методів зменшення шкідливих викидів, структурних та технічних рішень з автоматизації.

При маловитратній модернізації схеми теплового навантаження котла ТПП-210А при роботі на вугільному пилу за структуру була обрана каскадна система автоматичного керування, де коригувальним регулятором є загальний регулятор палива, а стабілізуючим - індивідуальний регулятор подачі палива [1]. На індивідуальний регулятор подачі палива надходять наступні сигнали: температура аеросуміші перед пальником, що характеризує пилопродуктивність аероживильників пилу АЖП; зворотний зв'язок по положенню регулювального клапана АЖП; завдання від загального регулятора палива. У регуляторі теплового навантаження, що працює в цей час за триконтурною схемою, як основний сигнал використовується сумарна температура пари за стельовим екраном і швидкісні сигнали - температура за нижньою радіаційною частиною НРЧ, верхньою радіаційною частиною ВРЧ, сумарна витрата води по нитках.

У порівнянні із традиційною двоконтурною схемою впровадження триконтурної схеми теплового навантаження дозволило зменшити час перехідного процесу на 25-30%. За рахунок можливості точної підтримки заданої температури за стельовим екраном можна підвищити економічність котла - динамічне відхилення по основному регульованому параметру не перевищує 5°C.

При побудові системи автоматичного регулювання САР теплового навантаження слід зауважити, що на процес згоряння палива впливають наступні фактори: вид палива (агрегатний стан палива, вологість, зольність, спікливість, вихід летких); спосіб спалювання; аеродинамічні особливості процесу; характер підведення кисню до палива; вид топки; концентрація кисню в повітрі; тиск при якому відбувається горіння і т.п. Для ефективного і якісного спалювання палива в котлових агрегатах повинно бути точно збалансоване співвідношення "паливо - повітря". Недостача повітря при горінні викликає неповне згоряння й, як наслідок, перевитрату палива. Надлишок повітря також приводить до перевитрати палива на нагрівання зайвого повітря в складі газів, що відходять. В обох випадках спалювання палива супроводжується підвищеним викидом в атмосферу високотоксичних газів (рис. 1) [2]. У процесі тривалої експлуатації можуть змінюватися характеристики твердого палива і, відповідно, режим роботи котла. При підвищеній зольності палива знижується його теплота згоряння, обсяги продуктів згоряння і повітря, що витрачається на горіння палива. При одночасній зміні ряду умов роботи проти номінальних режим котла піддається різним впливам, впливи яких можуть складатися або взаємно компенсуватися.



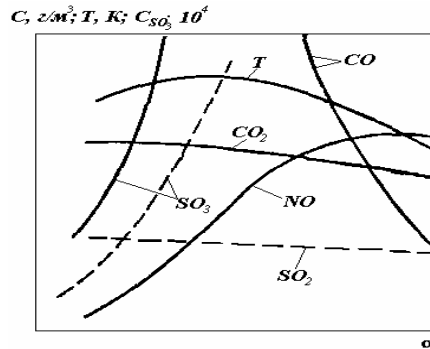


Рис. 1 Залежність рівноважних концентрацій різних компонентів газів, що відходять, і рівноважної температури горіння  $T$  від коефіцієнта надлишку окислювача

Відомо, що система пилоподачі котла в умовах експлуатації підлягає дії багатьох керуючих і збурюючих впливів, до яких можна віднести зміни подачі палива і первинного повітря, якість палива, режим роботи системи пилоприготування, характер витікання пилу з бункера та ін. Ці збурення, що мають випадковий характер, впливають на рівномірність розподілу палива по пальниках і стабілізацію пилоподачі в часі, що приводить до зміни експлуатаційних показників котла, що визначають надійність і економічність його роботи. Сигнал по температурі аеросуміші пилу з первинним повітрям може бути використаний в САР стабілізації подачі палива на пальники котла як регульовану величину, що побічно характеризує витрату палива в пилопроводі. Дослідження динамічних властивостей сигналу по температурі аеросуміші в представницькій точці виміру термопарою з захисним чохлам, проведені при різних по величині і знакові збуреннях витратою палива, показали, що запізнювання сигналу по температурі  $\tau_{зАП}=2$  с., а  $T_{ОБ}=22$  с. Оскільки переміщення регулюючого органа не є стрибкоподібним і займає близько 10 с., то запізнювання сигналу, що з'являється, впливає на динамічні властивості об'єкта керування і якість автоматичного регулювання подачі палива.

При нанесенні збурення витратою палива були отримані динамічні характеристики аеросуміші експериментальним шляхом. Перехідні характеристики при різних навантаженнях приведені на рис. 2.

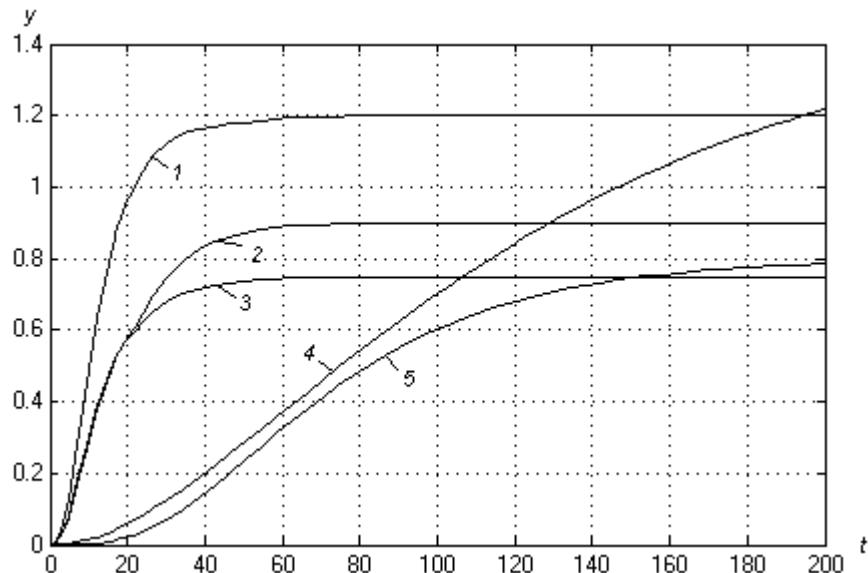


Рис. 2 Перехідні характеристики температури аеросуміші при збуреннях витратою палива при різних навантаженнях

1 – 50→40% ВП, 2 – 80→60% ВП, 3 – 50→40% ВП,  
4 – 30→5% ВП, 5 – 45→55% ВП

З отриманих перехідних характеристик можна прослідкувати наявність залежності параметрів об'єкта від навантаження на енергоблок. Коефіцієнт передачі  $K_{ОБ}$  змінюється в

діапазоні 0,75-1,5 °C/(т/т); постійна часу  $T_{об}=17\div 118$ с; час запізнення сигналу по температурі  $\tau_{зап}=2\div 26$  с. Але навіть добре спроектована автоматична система може бути непрацездатною або мати низькі показники якості у зв'язку зі зміною динамічних властивостей об'єкта управління (ОУ), неповнотою апріорної інформації про умови роботи системи. З цієї точки зору вважається досить ефективним шлях побудови управляючих систем, що не вимагають повної апріорної інформації про об'єкт й умови його функціонування. У зв'язку з цим також виникає необхідність застосування систем управління, що володіють здатністю самостійно або, принаймні, при обмеженій участі обслуговуючого персоналу, оптимізувати свою роботу.

Зроблені припущення обґрунтуємо математичним моделюванням САР витрати палива. Для цього в середовищі Simulink пакету MatLab були змодельована САР для стабілізуючого контуру схеми теплового навантаження та проведені дослідження роботи ПІ-регулятора при зміні параметрів об'єкта при різних збуреннях. Для розрахунку оптимальних налаштувань для ПІ-регулятора для САР витрати палива за основу було обрано передатну функцію I порядку, отриману шляхом апроксимації перехідної характеристики *1* (рис. 2). В середовищі Simulink отримали криву перехідного процесу *1* замкненої САР (рис.4) з регулятором, розрахованим на 20-% перерегулювання. Отримані показники якості задовольняють вимогам, висунутим до САР. Далі була досліджена працездатність розробленої системи автоматичного регулювання з тими ж налаштуваннями регулятора для різних навантажень (рис. 2, криві 2, 3, 4, 5). Отримані результати моделювання САР витрати палива (рис. 4) показали, що перехідний процес 2 є аперіодичним; показники якості процесу 3 не задовольняють поставленим вимогам до САР; перехідні процеси 4, 5 є розбіжними.

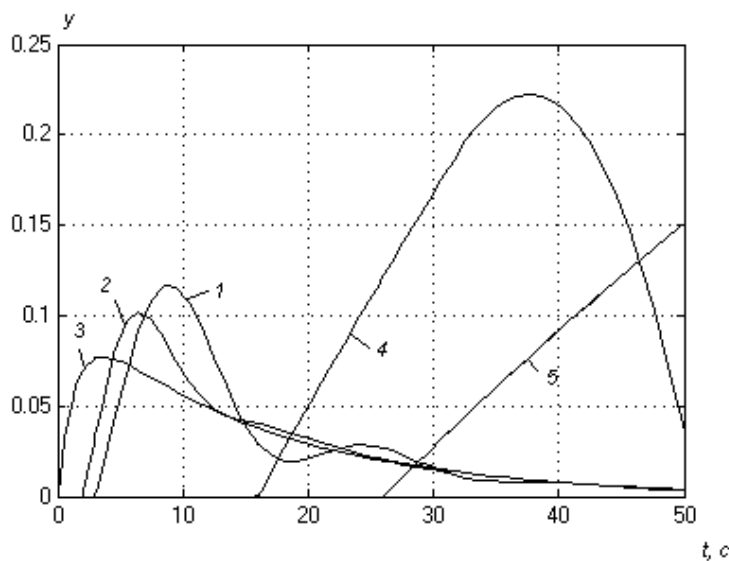


Рис. 3 Перехідні процеси САР витрати палива  
 1 – 50→40% ВП, 2 – 80→60% ВП, 3 – 50→40% ВП,  
 4 – 30→5% ВП, 5– 45→55% ВП

Таким чином, можна зробити висновки, що статичні й динамічні властивості об'єкта і процесу можуть змінюватися, а апріорні відомості про ці зміни й про самі фізичні, математичні й розрахункові моделі "об'єкт - зовнішнє середовище" лише деякою мірою відповідають дійсності. У цих випадках практичний результат управління не відповідає розрахунковому або ж є зовсім непридатним. Вирішення цієї проблеми можливо з використанням відповідних технічних засобів, що буде гарантувати бажану якість процесу управління й інваріантність регульованих змінних, критеріїв якості або інших характеристик системи керування до об'єктивно існуючих неконтрольованих змін статичних і динамічних властивостей об'єкта. При розробці адаптивних систем висуваються наступні вимоги: забезпечення необхідних показників якості регулювання об'єктів при зміні динамічних параметрів у широких межах у процесі нормальної експлуатації; прискорення й забезпечен-

ня необхідної точності настроювання систем регулювання при введенні об'єкта в дію; забезпечення можливості виконання багатоваріантного аналізу різних структур систем автоматичного регулювання проєктованих технічних об'єктів у прийнятний термін з метою вибору найбільш перспективних для розроблюваного проєкту автоматизації.

Спираючись на результати досліджень, до розробленої САР був доданий контур адаптації. В якості алгоритму адаптації було обрано безошуккову самонастроювальну систему СНС. У регуляторах з еталонною моделлю ЕМ (рис. 4) ставиться завдання одержання такої реакції замкнутого контуру управління  $y(t)$  на певний вхідний сигнал  $y_{зад}$ , що була б максимально близька до реакції на цей же сигнал заданої еталонної моделі  $y_M(t)$ .

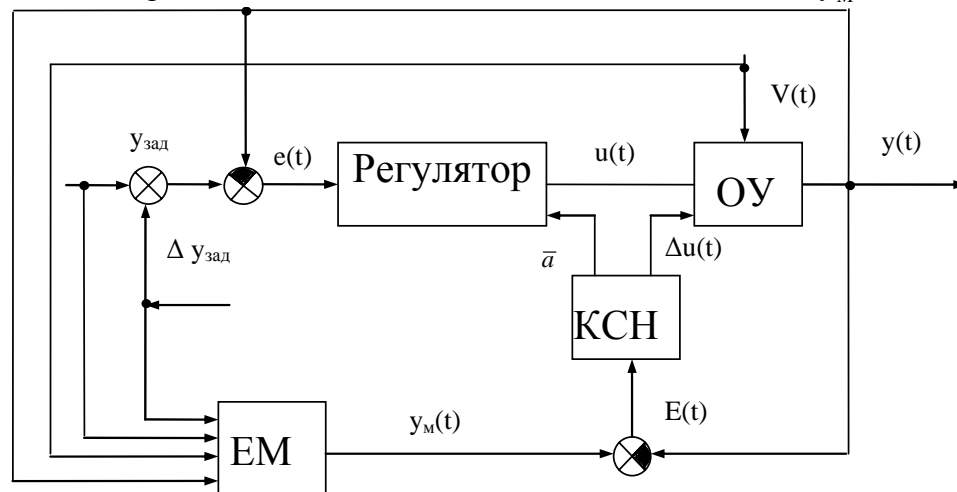


Рис. 4 Адаптивна САР з явною еталонною моделлю  
КСН – контур самонастроювання

У безошуккових системах управління на основі апріорної або поточної інформації обчислюється критерій оптимальності, зрівнюється із заданим значенням і по неузгодженості  $E(t)$  формується управління. На підставі апріорної й поточної інформації про вхідні впливи й стан системи обчислюється деяке необхідне значення міри якості  $I = I_{зад}$ , зрівнюється з поточним значенням  $I$  і підраховується неузгодженість  $\Delta I$ . По величині  $\Delta I$  вектори управління  $\bar{u}$  або параметрів регулятора  $\bar{a}$  змінюються так, щоб  $\Delta I$  звести до нуля або мінімально можливої величини.

При такій постановці вирішуються два завдання: вибір  $I_{зад}$  досить близького до  $I_{MIN}$ ; синтез алгоритмів перебудови управління або вектора параметрів регулятора  $\bar{a}$ . Процес визначення  $I_{зад}$  можна розглядати як процес відшукування деякої моделі-еталона, по якій здійснюється настроювання характеристик реальної системи. Даний принцип адаптації припускає наявність деякого вимірюваного зовнішнього сигналу (наприклад, що задає вплив у системі, що стежить), причому адаптація виконується лише в ті періоди, коли цей сигнал починає змінюватися [3].

В середовищі Simulink пакету MatLab була досліджена робота системи автоматичного регулювання витратою палива з алгоритмом адаптації. Результати моделювання для САР без контура адаптації і з адаптацією приведені на рис. 5.

Таким чином, при зміні параметрів об'єкту управління у широких межах звичайний ПІ-регулятор стає непрацездатним. Як видно з рис. 5, при зміні навантаження при збуренні 30-5% ВП перехідний процес 2 замкнутої САР стає розбіжним. Введення контуру адаптації (крива 1) значно покращує регулювання та забезпечує необхідні показники якості. Перевагою даного алгоритму є те, що відсутність безпосереднього пошуку дозволяє одержати темп процесів адаптації, порівняний з темпом перехідних процесів у системі по регульованій величині й забезпечити більшу швидкодію процесів адаптації в безошуккових СНС у порівнянні з пошукowymi. Розробка адаптивної системи тепловим навантаженням

проводилась без врахування обмежень на керуючий вплив та вихідну величину. Це питання потребує більш детального вивчення проблеми і є предметом іншого аналізу.

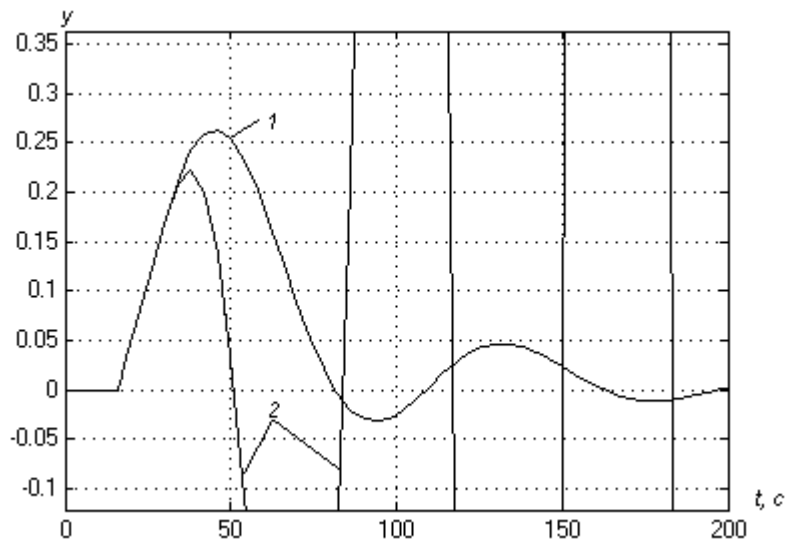


Рис. 5 Перехідні процеси САР витрати палива

1 - з контуром адаптації; 2 - без контуру адаптації (перехідний процес 4 рис. 3)

Але при істотній зміні параметрів об'єкта управління еталонна модель із незмінними параметрами задає перехідний процес, що не може бути досягнутим. Таким чином, якщо в системі використовується еталонна модель із фіксованими параметрами, то згодом реакція системи наближається до реакції цієї моделі, що не обов'язково повинна бути «оптимальною». Внаслідок цього для підвищення якості функціонування самонастроювальної системи з еталонною моделлю використовують модель-еталон, яка настраюється. Іншим рішенням є застосування систем автоматичного регулювання з ідентифікацією. Для побудови СНС автоматичного регулювання використовуються результати початкової ділянки перехідної характеристики розімкненої САР, яка отримується шляхом подачі ступінчастого керуючого впливу. При зміні параметрів об'єкта система ідентифікації підлаштовує настройку регулятора, таким чином, забезпечує необхідні показники якості. Можливість застосування двох алгоритмів ідентифікації: більш швидкого – з підлаштуванням  $K_p$ , та більш точного – з одночасним підлаштуванням  $K_p$  та  $T_i$ , дозволяють одержати темп ідентифікації порівняний з темпами процесу та необхідними показниками якості [4].

Таким чином, використання високоякісних систем регулювання дозволяє запобігти витратам та втратам, що пов'язані з низькою якістю регулювання та відключеннями внаслідок зміни параметрів.

The main factors of combustion procedure are considered in this article. The model reference adaptive control is designed to get the good quality metrics in case of the characteristic of control object changes in wide range.

1. Свириденко В.П., Попутников А.Б. Опыт модернизации схемы регулятора тепловой нагрузки котла ТПП-210А при работе на угольной пыли – «Энергетика и Электрификация», 2001.
2. Волков Э.П. Контроль загазованности атмосферы выбросами ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 256 с.
3. Солодовников В.В., Мрамко Л.С. Расчет и проектирование аналитических самонастраивающихся систем с эталонными моделями. - М.: «Машиностроение», 1972.- 270 с.
4. Ковриго Ю.М, Мовчан А.П., Поліщук І.А. Метод построения самонастраивающихся регуляторов для промышленного применения// Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – 2005. - №1. – С. 152-157.

ПРИНЯТИЕ АДАПТИВНОЙ СТРАТЕГИИ ПРИ ФОРМИРОВАНИИ  
ТРАЕКТОРИИ ОБУЧЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ

Носов П.С.

Не смотря на необходимость связи теории и практики, студенты в ходе учебы, часто выбирают собственные приоритеты: либо знания либо умения, и соответственно этому формируют свою траекторию обучения [1]. Данный факт подтверждает то, что студенты адаптируются к существующим условиям обучения в ВУЗах. Сложившаяся ситуация свидетельствует о проблеме независимости теоретических знаний относительно практических умений в учебном процессе [2]. Методы, применяемые для решения данной проблемы в классическом обучении, не позволяют достичь значительного повышения успеваемости в условиях автоматизации [3].

В статье предложен подход позволяющий адаптировать процесс обучения, к студентам управляя фактором времени учебного занятия на основе меры неопределенности прогноза по Ягеру.

Построение траектории обучения студента учитывает следующие факторы:

- уровень знаний студента  $B_{ij}$  ;
- уровень умений студента  $B_{ij}^*$  ;
- время, потраченное на выполнение задачи  $a_{\max}, a_{\max}^*$  .

Кроме этого, в области построения траектории располагаются два концентрических эллипса, которые разбивают ее на соответствующие участки:

- участок допустимых результатов  $Q_{pr}$ ;
- участок цели со стороны ЛПР и учебного процесса  $Q_p$ , где  $Q_p \in Q_{pr}$  ;
- участок недопустимых результатов  $Q_{npr}$ , где  $Q_{npr} = \Omega - Q_{pr}$  .

При этом концентрические эллипсы как направляющие траектории формируются на плоскости контрольных временных срезов с центром в точке пересечения осей знаний и умений (рис.1.). Сама же точка пересечения – порог требования системы (максимальный бал за тест  $G_p$ ).

Таким образом, плоскость делится на четыре сектора:

1.  $(B_{ij}, G_p, B_{ij}^*)$  – (теоретик + практик в пределах цели);
2.  $(B_{ij}, G_p, B_{ij}^* + G_p^*)$  – (выраженный практик);
3.  $(B_{ij}^* + G_p^*, G_p, B_{ij} + G_p)$  – (теоретик + практик сверх цели);
4.  $(B_{ij} + G_p, G_p, B_{ij}^*)$  – (выраженный теоретик);

В целях диагностики уровня требований ЛПР относительно результатов студента кроме перечисленных характеристик учитывается и потенциал студента. В данном случае рассматривается ситуация, когда студенты преимущественно выполнили задания досрочно (рис.1). При этом предполагается, что за оставшееся время студент мог выполнить дополнительные задания, улучшив свой результат  $B_{ij}$  и  $B_{ij}^*$ .

Координаты точки  $S_i (B_{ij}; B_{ij}^*)$  определяется на основе расстояний  $\Delta a, \Delta b$  :

$$\Delta a = B_{ij} - (a, G_p), \quad \Delta b = B_{ij}^* - (b, G_p^*) \quad (1)$$

$$S_i(B_{ij}; B_{ij}^*) = S_i \left( R \cdot \sin \frac{90^\circ(\alpha, G_p)}{\Delta a + \Delta b}; R \cdot \sin \left( \frac{90^\circ(b, G_p^*)}{\Delta a + \Delta b} \right) \right) \quad (2)$$

Ввиду того, что тестом не предусматривается достижение результата  $G_p(G_p; G_p^*) = (50; 60)$ , предлагается смоделировать процесс получения бонуса – дополнительных заданий за преждевременный положительный результат. Координата среднего значения по группе  $S_i(40; 45)$ , с учетом бонуса времени относительно  $B_{ij}$  и  $B_{ij}^*$ :  $t_b(t_b^*) = T - a_{\max}(a_{\max}^*)/T$  сместиться к точке  $S_i'(46; 64)$ ,

$$\text{где } S_i' = (B_{ij} \cdot (1 + t_b); B_{ij}^* \cdot (1 + t_b^*)) \quad (3)$$

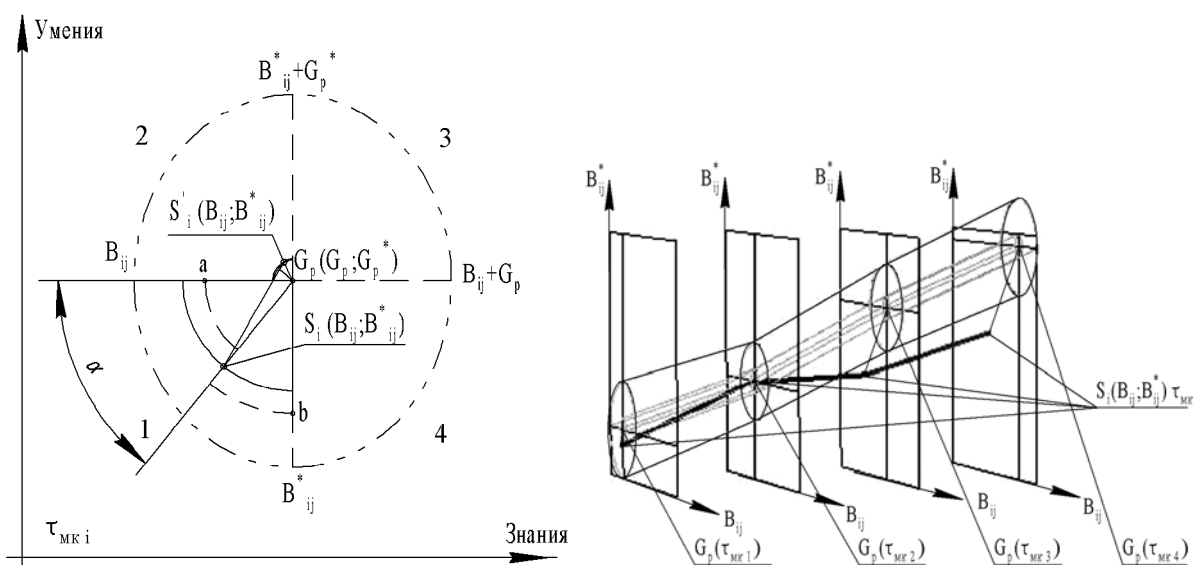


Рис. 1 Принятие решения в условиях бонуса времени

Такое положение предполагает от системы принятия решений интеллектуальной системы управления учебным процессом (ИСУ УП), соответствующей реакции, а именно: используя бонус времени добавить 15 % заданий теоретических и 42 % практических, при этом добавленные теоретические задания должны быть сложнее на 10%, а практические на 15%.

Ситуация обстоит сложнее в обратном случае, когда завышенные требования к выполнению тестового не оставляют бонуса времени. Рассмотрим положение усредненного результата группы  $S_i$ .

Тогда для принятия рационального решения на следующий этап контроля необходимо учесть значения возможного прогноза в двух вариациях: без принятия решения и с принятием решения. В свою очередь принятие решений возможно в четырех совместных фазах:

1. Упрощение теоретических заданий  $B_{ij} \downarrow$ ;
2. Усложнение теоретических заданий  $B_{ij} \uparrow$ ;
3. Упрощение практических заданий  $B_{ij}^* \downarrow$ ;
4. Усложнение практических заданий  $B_{ij}^* \uparrow$ .

Ввиду того, что рациональное принятие решений на будущем этапе контроля основывается на данных прогноза, то фазы, которые позволят с наименьшей мерой неопределенности определить значение прогноза и будут наиболее рациональными.

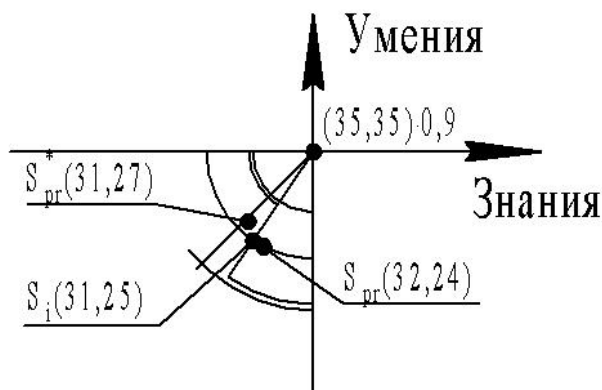


Рис. 2 Отображение оценки  $S_i$  и принятие решения без бонуса времени

Проведем моделирование меры неопределенности прогноза  $S_{pr}^*$  по методу Ягера [5]:

$$S_{pr}^* = \left( (B_{ij}^i + B_{ijpr}^i)^{\frac{1}{i}}; (B_{ij}^{*i} + B_{ijpr}^{*i})^{\frac{1}{i}} \right), \quad (4)$$

где  $B_{ijpr}(B_{ijpr}^*)$  – знание/умение, измененное в результате принятия решения, для чего введем коэффициент нагрузки  $k(k^*) \in [0,1; 1,9]$ , где верхняя граница 1,9 принята условно.

Предположим, в ходе обучения средние результаты студентов группы составили:

Вид задания \ этап	1	2	3	4	5	6	7
теория	13	22	31	46	54	72	89
практика	15	23	25	39	45	63	71

При этом максимальные требования ИСУ УП к выполнению заданий предполагали следующие показатели:

Вид задания \ этап	1	2	3	4	5	6	7
теория	15	25	35	50	60	80	100
практика	20	30	35	55	65	90	100

Тогда согласно методу наименьших квадратов, оперируя значениями, полученными на первых двух этапах, построим прогноз без принятия решений и соответственно с принятием решений во всех фазах:

1. Без принятия решений:

Вид задания \ прогноз	3	4	5	6	7
теория	31	44	53	70	88
практика	27	42	50	69	76

При этом мера неопределенности прогноза составила 0,86.

2. Упрощение теоретических заданий:

Коэффициент	Сравнительный результат				
0,9	32	45	54	72	90
Прогноз после принятия решений					
	28	39	47	63	79

При этом мера неопределенности прогноза составила 0,77.

3. Усложнение теоретических заданий:

Коэффициент	Сравнительный результат				
1,1	39	55	66	88	110
Прогноз после принятия решений					
	34	48	58	77	96

При этом мера неопределенности прогноза составила 0,95.

5. Упрощение практических заданий:

Коэффициент	Сравнительный результат				
0,9	32	50	59	81	90
Прогноз после принятия решений					
	24	38	45	62	69

При этом мера неопределенности прогноза составила 0,78.

6. Усложнение практических заданий:

Коэффициент	Сравнительный результат				
1,1	39	61	72	99	110
Прогноз после принятия решений					
	29	46	54	75	84

При этом мера неопределенности прогноза составила 0,95.

Проанализировав полученные результаты можно заключить, что наиболее рациональным является решение 2,4 - упрощение теоретических и практических заданий.

Таким образом, предложенный метод пространственного формирования траектории учебной деятельности студента, позволяет не только получить числовое значение знаний-умений, но и принимать адаптивные решения, определить логику мышления студента в предметной области.

The method of spatial formation of a trajectory of educational activity of the student which allows not only to receive numerical value of knowledge-skills is offered, but also to make adaptive decisions, to define logic of thinking of the student in a subject domain:

1. Машбиц Е.И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения. – М.: Педагогика, 1988.
2. Носов П.С. Використання компонентів мислення експертними системами, як фактору адаптивного впливу в автоматизованих навчальних системах / Носов П.С., Яковенко О.Є., Тонконогий В.М. / Тр. Одес. политехн. ун-та. -Одеса: ОНПУ, 2005. — Спецвип. — С. 101 — 106.
3. Носов П.С. Особливості розробки комп'ютерних тестових методик у адаптивному навчанні // Збірник наукових праць. Педагогічні науки. Випуск 39. – Херсон: Видавництво ХДУ, 2005. — С. 359 – 363.
4. Аверкин А.Н., Головина Е.Ю.,Сергиевский А.Е. Проектирование нечетких регуляторов на основе треугольных норм // Известия академии наук. Теория и системы управления.-1997 г., № 5, С. 112-118



## СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-713.1:621.436

### ТЕПЛООТДАЧА ПОГРУЖНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО ТЕПЛООБМЕННИКА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ ЭНЕРГОУСТАНОВОК МОРСКИХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

Федоровский К.Ю., Лунев А.А.

В судостроении широкое распространение получили разомкнутые системы охлаждения энергетических установок. Такие схемы успешно эксплуатируются для тех типов судов, которые длительное время находятся в сравнительно чистой акватории. Суда технического флота (плавкраны, землечерпалки и др.), а так же стационарные технические средства (например, буровые платформы) часто находятся не только в загрязненной акватории, но и сами создают мощное её загрязнение. Забор в систему загрязненной воды приводит к засорению элементов системы охлаждения забортной водой и их эрозионному разрушению. Попадание в систему охлаждения механических примесей в 2 – 3 раза усиливает коррозионно-эрозионное разрушение трубопроводов. Первые язвенные поражения появляются уже через 1 – 1,5 года эксплуатации. Резко снижается надежность эксплуатации судовой энергетической установки, ресурс оборудования. Затраты на ремонт системы забортной воды могут достигать 10 – 12% общей стоимости ремонтных работ на судне. Кроме того, большинство морских технических средств находится в прибрежной, сравнительно мелководной акватории, где сосредоточены основные биоресурсы морей.

Международная экологическая экспертиза [1] показала, что примерно 50 – 70% микроорганизмов, рыбной молоди и икринок, попадающих в элементы разомкнутых систем охлаждения вместе с забортной водой, погибают. Специалистами Института биологии южных морей АН Украины были выполнены расчеты, применительно к системе охлаждения энергоустановки мощностью 5000 КВт морской буровой платформы типа «Шельф». В результате определено, что в случае её работы в течение года в районах Азовского или Каспийского морей могут иметь место потери промысловых сортов рыбы, измеряемые сотнями тонн.

Это предопределило тот факт, что при создании буровой платформы, предназначенной для эксплуатации в районе северо-восточного Каспия, в техническом задании на её проектирование было дано четкое указание на создание систем охлаждения, исключая прием забортной охлаждающей воды. Фактически необходима замкнутая система охлаждения. Имеется определенный опыт создания таких систем для судов, технического флота [2]. Однако буровые платформы часто выполняются стационарными и, в отличие от судна, устанавливаются на фермовых основаниях. Для таких объектов стоит задача создания теплообменных аппаратов, отводящих теплоту в неподвижную морскую воду.

С точки зрения простоты изготовления и обслуживания одним из наиболее рациональных вариантов такого аппарата является набор параллельно расположенных плоских полых пластин с лабиринтными каналами внутри. По данным каналам движется охлаждаемая пресная вода (рисунок 1). Так, например, в условиях мелководья северо-восточного района Каспия имелись ограничения по высоте. Теплоотдача при движении охлаждаемой пресной воды в лабиринтном канале такого аппарата хорошо изучена [2]. Для расчета теплоотдачи забортной воде нельзя использовать хорошо известные зависимости для изотермических поверхностей, поскольку по данным [3] ошибка может достигать 50%.

Стоит задача разработать методы теплотехнического расчета таких устройств. Поскольку пластины располагаются в пакете с зазором между собой, то нельзя также использовать зависимости для теплоотдачи через судовую обшивку, полученные в [2,3]. Требуется специальные исследования.

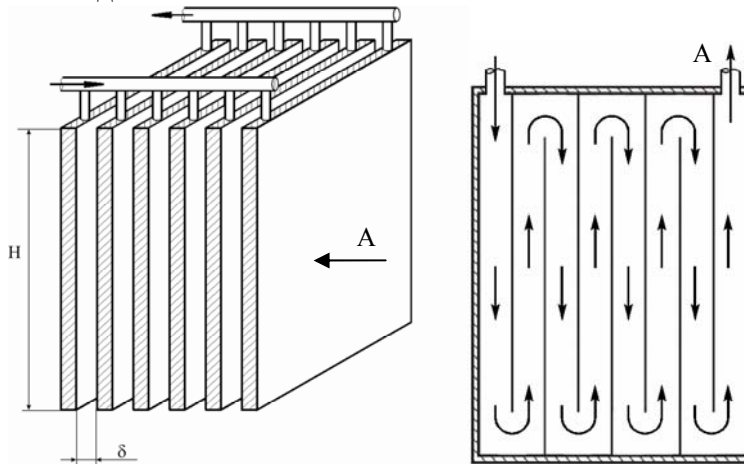
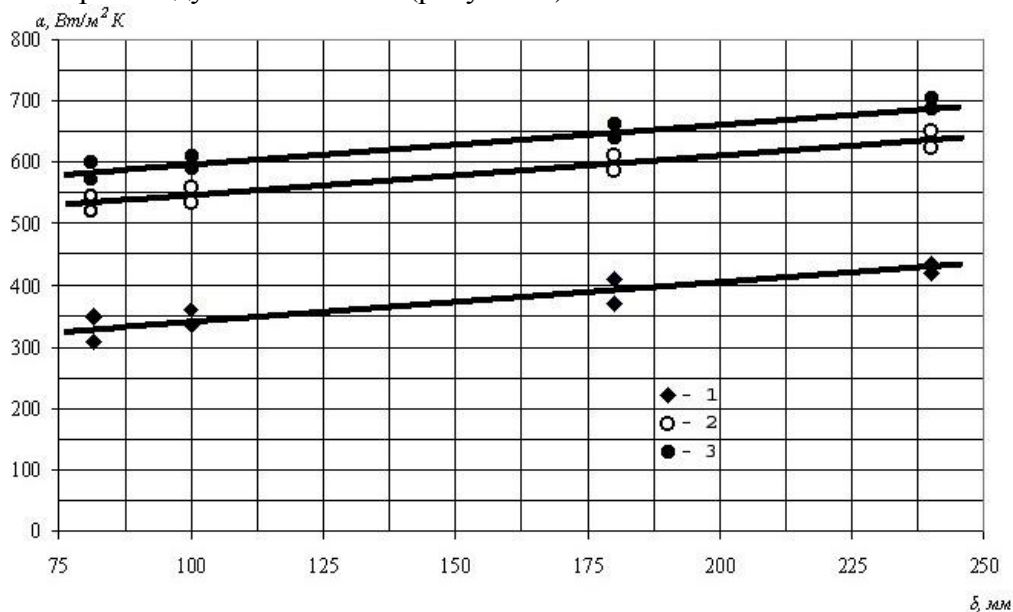


Рис. 1 Пластиновый погружной теплообменный аппарат

Для исследования процессов была создана экспериментальная установка. Экспериментальная модель состояла из двух параллельных пластин высотой 0,8 м и шириной 0,5 м с внутренним лабиринтным каналом каждая. С использованием специального устройства изменялось и фиксировалось расстояние между этими пластинами в диапазоне от 80 до 240 мм. Температура поверхности пластин измерялась с помощью терморпар. Также контролировалась температура горячей воды на входе и выходе. Для предотвращения непредусмотренных теплопотерь все необходимые поверхности экспериментальной модели были тщательно теплоизолированы. Экспериментальная модель размещалась в емкости объемом 17 м<sup>3</sup> с неподвижной водой, имитируя условия теплоотдачи при свободной конвекции. Экспериментальная установка обеспечивала прокачивание горячей пресной воды с расходом до 0,001 м<sup>3</sup>/с и её прогрев до 90°С. Измерение расхода жидкости осуществлялось объёмным методом.

Проведенные экспериментальные исследования четко показали зависимость теплоотдачи от зазора между пластинами  $\delta$  (рисунок 2).



1 – температурный напор  $\Delta t = 7^\circ\text{C}$ ; 2 –  $27^\circ\text{C}$ ; 3 –  $40^\circ\text{C}$

Рис. 2 Зависимость коэффициента теплоотдачи  $\alpha$  от зазора между пластинами при различных температурных напорах  $\Delta t$

При температурном напоре равном 27 °С увеличение зазора с 80 мм до 240 мм увеличивает теплоотдачу на 20%.

На рисунке 3 показана обработка экспериментальных данных в координатах  $lg(Nu)$   $lg(PrGr)$ . Из графика следует, что для всех зазоров тангенс угла наклона линий равен 0,33. Это означает, что показатель степени при  $(PrGr)$  равен 0,33. Отсюда вытекает, что процесс теплоотдачи автомоделен по отношению к высоте теплоотдающей поверхности  $H$ . Другими словами, численное значение коэффициента теплоотдачи по высоте поверхности постоянно.

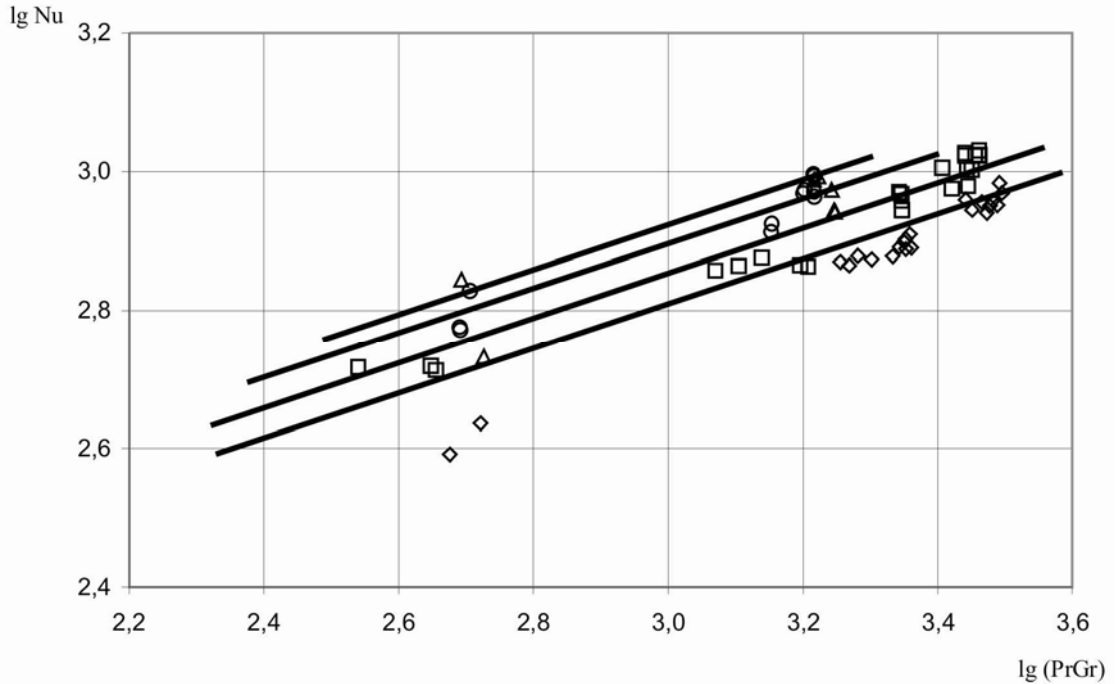


Рис. 3 Зависимость  $lg(Nu)$  от  $lg(PrGr)$ .

На рисунке 4 представлена зависимость  $lg(Nu/(PrGr)^{0,33})$  от  $lg(\delta/H)$ .

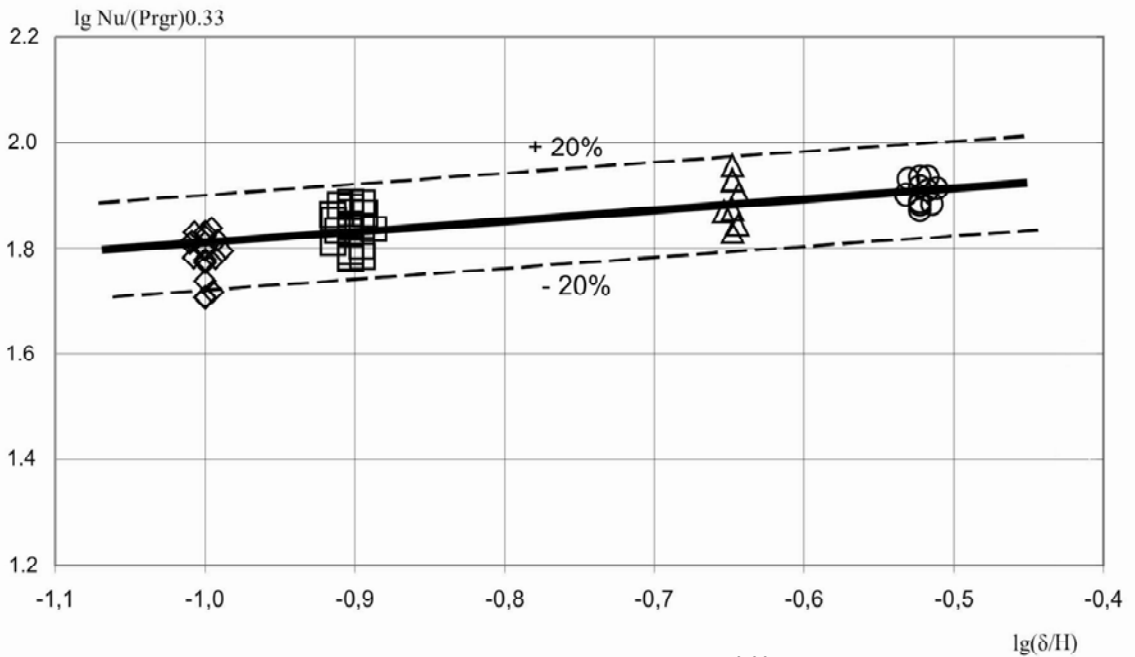


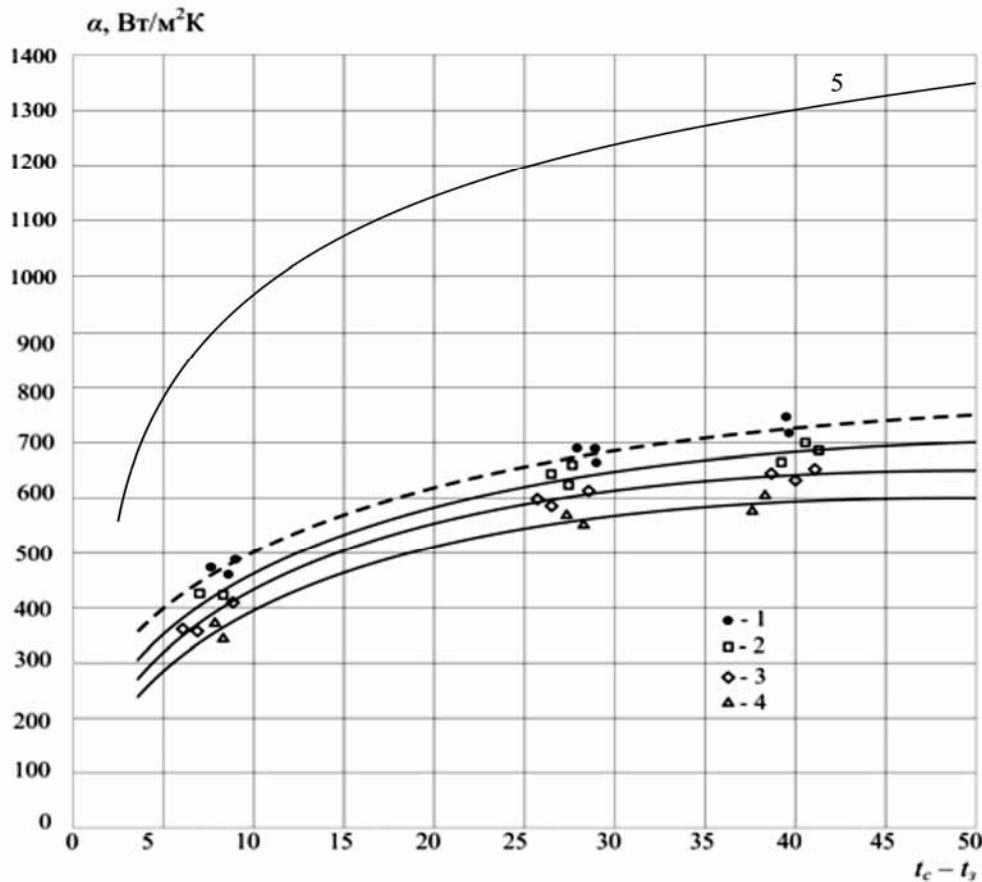
Рис. 4 Зависимость  $lg(Nu/(PrGr)^{0,33})$  от  $lg(\delta/H)$

В результате уравнение подобия, описывающее теплоотдачу от поверхности этого аппарата к заборной воде в условиях свободной конвекции, выглядит следующим образом:

$$Nu = 104 \cdot (PrGr)^{0,33} \cdot (\delta/H)^{0,21} \quad (1)$$

Данное уравнение справедливо для  $(PrGr) = 346,5 \dots 3127$  и  $(\delta/H) = 0,1 \dots 0,3$ .

На рисунке 5 показано сопоставление результатов с известными данными. Как видно теплоотдача у пластин установленных с зазором меньше теплоотдачи просто одиночной пластины [3], и тем более меньше теплоотдачи изотермической поверхности [4].



1 – одиночная пластина [3]; 2 – зазор  $\delta = 240$  мм; 3 – 180 мм; 4 – 100 мм; 5 – изотермическая поверхность [4]

Рис. 5 Сопоставление теплоотдачи в погружном пластинчатом аппарате с известными значениями [3,4].

Таким образом, расчет теплоотдачи заборной воде в случае использования погружного пластинчатого аппарата может и должна вестись только с использованием полученной нами зависимости (1).

Heat dissipation of a lamellar heat exchanger of shipped in motionless water behind a board is researched, influence of various constructive and warmly technical factors is revealed, the corresponding equation of similarity is certain.

1. Oertzen J.A. Beciflussung durch Abwärme / J.A. Oertzen // Abh. Akad., Wiss. DDR. – 1974. – P. 147–155.
2. Федоровский К.Ю. Особенности теплообмена в судовых замкнутых системах охлаждения / К.Ю. Федоровский // Повышение надежности энергетического обеспечения морских буровых работ // Киев: Знание. – 1980. – 12-16 с.
3. Федоровский К.Ю./ Свободно-конвективный теплообмен плоской неизотермической поверхности при различной её ориентации/ К.Ю. Федоровский // Инженерно-физический журнал. – 1988. – Т.55. – №2. – 186-190 с.
4. Исаченко В.П./ Теплопередача./ В.П. Исаченко // Учебник для ВУЗов. Изд 3-е. // М.: Энергия, – 1975. – 488 с.

УДК 622. 673.8

ДО ВИБОРУ ФАКТОРІВ, ЩО ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ ОКОМКУВАННЯ  
ТОНКОПОДРІБНЕНИХ ЗАЛІЗОРУДНИХ МАТЕРІАЛІВ

Ісаєв Е.А., Наговський Д.А., Чернецька І.Е.

Ціль цього дослідження: визначення впливу складу шихти на вихідні параметри кінцевого продукту окомкування.

Процес одержання окатишів відрізняється різноманіттям взаємозалежних факторів, пов'язаних з конструкцією окомкувача, технологією обслуговування, відсутністю моделі, що відбиває більшість кількісних залежностей між різними параметрами процесу.

Відомо, що на процес окомкування впливають такі фактори як: вологість шихти, продуктивність окомкувача, частота обертання барабана, ситовий состав концентрату, зміст бентоніту й вапняку в концентраті. Для визначення ступеня значимості групи параметрів, найбільшою мірою одержання окатишів, що відбивають процес, залежно від наведених вище факторів, виконана спроба використати один з методів експертних оцінок - метод розміщення пріоритетів[1].

Цей метод розглядається як початковий етап попереднього дослідження процесу, що дозволяє найбільше повно використати всю наявну апріорну інформацію про промисловий об'єкт. Було проведено опитування провідних технологів, що працюють на фабриці окомкування, або знайомих із процесом. Потім, шляхом обробки даних опитування, виділили найбільш істотні критерії, що відбивають ступінь впливу викладених вище факторів на процес виробництва окатишів.

Опитування проводилося за допомогою анкети, розданої фахівцям цеху виробництва окатишів Полтавського ГОКа, що включає всі параметри, ступінь впливу яких на хід процесу становила інтерес.

Анкета містила  $n = 5$  факторів.

$X_{1c}$  - вологість шихти;

$X_{2c}$  - продуктивність окомкувача;

$X_{3c}$  - частота обертання барабана;

$X_{4c}$  - ситовий состав концентрату;

$X_{5c}$  - зміст бентоніту й вапняку в концентраті.

Основні критерії, що характеризують роботу барабана-окомкувача при виробництві окатишів, обрані наступні:

$Y_{1c}$  - міцність окатишів на роздавлювання;

$Y_{2c}$  - вихід підкласу 0,8-1,0 від верхньої межі крупності підрешетного продукту гуркоту;

$Y_{3c}$  - міцність окатишів на скидання;

$Y_{4c}$  - Вихід окатишів кондиційного розміру.

Наступним етапом є складання експертами систем порівняння за кожним критерієм  $X_c$  (табл. 1) [3]. Потім за результатами оцінки експертами кожного з обраних нами приватних критеріїв робимо оцінку пріоритетів. Будуємо матрицю переваги (табл. 2), де знаки переваги між двома приватними критеріями  $>$ ,  $=$ ,  $<$ , перейменовуємо як коефіцієнти переваги. У нашому випадку коефіцієнти переваги прийняті 1,5; 1,0; 0,5 відповідно. При побудові таблиці оцінки пріоритету приватних критеріїв (табл.2) має місце послідовне визначення абсолютних і відносних значень окремих параметрів, а також, абсолютних і відносних пріоритетів параметрів.

Таблица 1

Експертне порівняння за критеріями X

ПОРІВНЮВАНІ КРИТЕРІЇ	ЕКСПЕРТИ				ПРИЙНЯТА СИСТЕМА ПОРІВНЯННЯ
	1	2	3	4	
$X_1$ I $X_2$	>	>	>	>	$X_1 > X_2$
$X_1$ I $X_3$	>	>	>	=	$X_1 > X_3$
$X_1$ I $X_4$	>	=	>	=	$X_1 > X_4$
$X_1$ I $X_5$	>	>	=	>	$X_1 > X_5$
$X_2$ I $X_3$	<	=	=	=	$X_2 < X_3$
$X_2$ I $X_4$	<	<	<	=	$X_2 < X_4$
$X_2$ I $X_5$	=	<	<	<	$X_2 < X_5$
$X_3$ I $X_4$	<	<	=	=	$X_3 = X_4$
$X_3$ I $X_5$	=	=	=	<	$X_3 = X_5$

Таблица 2

Оцінка пріоритету приватних критеріїв

$X_i$	$X_j$					1-Й КРОК		2-Й КРОК	
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$\sum a_{ij}$	$p_i$	$p_{ij}$	$p_{ij}^{omn.}$
$X_1$	1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	7,0	0,292	32,50	0,291
$X_2$	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	3,0	0,125	13,50	0,121
$X_3$	0,5	1,5	1,0	1,0	1,0	4,0	0,166	22,00	0,197
$X_4$	0,5	1,5	1,0	1,0	1,5	5,5	0,229	24,25	0,218
$X_5$	0,5	1,5	1,0	0,5	1,0	4,5	0,188	19,25	0,173
СУМА						24,0	1,0	115,5	1,0

У даній таблиці значення  $b_i$  (абсолютне значення кожного параметра) розраховуються як сума  $a_{ij}$  коефіцієнтів переваги, розташованих у відповідному рядку таблиці. Відносні значення окремих аналізованих параметрів  $p_i$  визначаються як:

$$p_i = b_i / \sum_1^n b_i . \quad (1)$$

На другому кроці для визначення абсолютного пріоритету параметрів  $p_{ij}$  кожен рядок у матриці переваги множиться на вектор стовпець  $\sum a_{ij}$

$$p_{ij} = a_{i1} \cdot b_1 + a_{i2} \cdot b_2 + \dots + a_{in} \cdot b_n . \quad (2)$$

Відносний пріоритет параметрів  $p_{ij}^{omn.}$  визначається в результаті розподілу  $p_{ij}$  на суму всіх значень  $\sum_1^n p_{ij}$ :

$$p_{ij}^{omn.} = p_{ij} / \sum_1^n p_{ij} \quad (3)$$

Результати розрахунків наведені в табл.2.

Після оцінки пріоритету приватних критеріїв треба процедура, у процесі якої експерти становлять системи порівняння варіантів за кожним критерієм  $X_{ic}$  і визначають рівень їхньої значимості. У цьому випадку також застосовуємо метод розміщення пріоритетів, де об'єктами зіставлення є варіанти рішення  $Y_c$ .

Методика рішення представлена вище, а результати визначення експертами матриці переваги варіантів  $Y_c$  за критерієм  $X_{1c}$  представлені в табл. 3. Оцінка пріоритетів варіантів  $Y_c$  за критерієм  $X_{1c}$  наведені в табл. 4. Аналогічним образом виробляються оцінки пріоритетів варіантів рішення по кожному з обраних критеріїв.

Таблиця 3

Матриця переваги варіантів  $Y$  за критерієм  $X_1$

$Y_i$	$Y_j$			
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$
$Y_1$	=	<	<	<
$Y_2$	>	=	>	<
$Y_3$	>	<	=	<
$Y_4$	>	>	>	=

Таблиця 4

Таблиця пріоритетів варіантів  $Y$  за критерієм  $X_1$

$Y_i$	$Y_j$				1-Й КРОК		2-Й КРОК	
	$Y_1$	$Y_2$	$Y_3$	$Y_4$	$\sum a_{ij}$	$P_i$	$P_{ij}$	$P_i^{отн.}$
$Y_1$	1,0	0,5	0,5	0,5	2,5	0,156	6,25	0,081
$Y_2$	1,5	1,0	1,5	0,5	4,5	0,281	20,25	0,262
$Y_3$	1,5	0,5	1,0	0,5	3,5	0,219	12,25	0,159
$Y_4$	1,5	1,5	1,5	1,5	5,5	0,344	38,50	0,498
СУМА					16,0	1,0	77,25	1,0

Одержавши дані про ваги всіх варіантів рішення по кожному із приватних критеріїв, ми можемо представити їх у відповідних рядах (табл. 5).

Для одержання узагальненої якісної оцінки якого-небудь із запропонованих варіантів необхідно знайти суму добутків величини значимості кожного параметра на відносну оцінку його величини по даному розглянутому варіанті

$$Q_y = \sum_{i=1}^m P_i^{отн.} \cdot P_{y1}^{отн.} \quad (4)$$

Таблиця 5

Значення відносних пріоритетів

ЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ ЗА КРИТЕРІЯМИ	ЗНАЧЕННЯ ПРІОРИТЕТІВ ПО ВАРІАНТАХ			
	$P_{y1}^{отн.}$	$P_{y2}^{отн.}$	$P_{y3}^{отн.}$	$P_{y4}^{отн.}$
$P_1^{отн.}$ ( $P_1^{отн.} = 0,291$ )	0,081	0,262	0,159	0,498
$P_2^{отн.}$ ( $P_2^{отн.} = 0,121$ )	0,216	0,256	0,216	0,312
$P_3^{отн.}$ ( $P_3^{отн.} = 0,197$ )	0,185	0,273	0,185	0,357
$P_4^{отн.}$ ( $P_4^{отн.} = 0,218$ )	0,283	0,151	0,283	0,283
$P_5^{отн.}$ ( $P_5^{отн.} = 0,173$ )	0,283	0,151	0,283	0,283

Використовуючи формулу (4) визначаємо узагальнені якісні оцінки  $Q_{yi}$ , що дозво-  
 лить охарактеризувати ступінь значимості обраних критеріїв у процесі окомкування:

$$Q_{y1} = 0,291 \cdot 0,081 + 0,121 \cdot 0,216 + 0,197 \cdot 0,185 + 0,218 \cdot 0,283 + 0,173 \cdot 0,283 = 0,1968 ;$$

$$Q_{y2} = 0,291 \cdot 0,262 + 0,121 \cdot 0,256 + 0,197 \cdot 0,273 + 0,218 \cdot 0,151 + 0,173 \cdot 0,151 = 0,220 ;$$

$$Q_{y3} = 0,291 \cdot 0,159 + 0,121 \cdot 0,216 + 0,197 \cdot 0,185 + 0,218 \cdot 0,283 + 0,173 \cdot 0,283 = 0,2195 ;$$

$$Q_{y4} = 0,291 \cdot 0,498 + 0,121 \cdot 0,312 + 0,197 \cdot 0,357 + 0,218 \cdot 0,283 + 0,173 \cdot 0,283 = 0,364 .$$

**З отриманих виразів можна зробити такі висновки:** встановлено, що найбільшою мірою з вихідними факторами й параметрами шихти, роботою обладнання зв'язаний вихід кондиційних окатишів  $Q_{y4}$ . Далі, зазначені параметри досить істотно впливають на міцність окатишів на скидання  $Q_{y3}$ , а також відображують у достатньому ступені вплив на вихід підкласу 0,8-1,0 від верхньої межі крупності підрешетного продукту гуркоту. Таким чином, виділені фахівцями фактори деякою мірою характеризують технологічний процес й, при створенні математичної моделі для оптимального керування окомкуванням доцільно встановити ступінь їхнього впливу на цей процес.

Article is devoted to questions of definition of influence of structure mix material on initial parameters of an end-product of pelletizing.

1. Бешелев С.Д., Гурвич Ф.Г. Математико-статистические методы экспертных оценок.- М.:Статистика,1980.- 263 с.
2. Исаев Е.А., Чернецкая И.Е., Крахт Л.Н., Титов В.С. Теория управления окомкованием сыпучих материалов: Монография.-Старый Оскол: изд. ТНТ: 2004-383 с.
3. Техничко-экономический анализ разработки средств визуального контроля: Учебное пособие / В.С. Титов, В.И. Сырямкин, Т.А. Ширабакина, Курск гос. Техн. Ун-т.-Курск: 1995. –С.98.



УДК.621.891:621.316.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ НАГРУЗОК НА СВОЙСТВА МЕТАЛЛОКЕРАМИЧЕСКИХ СЛОЁВ ПОЛУЧЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРИБОВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ СОСТАВОВ

Стадниченко В.Н.

**Постановка проблемы.** Одним из эффективных направлений повышения надёжности узлов трения современной техники является использование трибовосстанавливающих составов (ТВС) [1,2,3]. Однако, существующие рекомендации по их применению не учитывают разнообразия рабочих режимов реальных пар трения, например, зацеплений трансмиссии газотурбинных двигателей [4]. Естественно предположить, что изменение диапазона рабочих нагрузок будет влиять на кинетику физико-химических процессов, протекающих на поверхностях контакта при введении ТВС. Это в конечном итоге приводит к изменению структуры и физико-механических характеристик поверхностных слоёв, изменению характера и величины их износа. Таким образом, применение тех или других типов ТВС требует не только оптимизации их выбора для пар трения, изготовленных с определённых материалов, но и оптимизации эксплуатационных режимов работы трибосистем

Следует отметить, что для решения данной проблемы всё большее распространение получают новые методы исследований, позволяющие получить информацию о кинетике процессов, протекающих в материалах в условиях их динамического контактного взаимодействия. Одним из таких методов является метод акустической эмиссии (АЭ), который обладает высокой чувствительностью к изменению механизмов изнашивания деталей, определяемых физико-химическими процессами, протекающими в поверхностных слоях материалов на границе их раздела. [5,6].

В настоящей работе будут определены основные закономерности изменения акустического излучения пар трения при введении ТВС в широком диапазоне эксплуатационных нагрузок. Показано, что появление металлокерамического слоя приводит к перестройке структуры поверхностей трения.

**Методика исследования.** Для проведения исследований были использованы образцы из стали ШХ-15 и 12Х2Н4А. Испытания на износ проводились на универсальной машине трения СМТ-1 с использованием конструктивной схемы „диск-диск” причём, в качестве материалов для подвижного образца использовалась сталь 30ХГСА, в качестве неподвижного образца – сталь 12Х2Н4А. При этом реализовывался режим трения качения с 20% проскальзыванием. Размеры исследуемых образцов: радиус  $R_{обр}=25\text{мм}$ , толщина  $L=15\text{мм}$ . Выбор данных материалов обусловлен их широким использованием в производстве зубьев шестерён и тел качения подшипников трансмиссий авиационных двигателей.

Исследования проводились в два этапа. Сначала на изнашивание испытывались пары трения без металлокерамического слоя и с металлокерамическим слоем, на нагрузке, которая в соответствии с принятыми методиками испытаний [7] пересчитывалось в напряжение с учётом размеров исследуемых образцов и была равна  $\sigma_{\text{макс}}=1000\text{МПа}$ . Далее, после выхода пары трения на режим установившегося изнашивания и продолжительной работы на этом режиме (не менее 30 часов) напряжение резко уменьшалась до  $\sigma_{\text{макс}}=600\text{МПа}$ . Данный диапазон контактных нагрузок на образцах был выбран из условия соответствия эксплуатационным нагрузкам на пятнах контакта зубьев шестерён редукторов и тел качения опор вертолётных газотурбинных двигателей. На втором этапе проводились испытания на износ пары трения с металлокерамическим слоем. Металлокерамический слой на поверхностях трения был получен путём введения в смазочную среду ТВС «Комбат», согласно методике изложенной в работе [3].

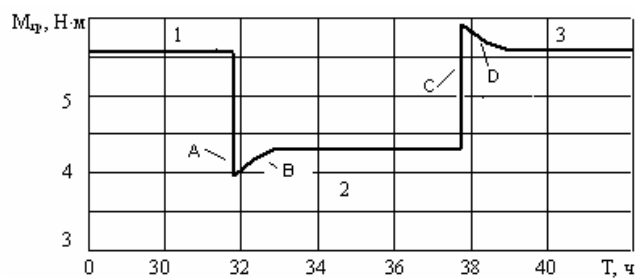
Температура масла удерживалась с помощью системы терморегулирования на уровне  $80^{\circ}\text{C}$ , что соответствует рабочим температурам масла в вертолётных редукторах и подшипниковых опорах вертолётных газотурбинных двигателей. Скорость вращения приводного вала машины трения также выбиралась из условия максимального приближения к условиям эксплуатации моделируемых узлов и составляла  $500 \text{ мин}^{-1}$ .

Основными параметрами, которые характеризовали износостойкость данных пар трения, были момент трения и вес образцов, которые определялись в соответствии с методикой, изложенной в работе [5]. Одновременно с определением параметров, характеризующих процесс изнашивания узлов трения производилась регистрация и последующая обработка их акустико-эмиссионного излучения. В качестве основных обрабатываемых параметров регистрируемых сигналов АЭ использовались их усреднённая амплитуда АЭ, усреднённая спектральная мощность АЭ, усреднённая мощность АЭ. Время усреднения составляло  $0,2\text{с}$ . Это время выбиралось из условия необходимости согласования скорости поступления информации и скорости выведения на самопишущие приборы. Для этого в акустико-эмиссионной аппаратуре используются элементы задержки в виде интегрирующих цепей.

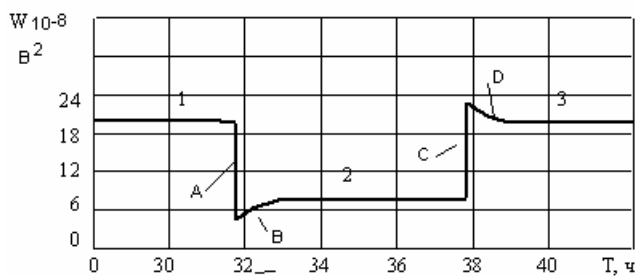
Поскольку регистрация АЭ информации осуществляется в течении длительного периода времени, соответствующего времени проведения испытаний, то для возможности управления длительностью записи и вывода информации в АЭ аппаратуре используют два уровня ограничения, как по амплитуде так и по спектральной мощности. При этом работа интегрирующей цепи основана на принципе «переполнение – сброс», который широко применяется в самопишущих приборах типа «Ricadency» выпускаемых японскими фирмами. В случае достижения регистрируемых параметров сигналов АЭ, установленного порогового уровня происходит автоматический сброс интегрирующей цепи. После этого процесс вывода информации повторяется. В результате на самопишущие приборы регистрируют процесс излучения сигналов АЭ, например, по суммарной усреднённой мощности представляет собой пилообразные кривые с разным углом наклона.

После завершения испытаний пар трения на износ с одновременной регистрацией и обработкой сигналов АЭ проводились металлографические исследования поверхностей образцов с использованием микроскопа-интерферометра Линника МИИ-4 при увеличении  $\times 290$  и Фурье-анализ анизотропии их структурного состояния по жёстким фотокопиям, полученным на растровом электронном микроскопе «CamScan-4DV» при увеличении  $\times 1960$ . Фурье-анализ фрактограмм выполнялся на персональном компьютере с использованием специального пакета прикладных программ. В результате проведения обработки и анализа фрактографической информации проводились оценки уровня анизотропии ориентации блоков структуры относительно вектора главных действующих напряжений, степени упорядоченности структуры и ряд других параметров. Основная методология обработки информации, а также анализируемые параметры, рассмотрены в работах [8, 9].

**Результаты эксперимента.** Результаты испытаний пар трения без МК слоя на износ показали следующее. В процессе контактного взаимодействия при приложенном напряжении в  $1000 \text{ МПа}$  происходит постепенный переход узла трения из режима приработки в режим установившегося изнашивания. Последний режим характеризуется стабилизацией значений момента трения на уровне  $M_{\text{тр}} \approx 5,6 \text{ Н/м}$  (стадия 1, рис.1.а.). После 30 часов непрерывной работы пар трения производилось резкое снижение приложенного на них напряжения до значения  $600 \text{ МПа}$ . Такое снижение приводит к мгновенному падению момента трения до значения  $M_{\text{тр}} \approx 4,3 \text{ Н/м}$  (А, рис.1.а).



а



б

Рис. 1 Изменение  $M_{тр}$  (а) и усреднённой мощности  $W$  (б) в обычных парах трения (без МК слоя) на них: значения приложенного напряжения: 1, 3 –  $\sigma_{\max}=1000\text{МПа}$ ; 2 –  $\sigma_{\max}=600\text{МПа}$

В дальнейшем наблюдается постепенное возрастание момента трения (В, рис.1.а). Данное увеличение протекает в течении приблизительно одного часа контактного взаимодействия исследуемых образцов. После этого происходит стабилизация момента трения на новом уровне, значение которого составляло:  $M_{тр}\approx 4,5\text{Н/м}$  (стадия 2, рис. 1.а).

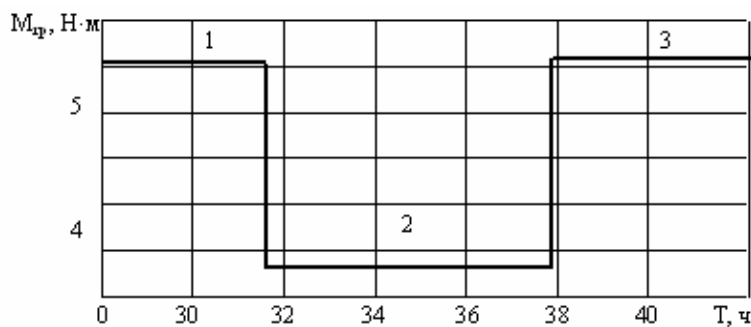
Из полученных результатов видно, что разница между мгновенным значением  $M_{тр}$  в момент времени после уменьшения напряжения и его стабилизированным значением на новом уровне составляет:  $\Delta M_{тр}\approx 0,2\text{Н/м}$ . После 5 часов работы пары трения без МК слоя на новом режиме стабилизации, проводилось мгновенное увеличение приложенного напряжения до первоначального значения ( $\sigma_{\max}=1000\text{МПа}$ ). На диаграмме изменения  $M_{тр}$  данный переход характеризуется резким скачкообразным возрастанием момента трения (В,рис.1.а) до уровня  $M_{тр}\approx 5,9\text{Н/м}$ , который превышает уровень первоначальной стабилизации. В дальнейшем при том же напряжении наблюдается плавное уменьшение  $M_{тр}$  (D, рис.1.а) с постепенным его выходом на режим стабилизации (стадия 3, рис.1.а). Стадия стабилизации характеризуется значением момента трения, которое незначительно превышает первоначальный уровень стабилизации. Как показали результаты обработки данных, среднее отклонение момента трения  $\Delta M$  для всех проведённых испытаний составляет  $\approx 0,5-0,7\%$ .

Плавное изменение  $M_{тр}$  с выходом на режим стабилизации, как в случае уменьшения, так и в случае увеличения приложенного напряжения (В,D рис.1.а) вероятно связано с возникновением и протеканием процесса вторичной приработки, являющимся следствием структурной приспособляемости поверхностных слоёв работающих материалов в новых условиях нагружения. Это согласуется с результатом исследований, полученных в работе [10]. Из полученных данных следует, что структурная приспособляемость при изменении напряжения не наступает мгновенно, а протекает в течении некоторого, достаточно длительного промежутка времени. Следует отметить, что данный промежуток времени в случае увеличения и уменьшения нагрузки приблизительно одинаков. Это позволяет предположить, что механизмы структурной приспособляемости поверхностных слоев материалов пар трения при изменении внешних факторов сходны между собой.

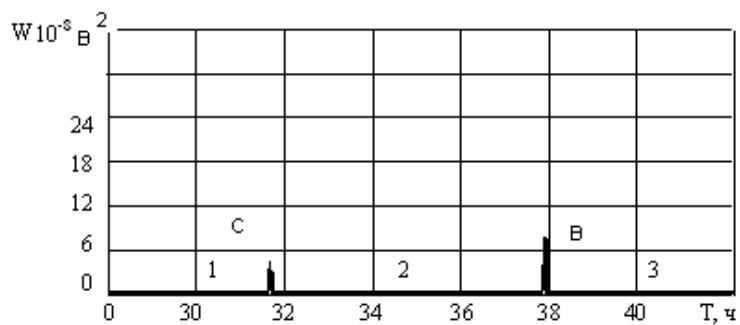
Результаты обработки сигналов АЭ показали, что характер изменения их усреднённой мощности полностью повторяет характер изменения момента трения. При этом на

акустической диаграмме также выделяются три характерные стадии, соответствующие стадиям возникновения и протекания вторичной приработки пар трения (1,2,3 рис. 1.б). Однако, плавное изменение мощности регистрируемых сигналов больше времени плавного изменения момента трения (В, D, рис 1.б). Обработка полученных результатов показала, что продолжительность вторичной приработки, определяемая по изменению момента трения в среднем на 3% меньше продолжительности приработки, определяемой по изменению АЭ. Кроме того в отличие от стадий стабилизации (1,3 рис.1а) момента трения, которые различаются по своим числовым значениям, усреднённая мощность сигналов АЭ на данных стадиях остаётся практически постоянной и соответствует значению  $W=22 \cdot 10^{-6} \text{ В}^2$ . Это указывает на то, что при возвращении максимального напряжения, приложенного к парам трения их изнашивание происходит по единому механизму.

Результаты испытаний пар трения с МК слоем при тех же режимах изменения приложенного напряжения показали, что диаграммы изменения момента трения и усреднённой мощности сигналов АЭ отличаются от диаграмм, полученных при испытаниях пар трения без МК слоя. При этом на диаграмме изменения  $M_{тр}$  фиксируются участки мгновенного изменения нагрузки при переходе к стабилизационным «безызносным» стадиям (рис. 2а,б) с отсутствием участков вторичной приработки.



а



б

Рис.2 Изменение  $M_{тр}$  (а) и усреднённой мощности  $W$  (б) в парах трения с МК слоем на них: значения приложенного напряжения: 1, 3 –  $\sigma_{\text{макс}}=1000\text{МПа}$ ; 2 –  $\sigma_{\text{макс}}=600\text{МПа}$

Как и в выше описанных исследованиях возвращение напряжения к первоначальному значению ( $\sigma=1000\text{МПа}$ ) сопровождается увеличением  $M_{тр}$  на стадиях стабилизации (1,3 рис 2,а), данное увеличение  $\Delta M$  для всех проведённых испытаний составляет  $\approx 0,3-0,6\%$ . Это очевидно связано с близкой к «мгновенной» структурной приспособляемостью МК слоя к новым режима работы. В то же на диаграмме изменения мощности АЭ наблюдаются кратковременные всплески акустического излучения  $\approx 6-8\text{с}$  (С,В рис.2б) фиксируемые в моменты времени изменения приложенного напряжения на участках стабилизации  $M_{тр}$  (1,2,3 рис. 2а) для которых акустическое излучение отсутствует. Следует отметить, что понятие «мгновенное» изменение приложенного напряжения является достаточно условным. С учётом её стабилизации установление нового значения происходит в

течении 2-3сек. В то время, как АЭ излучение фиксируется на большем промежутке времени. Это указывает на то, что при мгновенном изменении приложенного напряжения у пар трения с МК слоем так же происходит вторичная приработка. Но при этом время её протекания не значительно и не фиксируется моментом трения. Данный результат подтверждает предположение сделанное в работе [5].

Этому соответствуют и результаты фрактограмм поверхностей образцов пар трения полученные для различных стадий приложенного напряжения (рис. 3).

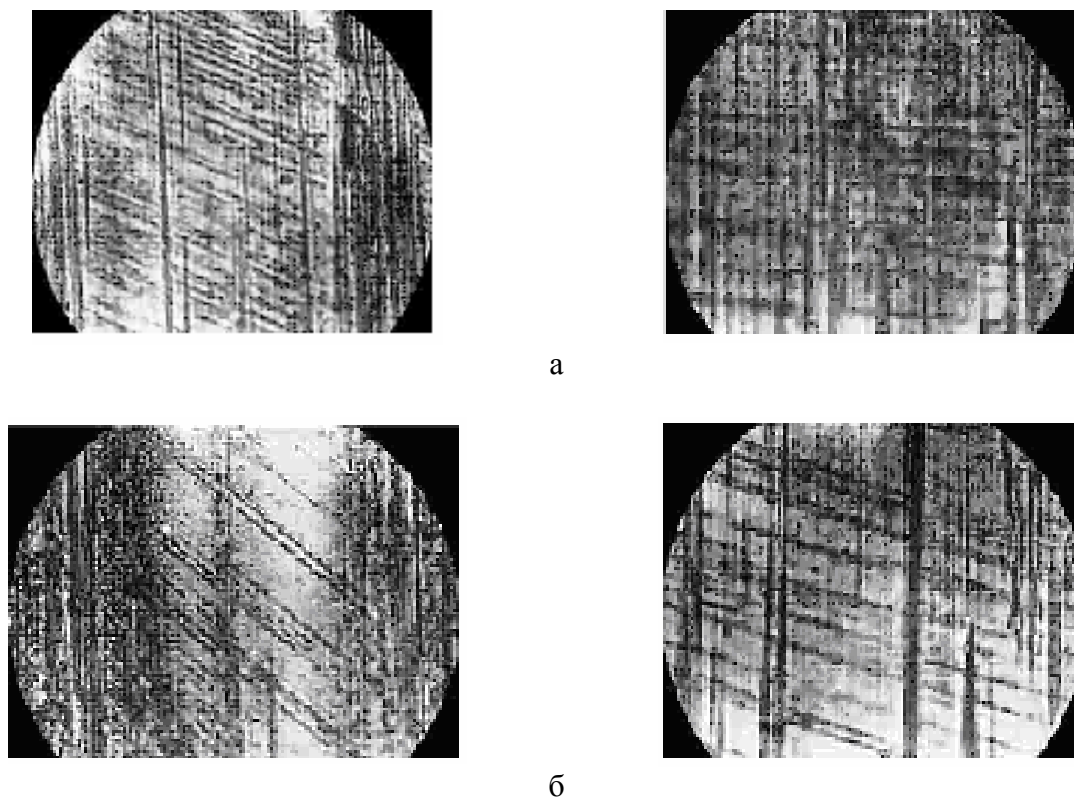


Рис. 3 Внешний вид поверхностей МК покрытия при резком изменении нагрузки ( $\times 290$ )  
 :а –  $\sigma_{\text{макс}} = 1000 \text{ МПа}$ ; б –  $\sigma_{\text{макс}} = 600 \text{ МПа}$

Как видно из рис.3 на всех стадиях наблюдаются макросдвиговые деформации. При этом макросдвиговые деформации для стадий 1,3 значительно больше чем для стадии 2 (наличие характерных сдвиговых полос). Изменение величины макросдвиговой деформации указывает на существование вторичной приработки.

Этому соответствуют и результаты проведенного структурного Фурье-анализа (рис.4). Действительно, сравнение размеров структурных ансамблей МК слоя показывает, что при резком снижении нагрузки отдельные блоки структуры резко укрупняются (рис.4, в) и их ориентация по отношению к направлению главных действующих напряжений также изменяется скачкообразно (практически мгновенно) (рис.4, в). При таком изменении внешних условий, можно предположить, что релаксация избыточной механической энергии возможна за счет скольжения по этим, вновь образовавшимся, удлиненным блокам МК слоя, как и в случае с обычными вторичными структурами (рис.4, б). Однако, продолговатые ансамбли МК слоя значительно более организованы. Их ориентация по направлению главных действующих напряжений составляет 100% в секторе  $10^\circ$  (рис.4, в). Резкий возврат на режим максимальной напряжения вызывает также мгновенную перестройку структуры покрытия в направлении первоначального строения (рис.4, а), что и объясняет малую продолжительность переходного процесса, соответствующего вторичной приработке пары трения.

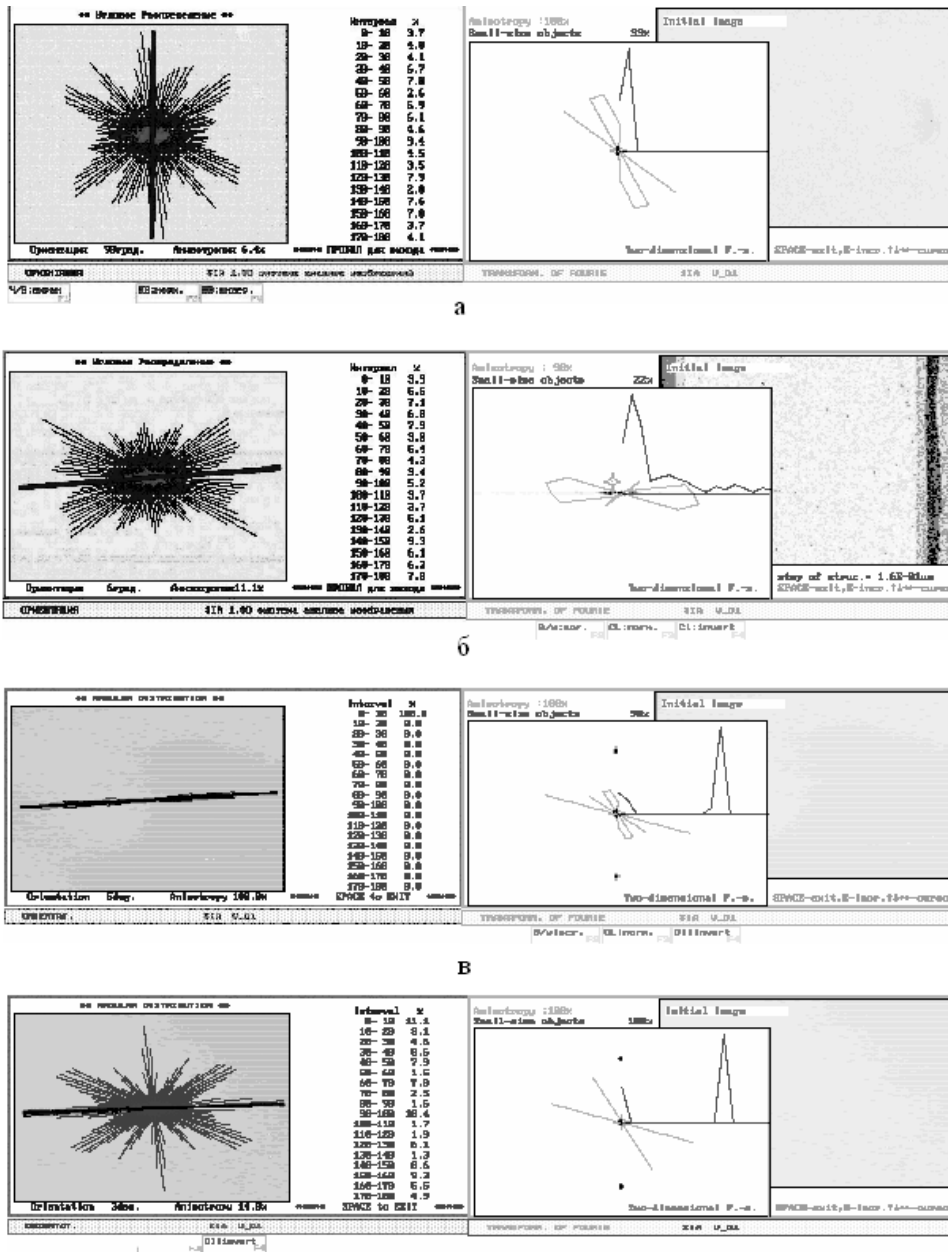


Рис. 4 Ориентация блоков поверхностной структуры по отношению к направлению главных действующих напряжений и их размеры (Фурье анализ) при резком изменении нагрузки для разных ТС:

- а – МК покрытие,  $\sigma_{\max}=1000\text{МПа}$ ; б – без МК слоя,  $\sigma_{\max}=1000\text{МПа}$ ;
- в – МК покрытие,  $\sigma_{\max}=600\text{МПа}$ ; г – без МК слоя,  $\sigma_{\max}=600\text{МПа}$

**Выводы:** В результате проведённых исследований, установлены основные закономерности изменения усреднённой мощности АЭ на разных эксплуатационных нагрузках работающих пар трения. При этом показано, что характер изменения АЭ диаграмм повторяет характер диаграмм изменения момента трения. В первую очередь это касается характерных участков вторичной приработки для пар трения без введённого ТВС. Соответствие временных интервалов участков вторичной приработки фиксируемых по АЭ, а также стабильность величины акустического излучения при одном и том же значении приложенной нагрузки свидетельствует о схожести механизмов структурной приспособляемости материалов пар трения при их износе.

При введении ТВС на диаграммах изменения момента трения не фиксируются участки вторичной приработки. Однако всплески акустического излучения фиксируемого на

малых промежутках времени при изменении условий нагружения позволяет сделать вывод о их кратковременном существовании. Это хорошо согласуется с результатами фрактального и структурного Фурье-анализа. Данные исследования показывают, что свойство практически мгновенно перестраивать свою внутреннюю структуру при изменении внешних условий в соответствии с принципом максимума надежности, присущи только структуре МК покрытия и объясняют его «квазибезызносные» характеристики. ВС обычного ТС не проявляют существенной перестройки своей поверхностной структуры после резкого изменения внешней нагрузки. Таким образом, получено экспериментальное подтверждение выводов об уникальных способностях МК покрытия, сделанных на основе металлофизических и теоретических исследований его строения, свойств и реологических особенностей «работы» при трении.

Experimental acknowledgement of conclusions on the unique abilities of a ceramic-metal covering made on the basis of metal of physical and theoretical researches of its structure, properties of features of "work" is received at friction

1. Аратский П.Б., Капсаров А.Г. Применение геомодификаторов трения для увеличения ресурса работы металлообрабатывающего инструмента.— электронный журнал «Трение, износ, смазка», 2001, т. 3, №1.
2. Половинкин В.Н., Лянной В.Б., Аратский П.Б. Применение геомодификаторов трения для восстановления изношенных поверхностей узлов трения при эксплуатации.—Электронный журнал «Трение, износ, смазка», 2000, т. 2, №2.
3. Булатов В.П. Структурное исследование механизмов безызносного трения конструкционных материалов на основе синергетических представлений // Проблемы машиностроения и надежности машин. – №2. – 1991. – с. 56-61.
4. Аналіз стану питання та визначення можливих напрямків продовження ресурсу парку літальних апаратів ВПС України (шифр “Ресурс”). Підвищення надійності та довговічності трибосполучень авіаційної техніки модифікацією їхнього поверхневого шару. (Заключний). – Т.2: Отчет о НИР / Харьковский институт ВВС Украины. – Инв. №48282. – Харьков, 2003. – 151 с.
5. Стадниченко В.Н., Стадниченко Н.Г., Джус Р.Н., Трошин О.Н. Об образовании и функционировании МК покрытия, полученного с помощью ревитализантов // Вестн. науки и техн. – Харьков: ХДНТ и НТУ “ХПИ”. – 2004. – Вып. 1(16). – С. 18-27.
6. Джус Р.М., Стадниченко В.М., Стадниченко М.Г. Пристрій для беззупинної реєстрації динаміки зміни геометрії зразків при випробуваннях на тертя і знос. // Вісн. НТУ “ХПИ”. Зб. наук. пр. Темат. вип.: Динаміка і міцність машин. – Харьков: НТУ “ХПИ”. – 2003. – Т.1, №12. – С. 58-64.
7. Справочник по триботехнике. / Под общ. ред. Хебды М., Чичинадзе А.В.: В 3 т. – М.: Машиностроение, 1989.– Т. 1: Теоретические основы. – 400 с.
8. Богданов А.К. Оптико-структурный машинный анализ лейкоцитов: Автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1983. – 122 с.
9. О структуре поверхностного слоя стали 100Cr6, обработанной лезвийным инструментом из композита 10. / Розенберг О.А., Делеви С.Е., Шейкин В.Н. и др. // Сверхтвердые материалы. – 1999. – №5. – С. 57-62.
10. Костецкий Б.И. Трение, смазка и износ в машинах. – Киев: Техника, 1970. – 263 с.

## СИСТЕМЫ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ МОЛОТКОВЫМИ ДРОБИЛКАМИ С ФУНКЦИЕЙ ГАРАНТИРОВАННОГО СОБЛЮДЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ИХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Хобин В.А., Бабилов А.Ю.

Молотковые дробилки (МД) являются основными технологическими машинами, обеспечивающими измельчение компонентов комбикормов. Высокие энергозатраты на дробление (установленная мощность их главного приводного электродвигателя (ПЭД) обычно составляет 50 – 200 кВт) делают актуальной стратегию управления, ориентированную на энергосбережение, т.е. на минимизацию удельных энергозатрат на дробление. Вместе с тем, дробильное отделение, при определенных ситуациях, может оказаться «узким местом» всей производственной цепи комбикормов. В этих случаях целесообразен переход от стратегии локального энергосбережения к стратегии максимизации их производительности, что, в таких случаях, обычно соответствует критерию общего энергосбережения. Конкретные значения энергосбережения во многом будут зависеть от набора функций управления, реализуемых системой автоматического управления (САУ) дробилкой, и эффективности их алгоритмов. Компонентная схема МД представлена на рис. 1.

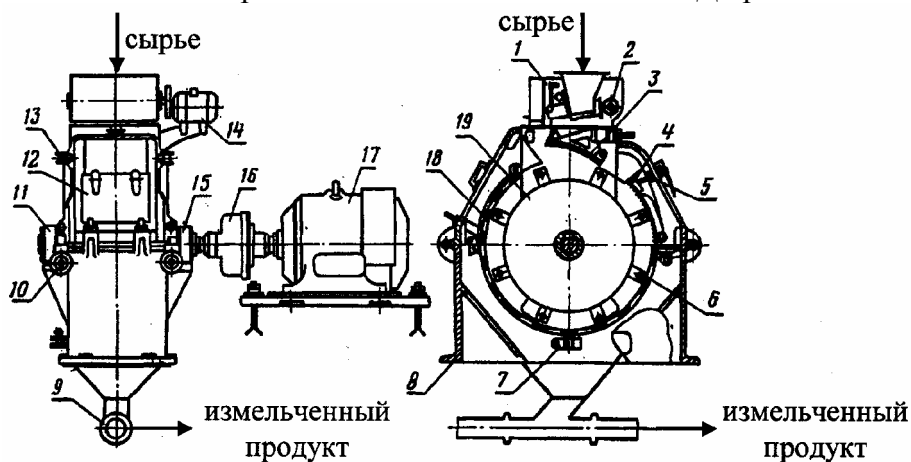


Рис. 1 Компонентная схема МД:

- 1 – питатель; 2 – вал; 3, 4 – деки; 5, 7, 13 – винты; 6, 18 – сита; 8 – корпус;  
9 – пневмоприемник; 10 – маховик; 11, 15 – подшипники; 12 – крышка;  
14 – ПЭД задвижки питателя; 17 – ПЭД (главный ПЭД)

МД, несмотря на кажущуюся простоту, являются достаточно сложными объектами управления (ОУ). Разработка и реализация алгоритмов управления, обеспечивающих их эксплуатацию в соответствии со сформулированными стратегиями, является задачей нетривиальной. Предыдущие разработки [1] решали ее только частично. Главные причины этого – ограниченные вычислительные ресурсы интеллектуального ядра технических средств управления и неполнота моделей МД как ОУ. Последнее означает неполноту осознания разработчиком САУ (и адекватного отражения им в модели) тех проблем, понимание которых является необходимым условием создания эффективной системы управления.

На сегодняшний день ограничений на вычислительные ресурсы практически не существует, и могут быть реализованы алгоритмы управления любой сложности, а в математической модели (ММ) [2] отражены следующие весьма важные особенности МД как ОУ:

а) существенная неопределенность статических и динамических свойств МД по каналу «степень открытия заслонки ( $u$ ) – ток нагрузки ПЭД ( $I$ )», связанная с изменением перерабатываемого продукта, его свойств, состоянием рабочих органов МД и др. (структурная схема МД как ОУ приведена на рис. 2);



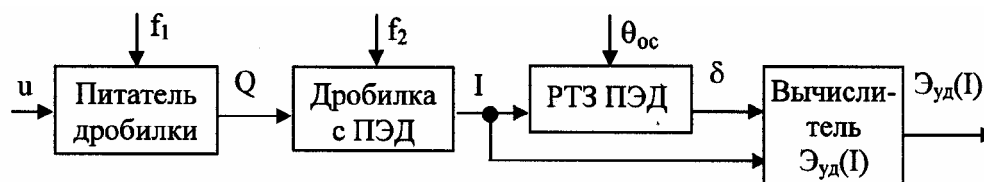


Рис. 2 Структурная схема МД как ОУ ( $f_1$ ,  $f_2$  – неконтролируемые параметрические и координатные возмущения, отражающие неопределенности;  $\theta_{oc}$  – температура окружающей среды реле тепловой защиты (РТЗ))

б) изменение принципиально важных свойств указанного выше канала, когда они, при некоторой нагрузке дробилки, перестают быть статическими («с самовыравниванием») и становятся астатическими («без самовыравнивания»). Момент изменения структуры априори неизвестен, и ему свойственна неопределенность той же природы, что и сформулированная в п. а);

в) экстремум по удельным энергозатратам  $\mathcal{E}_{уд}(I)$ , идущим непосредственно на процесс дробления, дрейфует, как правило, в области рабочих значений тока нагрузки  $I$  ПЭД;

г) ПЭД и его РТЗ, которое имеет подобные с ПЭД тепловые характеристики, как тепловые объекты, являются динамически нелинейными, поэтому уровень установившегося теплового режима будет определяться не только средним значением  $\bar{I}$  тока нагрузки двигателя, но и размахом его колебаний относительно  $\bar{I}$  ( $\delta$  – условная величина, характеризующая степень перегрева ПЭД и его РТЗ).

Следует отметить, что особенность «а» выявлена достаточно давно, и с ее учетом были разработаны достаточно эффективные алгоритмы стабилизации тока нагрузки ПЭД, в том числе, гарантирующие с наперед заданной вероятностью не превышение током установленного ограничения. Особенности «б, в, г» выявлены в результате дополнительных, углубленных исследований МД как ОУ и иллюстрируются рис. 3 – 5.

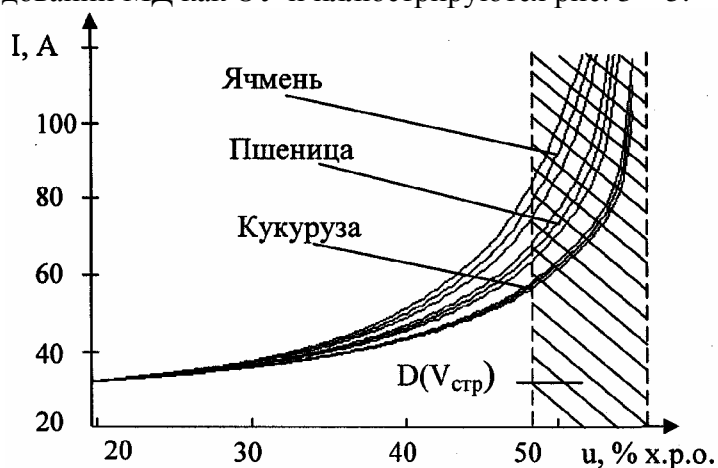


Рис. 3 Квазистатические характеристики модели МД для разных видов зерновых компонентов и различной степени износа молотков (в области  $D(V_{стр})$  статические характеристики не существуют)

На рис. 3 представлены квазистатические характеристики ММ МД с питателем в виде регулирующей задвижки при дроблении различных зерновых компонентов (квазистатические – т.к. они строились с использованием имитационной ММ подачи на ее вход весьма медленно изменяющегося воздействия  $u$ ). Характеристики существенно нелинейны. Кроме того, в области  $D(V_{стр})$  изменения структуры объекта, свойства МД по каналу управления становятся астатическими. Указать конкретно на каждой из характеристик точку качественного изменения этих свойств очень сложно, но, главное, в этом нет необходимости. В реальных условиях эксплуатации эти точки будут дрейфовать, поэтому область  $D(V_{стр})$  можно рассматривать как приближенную оценку области изменения свойств канала управления в

производственных условиях. Знать о возможных изменениях свойств МД весьма важно, т.к. известно, что управлять астатическим объектом гораздо сложнее, чем статическим. В частности при «ручном» управлении операторы всегда работают за значительной недогрузкой, т.к. попав в область  $D(V_{ср})$  при таком управлении практически всегда возникает «завал» рабочей зоны дробилки, сопровождающийся ее аварийным остановом.

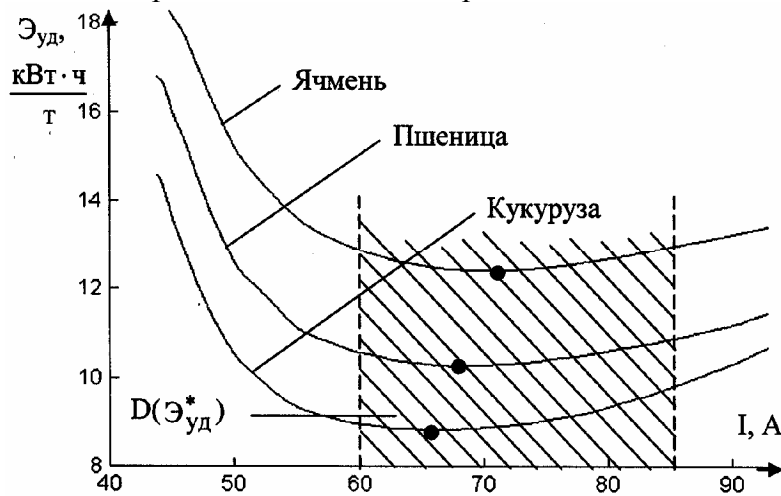


Рис. 4 Иллюстрация изменения удельных энергозатрат  $\mathcal{E}_{уд}$  на дробление различных зерновых компонентов (точками выделены экстремумы  $\mathcal{E}_{уд}$ , соответствующие приведенным характеристикам)

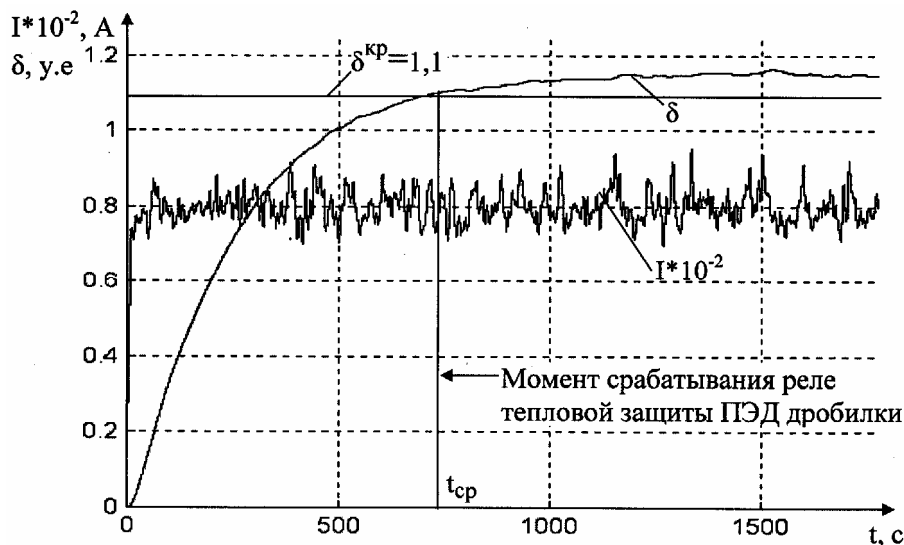


Рис. 5. Иллюстрация перегрева ПЭД при его работе в номинальном режиме и колебаниях тока нагрузки (моделирование при  $t > t_{ср}$  проведено для определения уровня установившегося процесса по  $\delta$ )

Рис. 4 иллюстрирует изменения удельных энергозатрат  $\mathcal{E}_{уд}$  на дробление различных зерновых компонентов (как и в предыдущем случае – они получены как квазистатические характеристики). Из него следует, что  $\mathcal{E}_{уд}$  имеет экстремум (минимум)  $\mathcal{E}_{уд}^* = \mathcal{E}_{уд}(I^*)$ , положение которого будет зависеть не только от вида дробимого продукта, но и от многих других факторов. При этом в реальных (производственных) условиях предполагаемая область дрейфа экстремума будет соответствовать  $D(\mathcal{E}_{уд}^*)$ . Она достаточно широкая и, очевидно, что решение задачи энергосбережения невозможно без алгоритмов поиска экстремума непосредственно в ходе технологического процесса (ТП).

Рис. 5 иллюстрирует процесс перегрева ПЭД  $\delta(t)$  при его работе на номинальном значении среднего тока нагрузки  $\bar{I}$ . Это значение тока поддерживается системой автома-

тической стабилизации, т.е.:  $\bar{I} = I^{зд}$ . Поскольку система реализует принцип управления с обратной связью, то в окрестности  $I^{зд}$  существуют значительные колебания  $I(t)$  (ошибки регулирования). В отсутствии колебаний, т.е. если бы ток нагрузки ПЭД был бы равен номинальному значению, т.е. если бы  $I(t) = \bar{I} = I^{зд} = I^{ном}$ , то его тепловой режим тоже был бы (после окончания переходного процесса) номинальным –  $\delta(t) = \delta^{ном} = 1$ . Колебания, как это видно из результатов моделирования, нарушают это соответствие.

В условиях промышленной эксплуатации МД конкретные значения характеристик колебаний  $I(t)$  априори неизвестны, а значение  $I^{зд}$  может изменяться вследствие поиска  $\mathcal{E}_{уд}^*$ . Таким образом, априори установить ограничения на значения тока нагрузки ПЭД, гарантируя при этом соблюдение ограничений на его тепловой режим, невозможно. Это означает, что задача соблюдения теплового режима работы ПЭД, как и задача поиска энергосберегающего режима работы МД должна решаться непосредственно в ходе ТП.

Анализ особенностей МД как ОУ, рассмотренных выше, показывает, что для эффективного управления процессом дробления ранее разработанных алгоритмов недостаточно. Помимо функции регулирования (стабилизации) тока нагрузки ПЭД ( $F1$ ) во всем диапазоне условий работы МД, САУ МД дополнительно должна реализовать следующие функции:

1. Безусловной оптимизации режима работы МД по энергопотреблению ( $F2$ ) поиска такого текущего уровня загрузки МД, при котором удельные энергозатраты  $\mathcal{E}_{уд}$  на процесс дробления будут минимальными ( $I^{зд} \equiv I^*$ ) и, одновременно, гарантированно соблюдался бы допустимый тепловой режим ПЭД ( $\delta < \delta^{гр+}$ ).

2. Гарантирования соблюдения ограничений теплового регламента ПЭД ( $F3$ ) расчета текущего максимально допустимого заданного значения теплового режима ПЭД (значения  $\delta^{здд+}$ ), при котором вероятность  $\hat{P}_S(t, T)$  отсутствия срабатывания РТЗ на интервале времени  $T$  (отсутствия события  $S$ , т.е.  $\bar{S}$ ) не будет ниже ее заданного гарантированного значения  $P_S^r(\delta^{гр+}, T)$ , и стабилизации  $\delta(t)$  на уровне  $\delta^{здд+}(t)$ .

3. Коммутации структуры САУ ( $F4$ ), т.е. автоматического перехода из режима минимизации  $\mathcal{E}_{уд}$  в режим максимально достижимой производительности при стабилизации предельного нагрева ПЭД на уровне  $\delta^{здд+}$ . Необходимость в этом возникает, если  $\mathcal{E}_{уд}^*$  располагается вблизи или за границей допустимых тепловых режимов ПЭД, т.е. при  $\delta^{здд+} > \delta^{гр}$  (см. рис. 5).

Структурная схема САУ МД, реализующей все эти функции, приведена на рис. 6.

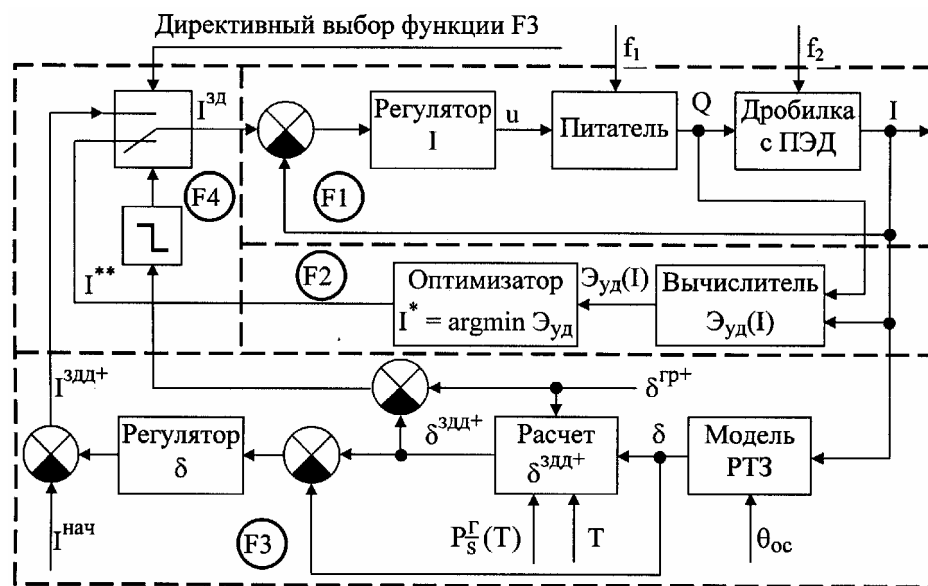


Рис. 6 Структурная схема САУ МД (пунктиром выделены подсистемы, реализующие функции  $F1 \dots F4$ )

Поиск  $I^*$  (функция F2) и непрерывное (квазинепрерывное) отслеживание его дрейфа в области тепловых режимов ПЭД, когда  $\delta(t) < \delta^{\Gamma P+}$ , т.е. поиск в реальном времени безусловного экстремума функции  $\mathcal{E}_{уд}$ :

$$I^{3Д}(t) \equiv I^*(t) = \operatorname{argmax} \mathcal{E}_{уд}(I, t); \quad \delta(I, t) < \delta^{\Gamma P+}. \quad (1)$$

В условиях поиска значение  $I^*(t)$  отслеживается приближенно, поэтому управляющее воздействие с оптимизатора обозначено  $I^{**}(t)$ . Разница между  $I^{**}$  и  $I^*$  обуславливает появление потерь на поиск. Этот поиск может осуществляться в рамках систем одномерной оптимизации, часто называемых системами экстремального регулирования (СЭР) [4]. Сравнительный анализ СЭР, реализующих алгоритмы с запоминанием экстремума и с непрерывным поисковым воздействием для объектов технологического типа, который позволяет конкретизировать свойства оптимизатора для САУ МД (рис. 6), проведен в [5].

Расчет  $\delta^{3Д+}$  (функция F3) осуществляется на основе модели  $\delta(t)$ , как нормального случайного процесса с нестационарным математическим ожиданием в соответствии с принципами гарантирующего управления [6]:

$$\delta^{3Д+}(t) = \delta^{\Gamma P+} - \hat{\sigma}_{\delta}(t) \sqrt{2 \ln \left| \frac{\hat{T} \hat{\sigma}_{\dot{\delta}}(t)}{2\pi \hat{\sigma}_{\delta}(t) \ln P_S^{\Gamma}(\delta^{\Gamma P+}, T)} \left\{ \exp \left( -\frac{\hat{m}_{\dot{\delta}}^2(t)}{2 \hat{\sigma}_{\dot{\delta}}^2(t)} \right) - \frac{\sqrt{2\pi} \hat{m}_{\dot{\delta}}(t)}{\hat{\sigma}_{\dot{\delta}}(t)} \Phi \left( \frac{\hat{m}_{\dot{\delta}}(t)}{\hat{\sigma}_{\dot{\delta}}(t)} \right) \right\} \right|}, \quad (2)$$

где  $P_S^{\Gamma}(\delta^{\Gamma P+}, T)$  – наперед заданное (гарантируемое) значение вероятности отсутствия нарушений ограничений  $\delta^{\Gamma P+}$  на интервале времени  $T$ ;

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp \left\{ -\frac{1}{2} z^2 \right\} dz \text{ – интеграл вероятности, } z = \frac{\hat{m}_{\dot{\delta}}(t)}{\hat{\sigma}_{\dot{\delta}}(t)};$$

$\hat{\sigma}_{\delta}$ ,  $\hat{\sigma}_{\dot{\delta}}$  – оценки среднеквадратических отклонений центрированной случайной составляющей  $\tilde{\delta}^0(t)$ , вычисляемые на скользящем интервале времени  $T_{кст} \leq T$  ( $T_{кст}$  – интервал квазистационарности – минимальный интервал  $T$ , для которого еще выполняется гипотеза о квазистационарности  $\delta(t)$  на этом интервале времени);

$$\hat{\sigma}_{\delta} = \frac{1}{T_{кст}} \int_t^{t+T_{кст}} \left( \delta(t) - \hat{m}_{\delta} \right)^2 dt; \quad \hat{\sigma}_{\dot{\delta}} = \frac{1}{T_{кст}} \int_t^{t+T_{кст}} \left( \dot{\delta}(t) - \hat{m}_{\dot{\delta}} \right)^2 dt, \quad (3)$$

где  $\hat{m}_{\delta}(t)$ ,  $\hat{m}_{\dot{\delta}}(t)$  – оценки изменяющегося математического ожидания и его первой производной, вычисляемые на скользящем интервале времени  $T_m \ll T_{кст}$ :

$$\hat{m}_{\delta} = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} \delta(t) dt, \quad \hat{m}_{\dot{\delta}} = \frac{1}{T_m} \int_t^{t+T_m} \dot{\delta}(t) dt. \quad (4)$$

Функция коммутации (F4) реализуется в соответствии со следующим алгоритмом:

$$I^{3Д}(t) = \begin{cases} I^{**}(t) \rightarrow \operatorname{arg} \max \mathcal{E}(I, t) & \text{при } \delta^{\Gamma P+} - \delta^{3Д+} > 0 \\ I^{3Д+}(t) = \operatorname{arg} \left\{ \int_0^t \left[ \delta^{3Д+}(t) - \delta(I, t) \right] dt = 0 \right\} & \text{при } \delta^{\Gamma P+} - \delta^{3Д+} < 0 \end{cases}. \quad (5)$$

Рис. 7 иллюстрирует изменение наиболее значимых переменных в изменяющихся условиях работы МД, когда реализуются все новые функции управления, а функция F2 реализуется алгоритмом с запоминанием экстремума.

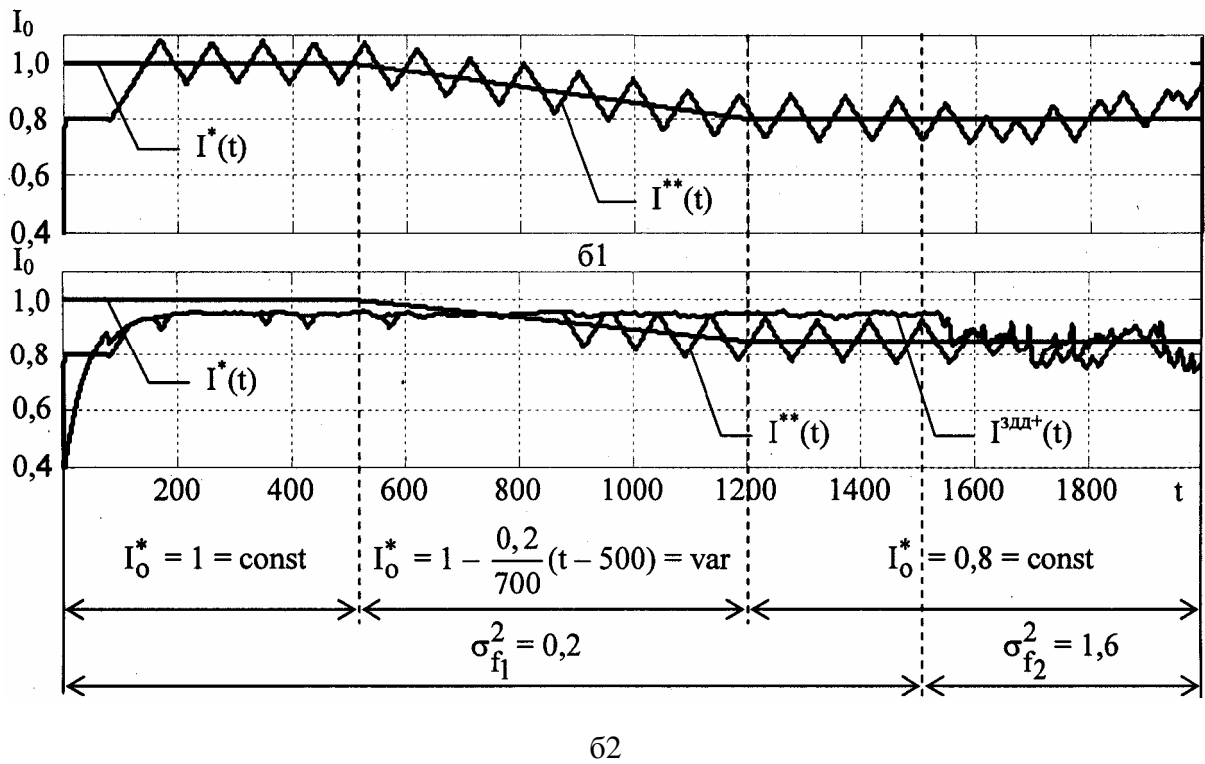
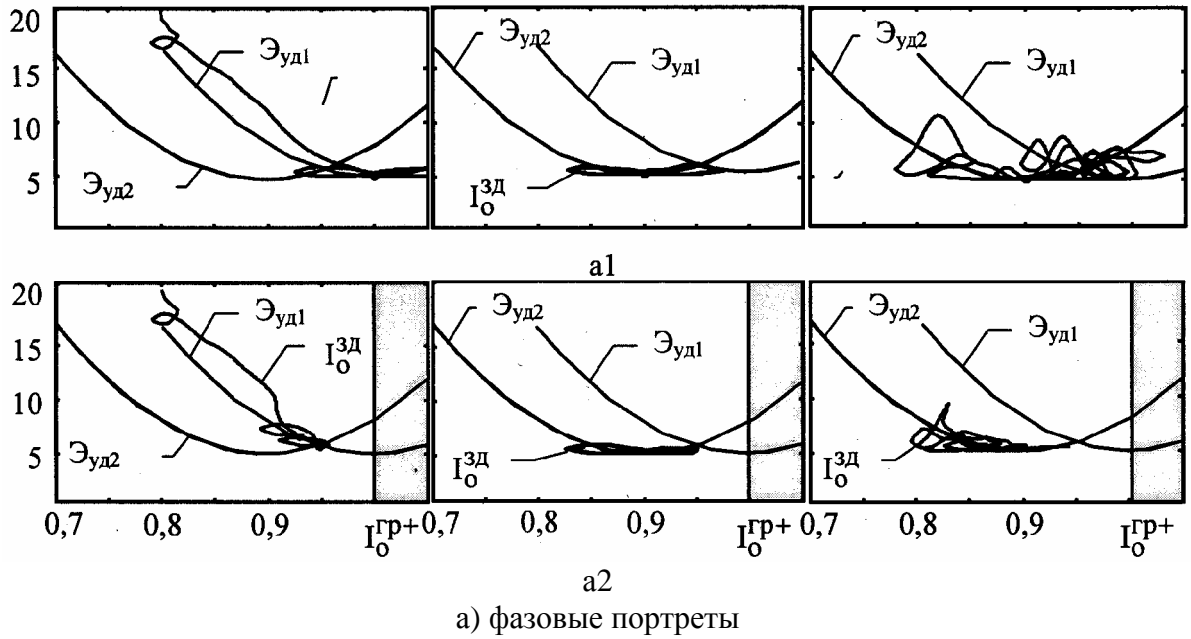


Рис. 7. Иллюстрация работы САУ МД, реализующей функции F1...F3 при дрейфе экстремума функции удельных энергозатрат  $\mathcal{E}_{уд}$  ( $\mathcal{E}_{уд1}$ ,  $\mathcal{E}_{уд2}$ ) и изменений текущего значения ограничений по току нагрузки  $I_0^{гр+} = \arg\{\delta(I_0, t) = \delta^{гр+}\}$ , интенсивности возмущений (дисперсии  $\sigma_{f_1}$  и  $\sigma_{f_2}$ ).  
 а1, б1 – без ограничений; а2, б2 – с ограничениями.

Обозначения, принятые на рисунке:  
 $I_0 = I/I^H$ ;  $I_0^{здд+} = I^{здд+}/I^H$ ;  $I_0^* = I^*/I^H$ ;  
 $I_0^{гр+} = I^{гр+}/I^H$ ;  $I_0^{зд} = I^{зд}/I^H$ ,  $I^H$  – номинальное значение  $I$

В производственных условиях дрейф  $\mathcal{E}_{уд}$ , обусловленный, прежде всего, изменением характеристик продукта, поступающего на дробление, происходит с небольшой (в среднем) скоростью и достаточно неравномерно. Это позволяет периодически отключать процедуру поиска  $\mathcal{E}_{уд}^*$ , что снизит потери на поиск. Важно отметить, что эффективность реализации перечисленных выше новых функций САУ МД в существенной мере будет зависеть от эффективности реализации традиционной функции – функции регулирования загрузки дробилки по току ПЭД.

Questions of increase of a energy efficiency of the hammer crushers operating in conditions of changes in wide ranges of description of raw material, properties of working parts, proximity of the most effective regimes to the top permissible in an overheat are considered. The problem is solved due to introduction optimization functions and guaranteeing in SAC and the organization of special interaction between them.

1. Хобин В.А. Эффективные алгоритмы и системы управления технологическими процессами производства комбикормов // Комбикормовая промышленность. – М.: ЦНИИТЭИ Минхлебопродуктов СССР. – 1989. – 40 с.
2. Хобин В.А, Бабилов А.Ю. Математическая имитационная модель молотковой дробилки как объекта управления в среде Simulink / Наук. пр. ОНАХТ / Міністерство освіти України. – Одеса: 2006. – Вип. 29. – Т. 2. – С. 236 – 240.
3. Хобин В.А, Хилал М. Вероятностная модель работы тепловой защиты приводных электродвигателей технологических машин Контроль и управление в технических системах // Тез. докл. науч.-техн. конф. стран СНГ, 25-28 окт. 1993. – Винница, 1993. – С. 1.
4. Чинаев П.И. и др. Самонастраивающиеся системы. – К.: Наукова думка, 1969. – 527 с.
5. Хобин В.А, Бабилов А.Ю. Исследование систем гарантирующего управления экстремальными нестационарными объектами с ограничениями / Зб. наук. пр. Кіровоград. держ. техн. універ. – Кіровоград, 2002. – Вип. 11. – С. 54 – 57.
6. Хобин В.А. Системы гарантирующего управления: научные основы / Автоматизация виробничих процесів. – Київ, 2004. – № 2 (19). – С. 62 – 69.

## ЕКОНОМІКА НАУЧНО-ТЕХНІЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

УДК 65.012

## РЕІНЖИНІРИНГ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ТА ЕФЕКТИВНІСТЬ БІЗНЕСУ

Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Іщенко К.А.

**Процесний принцип управління фірмою**

Незважаючи на те, що люди, пов'язані з виробництвом, міркували у термінах виробничих процесів протягом багатьох десятиріч, теорія бізнес-процесів вперше з'явилась менш двадцяти років тому [1]. Компаніям прийшлося визнати, що вони витрачають великі гроші і час на управління своєю функціональною ієрархією. Для більшості менеджерів — це єдина мета їх трудового життя. Але робота не пересувається доверху чи донизу вдовж функціональної ієрархії, вона тече скрізь організацію у вигляді набору бізнес-процесів.

Що таке бізнес-процес? Найбільш проста відповідь — це потік роботи, що переходить від одного робітника до другого, а для великих процесів - від одного відділу до другого. Процеси можна описати на різних рівнях, але вони завжди мають початок, визначену кількість кроків в середині і чітко визначений кінець. Не існує стандартного переліку процесів, але є рекомендовані категорії бізнес-процесів [2], що наведені нижче і на основі яких організації самі розробляють свої бізнес-процеси (БП).

**Реінжиніринг (перепроєктування) бізнес-процесів**

Виділяють такі категорії бізнес-процесів:

1. Процеси, що безпосередньо забезпечують виконання робіт.
2. Процеси планування й керування.
3. Процеси забезпечення ресурсами.
4. Процеси розподілу фінансів.

До першої категорії БП відносять такі процеси:

- 1.1. Розробка нового продукту (послуг).
- 1.2. Виробництво продукції (послуг).
- 1.3. Ремонт устаткування тощо.

До другої категорії БП відносять такі процеси:

- 2.1. Одержання й обробка замовлень.
- 2.2. Продаж готової продукції (робіт, послуг).
- 2.3. Калькуляція собівартості продукції (робіт, послуг).

До третьої категорії БП відносять такі процеси:

- 3.1. Підбор, навчання й розміщення персоналу.
- 3.2. Забезпечення виробничими запасами.
- 3.3. Забезпечення інвестиціями.

До четвертої категорії БП відносять процеси:

- 4.1. Нарахування основної та додаткової зарплати.
- 4.2. Нарахування обов'язкових платежів.
- 4.3. Визначення фінансових результатів.

Далі розглянуто метод структурного аналізу БП, що заснований на принципі ієрархії процесів [2] і використаний при перепроєктуванні БП фірми “Теплопроект”. Структурно фірма має декілька підрозділів, одним з яких є підрозділ теплопостачання, перепроєктування якого було проведено.

У структурному аналізі процесів складний процес представляється за допомогою схем інформаційних потоків [3]. Спочатку процес у вигляді кола й основних замовників з постачальниками, зображеними у вигляді прямокутників, представляється схематично. Замовники і постачальники можуть бути як зовнішніми, так і внутрішніми. Така схема

називається бізнес-системою процесу або схемою зовнішнього середовища БП. Ця система має також входи й виходи процесу, зображені за допомогою стрілок (Рис.1).

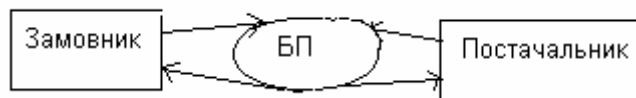


Рис.1 Структурна схема бізнес-системи

У підрозділі визначилися такі основні бізнес-процеси:

- проектування і постачання;
- виконання робіт;
- планування та ефективність робіт.

Погодивши структуру бізнес-процесів, була утворена карта процесів, що дозволяє глянути на процеси більш детально. Це є схеми інформаційних потоків (ІП) першого рівня бізнес-процесів і на них показані основні складові процесів – субпроцеси. Кожен субпроцес зображується у вигляді кола, з направленими до нього й від нього входами й виходами у вигляді стрілок. Тут не потрібно включати в схему клієнтів і постачальників, як це було на схемі бізнес-системи процесу, а тільки входи й виходи від них і до них. Таким чином, можна уникнути надмірного ускладнення схеми процесу й показати тільки інформацію, що є новою в порівнянні з попередньою схемою.

Нижче представлено схему ІП 1-го рівня деталізації БП планування та ефективності робіт підрозділу. Цей БП складається з двох субпроцесів: планування витрат на проект і визначення ефективності проекту. Схема представлена на рис 2.



Рис. 2 Схема ІП 1-го рівня деталізації БП планування та ефективності робіт

Проведений аналіз бізнес-процесів підрозділу дозволив визначити їхні характеристики, сформулювати склад персоналу і сформулювати вимоги до нього, забезпечити децентралізацію управління і підвищити відповідальність кожного працівника підрозділу.

#### **Команда підрозділу тепlopостачання**

Команду очолює досвідчений інженер-фахівець з автоматизації тепло-енергетичних процесів та устаткувань.

У команді спеціалісти з маркетингу, проектування, планування та монтажно-налагоджувальних робіт. Всі спеціалісти є випускниками Одеського політехнічного університету.

У підрозділі визначені такі посади: керівник проекту, три інженери і економіст. Керівник проекту є відповідальна особа за виконання всього проекту. Інженери підрозділу виконують такі види робіт:

- розробка проекту на виконання замовлення;
- формування кошторису робіт та матеріального забезпечення;
- замовлення необхідного матеріального забезпечення;
- монтаж та налагоджування встановленого обладнання;
- передача обладнання у експлуатацію.

Економіст визначає планові техніко-економічні показники проекту: витрати, дохід, собівартість реалізації, прибуток та рентабельність.

#### **Ефективність бізнесу**

В результаті маркетингових досліджень ринку фірма “Теплопроект” отримала замовлення на розробку проекту і встановлення котельного обладнання кришної котельні. Це замовлення передано для виконання в підрозділ тепlopостачання. Термін виконання замовлення – 1місяць.



Для виконання цього замовлення визначено фонд оплати праці (ФОП):

керівник проекту - 1800грн.

інженер – 1200 грн (у команді три інженери).

економіст – 1200 грн.

Разом зарплата (ЗП) дорівнює:

$$\text{ЗП} = 1800 + 3 \times 1200 + 1200 = 6600 \text{ грн.}$$

Нарахування на ФОП (Нфоп) визначено у 38%.

Таким чином, витрати на зарплату (Взп) складають:

$$\text{Взп} = \text{ЗП} + \text{Нфоп} = 6600 + 2508 = 9108 \text{ грн.}$$

Загальні матеріальні витрати (ЗМВ) визначаються за таким кошторисом без урахування ПДВ:

- котельне обладнання з пальником – 72000 грн;

- будівельні матеріали – 8000 грн;

- вартість монтажних-налагоджувальних робіт – 56000 грн;

- оренда приміщення – 2000 грн;

- інші витрати 2000 грн.

Разом - 140000 грн.

Комунальний податок (КП) дорівнює:

$$\text{КП} = 0,1 * 17 * 5 = 8,50 \text{ грн.}$$

Послуги банку (ПБ) складають 383,5грн.

Собівартість реалізації (СР) проекту включає прямі матеріальні витрати (ПМВ), витрати на зарплату, комунальний податок та послуги банку. ПМВ не включають витрати на котельне обладнання (ВКО), які підлягають амортизації, тобто

$$\text{ПМВ} = 140000 - 72000 = 68000 \text{ грн.}$$

Тоді собівартість реалізації дорівнює:

$$\text{СР} = \text{ПМВ} + \text{Взп} + \text{КП} + \text{ПБ} = 68000 + 9108 + 8,5 + 383,5 = 77500 \text{ грн.}$$

Для забезпечення розвитку фірми планова рентабельність реалізації (РР) не може бути нижче 25%. З урахуванням такої рентабельності прибуток (П) має складати [4]:

$$\text{П} = \text{РР} * \text{СР} / 100\% = 25 * 77500 / 100 = 19375 \text{ грн.}$$

Для отримання такого прибутку дохід (Д) має бути:

$$\text{Д} = \text{СР} + \text{П} = 77500 + 19375 = 96875 \text{ грн.}$$

Фінансові потреби (ФП) на проект включають дохід та вартість котельного обладнання з урахуванням ПДВ, тобто

$$\text{ФП} = (\text{Д} + \text{ВКО}) * (100 + \text{ПДВ}) / 100 = (96875 + 72000) * (100 + 20) / 100 = 202650 \text{ грн.}$$

#### **Висновки**

1. Реінжиніринг дозволяє оптимізувати основні бізнес-процеси виробничого підприємства використовуючи метод структурного аналізу.

2. Перепроекування основних бізнес-процесів дозволяє підрозділу теплопостачання виконати замовлення у стислий термін з рентабельністю у 25%.

3. Фінансові потреби на проект складають 202650 грн.

In work it is shown, how reengineering allows to optimize the cores business-processes of the industrial enterprise, using a method of the structural analysis.

1. Майкл Хаммер, Джеймс Чампи, Реинжиниринг корпорации: манифест для революции в бизнесе. Лондон, N B P, 1993.

2. Робсон М., Уллах Ф., Практическое руководство по реинжинирингу бизнес-процессов. М.: Аудит, ЮНИТИ, 1997.

3. Бундюк А.Н Анализ бизнес-процессов теплогенерирующего предприятия. Зб. праць Херсонського технічного університету, Херсон, 2004.

4. Бундюк А.М. Автоматизация бизнес-процесів. Навч. посібник, Одеса. ОДПУ, 2005.

РИНОК СОКІВ В УКРАЇНІ ТА ОДНА З АЛЬТЕРНАТИВ ПІДВИЩЕННЯ  
КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНОСТІ ПРОДУКЦІЇ

Власенко Н.А.

Організм людини може існувати лише за умови постійного обміну живильних речовин й води. Обмін води та поєднанні з нею фізіологічні та біохімічні процеси мають виключно важливе значення для життя людини.

Згідно концепції збалансованого харчування, сформульованої академіком Покровським, добова потреба дорослої людини у воді складає 1740-2200 г. Приблизно половина цієї потреби покривається за рахунок різноманітних напоїв (вода, соки, напої, чай та т. д.), друга половина - за рахунок інших продуктів харчування.

У цілях задоволення потреби організму у воді й угамування почуття спраги соки й напої повинні справляти певний фізіологічний вплив на організм, що залежить від їх освіжаючої спроможності, поживності, стимулюючої дії, гармонічного смаку та й інших властивостей. Фруктові й овочеві соки, що утримують у своєму складі смакові та поживні речовини, у повному обсязі відповідають цим вимогам.

Споживання соків в усьому світі постійно збільшується. Це пояснюється як високою харчовою цінністю соків, так і рентабельністю їхнього виробництва.

Кількість соків забезпечується як власним виробництвом окремих країн, так і імпортом їх з інших країн. Особливо в великих кількостях імпортуються соки, на основі яких готують різні купажировані соки й напої.

Останнім часом одержало розвиток виробництво напоїв на основі натуральних фруктових і овочевих соків, у тому числі газованих, у яких частка фруктової частини коливається від 35 до 50%. Ці напої містять біологічно активні й живильні речовини натуральних соків і по органолептичним властивостям і харчовій цінності перевершують звичайні безалкогольні напої, у яких частка фруктової частини не перевищує 15%, а інші 85% припадає на воду, синтетичні ароматизатори й барвники[1].

Найбільшу кількість соків виробляють США, Італія, Німеччина, Франція й Швейцарія. Значно менший рівень споживання соків і незначний його ріст характерний для Франції й Італії.

З рис. 1 видно, що рівень споживання соків у країнах Європи та США здебільшого перевищує рівень споживання соків в Україні. Так, більш за всіх люблять соки у Німеччині. Середньостатистичний громадянин Німеччини випиває біля 44.5 л соку на рік. У 2003 році середньостатистичний українець випивав 3,5 л соку на рік. Вже у 2005 році споживання соків зросло до 8 л на рік. Тобто рівень споживання соків в Україні є досить невеликим, та має тенденцію до збільшення. Про це свідчить також те, що ринок соків в Україні торік зріс за різними оцінками на 25-32%, на що навіть не розраховували самі виробники.

За даними компанії MEMBR відомо, що українці найбільш люблять соки 62,8%, 33,5% українців віддають перевагу нектарам, та 3,7% українців споживають соковмісні напої. Тобто є певна потреба у виробництві соків.

Вже котрий рік незмінною шісткою найпопулярніших соків є апельсиновий (рис. 2), мультивітамінний, томатний, ананасовий, персиковий та замикає шістку яблучний сік.

Асортиментна політика виробників останнім часом придбала яскраво виражений інноваційний характер. Причому продуктова ланка розширювалася не тільки й не стільки за рахунок нових смаків, скільки за рахунок нових концепцій торговельних марок.

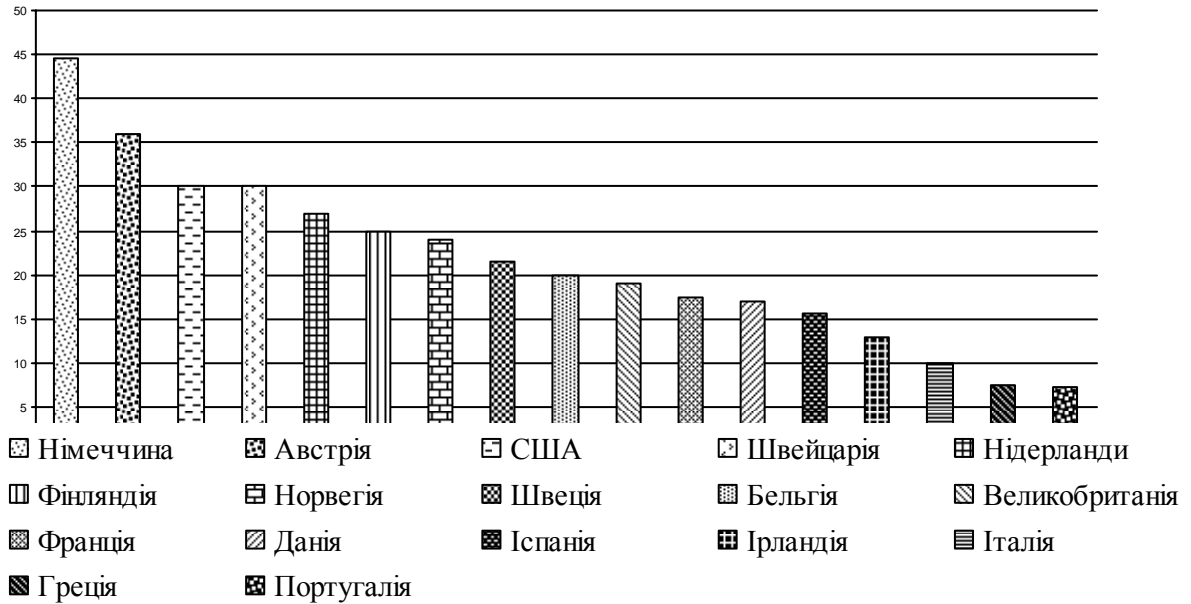


Рис. 1 Обсяги споживання соку на душу населення в країнах Європи й США (л/рік)

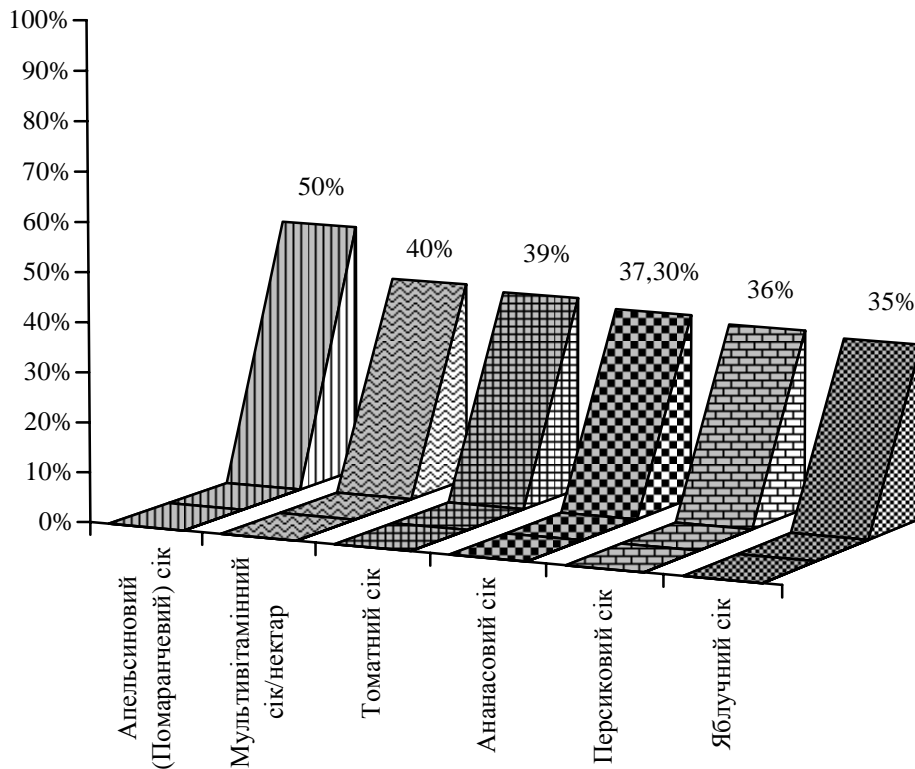


Рис. 2 Споживчі вподобання середньостатистичного українця

Через все більшу зацікавленість споживача й нарощування обсягів виробництва доступних за ціною сокових продуктів, український ринок СНН (соки, напої, нектари) щорічно збільшує свою ємність на 20 - 27% (дані Держкомстат України й незалежних дослідницьких компаній за 2001 - 2004 роки). Для порівняння - той же показник у ринків безалкогольних напоїв і мінеральних вод становить 10 - 15% у рік. Корисність соку залишається одним з важливих параметрів його покупки. Однак, не тільки корисність соку спонукає споживачів до покупки. По-перше, споживачі як важливі причини при покупці соку називають його смакові якості, а так само прийнятну ціну. І це є заслуга активної маркетингової політики компаній - виробників на цьому ринку.

За оцінками фахівців, із установлених в Україні потужностей по готуванню й розливу в пакет соків тільки лінії Tetra Laval мають сумарну потужність більше 500 млн. л у рік. Якщо ж додати ще й пакетні лінії Combiblock, і ПЕТовские KHS, і нові лінії під «скло», то всього вийде не менш 800 млн. л у рік. У загальному й цілому потенціал місцевих виробників соку на сьогодні вироблений не більш ніж наполовину.

Як відомо, соки й нектари, по своїй смаковій категорії діляться на моносоки (смак одного фрукта або овочу) і купажовані (суміш декількох смаків). Виготовлення купажованих соків обходиться виробникові дещо дешевше, ніж екзотичні моносоки - за основу береться сік з недорогої сировини (наприклад яблучний, грушевий) і змішується з більше дорогими фруктами.

У всіх регіонах України, як свідчать експерти, основна частка продажів доводиться на 100% натуральні моносоки й нектари. Втім, SWOT-Аналіз і моніторинг ринку свідчать про те, що в містах з населенням біль ніж мільйон осіб спостерігається зростаючий інтерес населення до овочевих соків, екзотики й міксів, що поєднують, на перший погляд, несумісні смаки, наприклад морквяно-березовий.

Зміна сезонів майже не відбивається на купівельних перевагах - тільки на обсягах продажів. Піком продажів є період з березня по червень - до появи свіжих фруктів. Персик і абрикос можуть бути виділені як виключення, тому що сік із цих фруктів затребуваний аж до появи свіжих персиків і абрикос, до серпня.

Експерти вважають однією з головних тенденцій розвитку вітчизняного сокового ринку стрімке зростання ємності низького цінового сегмента. За даними дослідницької компанії MEMRB Retail Audit analysis, торік частка низького цінового сегмента зросла з 18,8 до 31,8% і продовжує збільшуватися.

На думку експертів, у тому році на даному сегменті не відбився навіть традиційний для галузі літній спад продажів. Природно, така тенденція не могла не залучити виробників. І якщо раніше заклик «платити тільки за якість» використовував Одеський завод дитячого харчування, що випустив так званий «білий пакет», то сьогодні такі ж недорогі «пакети» пропонують ще декілька виробників, зокрема «Галичина», «Винни», «Витмарк-Україна» (Jaffa, «Наш сік» і ін.).

Зростаюча місткість ринку підштовхнула виробників до спроб розширити сфери впливу. Так, лідери йдуть по шляху продукування брендів, що дозволяє їм захопити нові цінові сегменти. Скажемо, «Сандора» випустила серію соків преміум-класу Sandora Fruit of the World і недорогий «Садочок», «Витмарк-Україна» - Soletto і «Соковита» в аналогічних цінових сегментах. Крім того, обидві компанії зміцнюють свої виробничі потужності. Так, «Сандора» підписала угоду із МФК про виділення кредиту розміром 10 млн. доларів США, що буде спрямований на модернізацію потужностей, збільшення обсягів виробництва, розширення бази постачальників і мережі дистрибуції. Крім того, компанія цього року придбала в Сімферополі завод по переробці фруктів. «Витмарк-Україна», у цей момент також реконструює свої виробничі потужності й розширює сировинну базу.

Боротьба між виробниками за небрендний сегмент має цілком логічне пояснення. Суть у тім, що останнім часом ринок росте в основному за рахунок розширення нижнього цінового сегмента, де переважають соки й нектари з вітчизняних овочів і фруктів. Серед споживачів популярність «українських» смаків постійно збільшується. Що закономірно, адже ще 2 роки тому лише половина населення нашої країни споживала соки. Тепер же основний приріст у недорогому сегменті забезпечують інші 50% співвітчизників, які поступово прилучаються до культури їхнього споживання. Хоча стандартна динаміка ринку становить близько 20%, продажі «білих пакетів» росли в 2005 році разів в півтора швидше, відзначають експерти.

Загалом, сьогодні досить підстав вважати, що потенціал українського ринку не вироблений і наполовину, а то й на чверть. І «ласий шматочок» у мільярд гривень (по скромних підрахунках) є достатнім стимулом, щоб не жалкувати інвестиційних засобів на соковиготовляючу індустрію [2].

В Україні налічується підприємств-виробників — близько 400, з них — близько 30 великих. Обсяг виробництва складає більше 225 млн. л. Сьогодні ринок контролюють 5-8 компаній-лідерів (табл. 1).

Таблиця 1

Компанії-лідери ринку соку в Україні

Місце	Компанія	Торгові марки
1	ТОВ “Сандора”	Sandora Gold, Sandora Classic, “Новий Дарунок”, “Садочок”
2	СП “Витмарк-Україна”	Jaffa, Jaffa Gold, Jaffa Grand, Sokko, “Наш сік”, “родинне”
3	ВАТ “Одеський завод дитячого харчування”	“Сік натуральний”
4	ВАТ “Виннифрут”	“Винни” і “Винни Gold”
5	ДП “Напої”	“Смак” і “Фрутико”
6	“Вимм-Білл-Данн”	J7, Rio Grande, “Улюблений сад”, “Чудо-Ягода”
7	ТОВ “Мст-Регіон”	“Мрія” і “Морс “Лісова ягода”
8	ЗАТ “Майбел”	“Джусик” і “Джус”

Частка імпортних соків на українському ринку сьогодні не перевищує 10%. В основному соки потрапляють в Україну з Росії й Молдавії, менш помітні поставки продукції східноєвропейських виробників (іноді завезеної напівлегально) і елітних брендів із країн далекого зарубіжжя (ТМ Minute Maid від Coca-Cola і т.д.).

Ареал експорту соків українського розливу досить широкий: країни СНД, Балтії, Ізраїль і навіть досить далеке зарубіжжя. Частка експорту готових соків становить біля 15-20% внутрішнього виробництва, хоча в окремих компаній (наприклад, ТОВ “Гопак”, ТМ “Дарунки ланів”) частка експортних операцій у загальному обороті досягає 1/3.

Однак основним товаром експорту як і раніше залишаються концентрати з місцевої сировини: яблук, вишень і т.д. Їх із задоволенням використовують промисловці ближнього й далекого зарубіжжя.

Отже попит на продукцію росте щорічно. Тим більш, що в Україні є певні перспективи зростання виробництва. Є й достатньо сировини для виробництва в великих об’ємах.

Існує кілька методів, що сприяють більшому отриманню соку з сировини. Головною метою механічного впливу на сировину (подрібнювання, розчавління, різка і таке інше) є пошкодження клітини, внаслідок чого й виникає сік. Звісно, що механічний вплив тільки тоді дає певний технологічний ефект, коли більша частина клітин пошкоджується. Але, виходячи з малого розміру клітин, механічне подрібнювання пошкоджує лише невелику їх кількість.

Обробка ферментними (ензимними) препаратами цвілевих грибів дозволяє значно збільшити вихід соку з плодів та ягід[3].

Варіант виготовлення натурального соку з використанням ферментних препаратів є вигідним з економічної точки зору. По-перше, застосування ферментних препаратів збільшує вихід соку з сировини, тим самим зменшуючи кількість зворотних відходів (вичавки). Отже, є вибір: або зменшити витрати на сировину та випускати ті ж самі об’єми, або, завдяки збільшенню об’єму виготовленої продукції, збільшити прибутки, при тому, що витрати на одиницю продукції зменшаться, виходячи з механізму дії ефекту масштабу.

Дані наведені в табл. 2 є наглядним свідченням доцільності впровадження технології виготовлення натурального соку, з використанням ферментних препаратів. Ця технологія є більш ефективною в порівнянні з традиційною технологією. По-перше, зростає процент виходу продукції з сировини. По-друге, собівартість одиниці продукції в разі виготовлення натурального соку з використанням ферментних препаратів є нижчою, за відповідну у варіанті без обробки мезги ензимами.

Таблиця 2

Порівняльна таблиця техніко-економічних показників роботи цеху за обома варіантами виробництва

Найменування показників	Одиниця виміру	Значення показника		Абсолютне відхилення
		Виробництво натурального соку	Виробництво натурально соку з використанням ферментного препарату	
1. Потужність цеху, обробка сировини у сезон	т/сезон	794,9813	794,9813	-
2. Вихід готової продукції із сировини	%	70	75	5
3. Собівартість одиниці продукції	грн/банку	6,06	5,81	-0,25
4. Рентабельність продукції	%	14,30	18,99	4,69
5. Рентабельність продажу	%	12,51	15,66	3,15
6. Фондовіддача	грн.	1,527	1,628	0,101
7. Прибуток з гривні ОВФ	грн.	0,191	0,26	0,069
8. Критичний об'єм у натуральному виражені	тис фіз. банок (3 л)	129,15	125,57	-3,58
9. Прибуток з запланованого об'єму виробництва	тис грн.	161,421935	220,634935	59,213

Отже, виготовлення натурального соку з використанням ензиму, як чинника, що підвищує процент виходу соку з сировини є більш пріоритетним, ніж виготовлення натурального соку без використання ферментних препаратів.

**Висновки:**

1. Попит на натуральний сік в Україні росте щорічно і є певні перспективи зростання виробництва.
2. При використанні технології з використанням ензимів зростає процент виходу продукції з сировини та знижується собівартість одиниці продукції.
3. Виготовлення натурального соку з використанням ензимів сприяє росту конкурентоспроможності підприємства.

In work the market of natural juices in Ukraine is investigated and is shown, that demand for this production constantly grows. The big share of changes occurs due to the bottom price segment. For increase of competitiveness of production it is necessary to use innovational technologies. In work it is necessary expediency of use enzyme at manufacturing juices that promotes improvement of technical and economic parameters and growth of competitiveness of the enterprise.

1. Самсоновна А.Н., Аушева В.Б.Фруктовые и овощные соки (Техника и технология)–2-е изд., пере раб. и доп.–М.:Агропромиздат, 1990.–287 с.
2. <http://from-ua.com/eco/eco2/42677ee50c67f/>
3. Власенко Н.А., Короленко В.О., Стоянова О.В., Шанін О.Д. Економічна ефективність використання ферментних препаратів для виробництва плодово-ягідних соків//Таврійський науковий вісник , Херсон, ХДАУ,2006, №43

## НЕОБХОДИМЫЕ УСЛОВИЯ РАЗВИТИЯ ОБЪЕКТОВ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Соколова Н.А., Петров К.Э., Ходаков В.Е.

**Введение.** В настоящее время усилилось внимание исследователей к проблемам развития предприятий, учреждений, фирм – объектов хозяйственной деятельности (ОХД) [1, 2, 3].

Одним из ключевых моментов развития является определение необходимых условий развития, для чего могут быть использованы различные модели ОХД, однако, во-первых на данный момент их недостаточно, а во вторых пока известные модели далеки от практического использования. Так в работе [3] предлагается теоретическая модель распределения ресурсов на развитие производственно-экономической системы:

$$\operatorname{arg\,tolPar} \Phi[f_1(\alpha, D); f_2((1 - \alpha), D)] \rightarrow \alpha^*,$$

где  $D$  – свободные ресурсы;  $\alpha$  – коэффициент, определяющий долю (пропорцию) распределения свободных ресурсов;  $f_1(\cdot), f_2(\cdot)$  – функции, отражающие результативность развития и функционирования соответственно;  $\Phi[\cdot]$  – функционал обобщенной эффективности деятельности системы. Запись  $\operatorname{arg\,tolPar} \Phi[\cdot]$  соответствует поиску удовлетворительного (толерантного) решения из множества парето-оптимальных решений. К сожалению, данная теоретическая модель не позволяет практически решать большинство задач развития.

**Постановка задачи исследования.** Целью статьи является анализ и определение необходимых условий устойчивого развития ОХД. Развитие сложной управляемой искусственной открытой системы – это процесс целенаправленного изменения элементов и/или структуры системы в результате управления внешнего и внутреннего происхождения, а также на основе механизмов самоорганизации, приводящий систему к усилению интегративных свойств.

Развитие существенно отличается от простой смены состояний. В функционировании более или менее строго определена последовательность состояний, определяющая по существу основную схему содержания всего процесса. Развитие также описывается обычно как смена состояний развивающейся системы, однако основное содержание процесса составляют при этом достаточно существенные изменения в структуре системы и в формах реализации функционирования. С функциональной точки зрения функционирование есть движение в состоянии одного и того же уровня, связанное лишь с перераспределением элементов и функций в системе; при этом каждое последующее состояние зависит от предыдущего. Весьма существенно, что в точках перехода от одного состояния к другому развивающаяся система обычно располагает относительно большим числом «степеней свободы» и ставится в условия необходимости выбора из некоторого количества возможностей, относящихся к изменению конкретных форм ее организации. Все это определяет множество путей и направлений развития.

Развитие ОХД – это процесс целенаправленного изменения состояний составляющих и организационной структуры ОХД, являющийся результатом управления внешнего и внутреннего происхождения, а также действия механизмов самоорганизации, который приводит к смене форм функционирования, не определяющихся непосредственно предыдущими состояниями, но обеспечивающих выполнение целей ОХД.

Основное интегративное свойство ОХД напрямую связано с основной целью развития ОХД: сохранением и расширением возможностей удовлетворения рыночного спроса. Поэтому хорошо спланированное исследование рынка является предпосылкой для принятия эффективных управленческих решений по устойчивому развитию. В рамках этой задачи для ОХД можно выделить две рыночные стратегии: консервативная – сохранение завоеванной доли рынка; экспансивная – расширение доли рынка.

– В то же время при управлении развитием ОХД следует учитывать, что обособленное рассмотрение отдельных аспектов и частных задач развития (разработка новых изделий и услуг, совершенствование производственной технологии, освоение новых рынков и т.п.) уменьшает эффективность, приводит к несогласованности, а часто и к нереализуемости принимаемых управленческих решений, снижает гибкость и мобильность системы. Поэтому важно обеспечить целостность исследования всех процессов, охватывающих анализ рыночного окружения, формирование и оптимизацию вариантов технического развития и финансово-экономических схем их реализации, совершенствование системы управления предприятием. Кроме того, процессы развития необходимо рассматривать во взаимосвязи с мероприятиями, направленными на улучшение текущей деятельности (повышение качества продукции, снижение издержек производства, совершенствование оперативно-календарного планирования, уменьшение запасов незавершенного производства и др.), что позволит улучшить координацию, выявить резервы и уменьшить возмущения в системе.

– Устойчивое развитие ОХД – это развитие ОХД, при котором значение кортежа ресурсов, которые могут быть привлечены на протяжении планового периода, превосходит значение кортежа ресурсов, необходимых для парирования возмущений внешней среды согласно сценария, полученного в предположении среднего уровня оптимистичности (пессимистичности) оценки возмущений внешней среды.

Устойчивое развитие осуществляется путем внедрения инноваций [4], наращивания мощностей ОХД и проведения мероприятий, направленных на переход ОХД в устойчивое состояние. Момент начала развития определяется накоплением необходимых ресурсов (фонда развития ОХД). Если фонд развития соответствует возможностям ОХД и рационально используется – оно устойчиво развивается. Если фонд развития соответствует возможностям ОХД, но используется нерационально, т.е. допущены ошибки в стратегии развития или не учтены риски, то ОХД не развивается и может потерпеть крах. Если фонд развития недостаточен, то ОХД терпит крах.

**Основной материал.** Энергия является движущей силой любых изменений, следовательно, и движущей силой процессов развития. Согласно [5] энергия – общая количественная мера различных форм движения материи, а согласно [6], энергия – общая количественная мера различных форм изменения материи или взаимодействия материальных объектов.

Необходимые условия развития могут быть получены из формулы энергетического баланса открытой системы:

$$\Delta E = \Delta E_S - E_D - E_M - E_P - E_T, \quad (1)$$

где  $\Delta E$  – изменение внутренней энергии;  $\Delta E_S$  – изменение свободной энергии системы;  $E_M$  – энергия, которую расходует система на осуществление функций метаболизма;  $E_D$  – энергия, диссипированная (рассеянная) в окружающую среду;  $E_P$  – энергия, расходуемая на поддержание уровня гомеостаза, т.е. на осуществление функций механизма отрицательной обратной связи;  $E_T$  – энергия, расходуемая на трансформацию уровня гомеостаза, т.е. на осуществление функций механизма положительной обратной связи.

При  $\Delta E = 0$  система функционирует в стабильном (равновесном) режиме. Поступление свободной энергии полностью расходуется на поддержание порядка в системе, т.е. на понижение энтропии.

При  $\Delta E > 0$  в системе накапливается свободная энергия, ее излишек может быть реализован при трансформации уровня гомеостаза в направлении его изменения, т.е. развития.

При  $\Delta E < 0$  свободной энергии на поддержание уровня гомеостаза не хватает, энтропия повышается. В этом случае возможно только понижение уровня гомеостаза, система переходит в неустойчивое состояние.

Среда играет большую роль в энтропийном обмене, которая заключается в следующем:

- среда может быть для системы генератором энтропии (флуктуации, приводящие систему в состояние хаоса, могут исходить из внешней среды);



- среда может выступать также фактором порядка, поскольку те же флуктуации, усиливаясь, подводят систему к порогу самоорганизации;
- в среду может производиться отток энтропии из системы; в среде могут находиться системы, кооперативный обмен энтропией с которыми позволяет повысить степень упорядоченности, но даже если среда воздействует на систему хаотически, а сила флуктуации недостаточно велика для того, чтобы вызвать точку бифуркации, система имеет возможность преобразовывать хаос в порядок, совершая для этого определенную работу. То есть среда, обеспечивая приток к системе вещества, энергии и информации, поддерживает ее неравновесное состояние, способствует возникновению неустойчивости, служащей предпосылкой развития системы.

В основе условия устойчивого развития ОХД лежит формула ресурсного баланса (1). Тогда

$$\Delta W = W_q - W_p - W_m - W_s, \quad (2)$$

где  $\Delta W$  – свободные ресурсы;  $W_q$  – ресурсы, поступающие из внешней среды (доходы);  $W_p$  – ресурсы, отдаваемые во внешнюю среду (расходы);  $W_m$  – ресурсы потребления (обеспечение функционирования системы, т.е. метаболизм);  $W_s$  – ресурсы стабилизации (парирование рисков, т.е. случайных внешних возмущений). Для ОХД в качестве обобщенного ресурса можно рассматривать финансовые потоки (интегральная характеристика) и конкретные виды ресурсов.

Для анализа устойчивости развития нужно перейти к анализу на интервале планирования:

$$\int_0^T \Delta W(t) dt = \int_0^T W_q dt - \int_0^T W_p dt - \int_0^T W_m dt - \int_0^T W_s dt.$$

- 1) Если  $\Delta W(T) > 0$ , то ресурсы для развития имеются;
- 2) Если  $\Delta W(T) \leq 0$ , то ресурсов для развития нет и возможны два случая:
  - а)  $\Delta W(T) = 0$  – состояние ОХД стабильное, но отсутствует возможность развития;
  - б)  $\Delta W(T) < 0$  – крайне нестабильное состояние, банкротство.

Для развития ОХД необходимы материальные, трудовые и управленческие ресурсы, но самыми главными и необходимыми являются финансовые ресурсы. Планируя ресурсы на развитие, ОХД необходимо учитывать состояние ОХД, текущую ситуацию на рынке и ожидаемое ее развитие. При этом очень важна точность в определении размеров будущих объемов реализации (рыночной доли ОХД), поскольку ошибка в прогнозах может привести к серьезным убыткам. Так, если реальная рыночная доля ОХД окажется меньше прогнозируемой, то ОХД потеряет средства, вложенные в модернизацию и внедрение инноваций ОХД и изготовление лишнего объема продукции, в противном случае ОХД несет потери в размере упущенной прибыли.

Для планирования устойчивого развития ОХД, функционирующего в условиях конкурентной борьбы, необходимо решать следующие задачи:

- 1) выбор рыночной стратегии развития ОХД и определение необходимого объема фонда развития;
- 2) определение эффективной стратегии использования выделенного фонда развития.

Выбор рыночной стратегии и определение размера фонда развития происходит в условиях высокой степени неопределенности, обусловленной отсутствием информации о ситуации, которая сложится на рынке в будущем периоде функционирования. Рыночная ситуация складывается в результате реализации своих предпочтений потребителями рассматриваемого товара. В свою очередь предпочтения потребителей складываются под воздействием множества социальных, экономических, политических и других факторов, но в определяющей степени зависят от привлекательности товара и товаропроизводителя.

Следовательно, рыночная ситуация в будущем периоде определяется привлекательностью ОХД и их продукции, а также стратегиями по повышению этих показателей.

На этапе стратегического планирования неизвестны рыночные стратегии остальных ОХД, поскольку условия конкурентной борьбы не предполагают сообщения такой информации, однако, основываясь на информации прошлых этапов функционирования и предполагая рациональное поведение конкурентов, можно сделать предположения об их поведении на рынке, а, следовательно, и прогноз ситуации, которая может сложиться на рынке в будущем периоде.

Сложность задач развития значительно выше задач функционирования, так как необходимо планировать внедрение инноваций, учитывать множество факторов и принимать решения при отсутствии полных данных о ситуациях и вариантах действий. Эти задачи относятся к классу так называемых открытых, законченной теории которых пока еще нет. Есть и еще множество нерешенных вопросов, о чем было сказано ранее.

Для реализации управления необходимы затраты разнородных ресурсов, что вызывает необходимость определения величины ресурсов, которыми может располагать ОХД в течении планового периода  $W(T)$ , основываясь на текущем состоянии ОХД и ретроспективном анализе его деятельности, причем

$$W(T) = W_{\phi}(T) + W_p(T), \quad (3)$$

где  $W_{\phi}(T)$  – ресурсы функционирования,  $W_p(T)$  – ресурсы развития.

Устойчивость функционирования ОХД можно определить как способность достижения заданных целей на заданном временном интервале в условиях действия случайных возмущений внешней среды, имеющих интервальный характер.

Для реализации интегративных свойств (развитие в соответствии с целью) система может затрачивать различное количество каждого ресурса из множества ресурсов  $W$ . Чем меньше ресурсов затрачивает система на реализацию интегративного свойства, тем она эффективнее.

Величина ресурсов, которыми может располагать ОХД в течении планового периода  $W(T)$  определяется согласно (3).

Пусть значение кортежа возмущений внешней среды получены в результате имитационного моделирования различных сценариев, т.е. сочетаний случайных воздействий, от «пессимистического»  $Y^n(T)$  (наихудшего для ОХД), среднего уровня оптимизма (пессимизма)  $Y^c(T)$  до «оптимистического»  $Y^o(T)$  (наилучшего для ОХД):

$$Y^n(T) = \sup\{Y\}, Y^o(T) = \inf\{Y\}.$$

Для парирования возмущений  $Y^n(T)$  необходимы ресурсы  $W_p^n(T)$ , для парирования возмущений  $Y^c(T)$  необходимы ресурсы  $W_p^c(T)$ , а для парирования  $Y^o(T)$  соответственно -  $W_p^o(T)$ .

Тогда будем считать, что:

- 1) если  $W_p(T) \geq W_p^n(T)$ , т.е. имеющиеся ресурсы развития обеспечивают достижение целей ОХД в условиях пессимистического прогноза, то развитие абсолютно устойчиво;
- 2) если  $W_p^c(T) \leq W_p(T) < W_p^n(T)$ , то развитие устойчиво;
- 3) если  $W_p^o(T) \leq W_p(T) < W_p^c(T)$ , то развитие неустойчиво;
- 4) если  $W_p(T) \leq W_p^o(T)$ , то развитие катастрофически неустойчиво.

Можно вывести коэффициент устойчивости развития на плановом интервале:

$$K_{yp} = \frac{W_p(T) - W_p^o(T)}{W_p^n(T) - W_p^c(T)}. \quad (4)$$

Таким образом, возникает необходимость решения задачи управления устойчивым развитием ОХД, которая не решается в рамках традиционных стандартных АСУ. Ее решение предусматривается в рамках предлагаемой подсистемы управления развитием – СУР ОХД.

Ресурсы для развития ОХД накапливаются на плановом периоде в процессе функционирования, поэтому очевидно, что важное значение для развития имеет эффективное функционирование на данном периоде. Задачу управления функционированием выполняет контур оперативного управления, информационная поддержка которого осуществляется АСУ.

Функционирование ОХД на плановом периоде можно считать квазиравновесным состоянием, а в результате развития осуществляется последовательный переход от одного квазиравновесного состояния к другому, поэтому условно состояния ОХД в процессе развития можно аппроксимировать кусочно-постоянной функцией (рис.1)

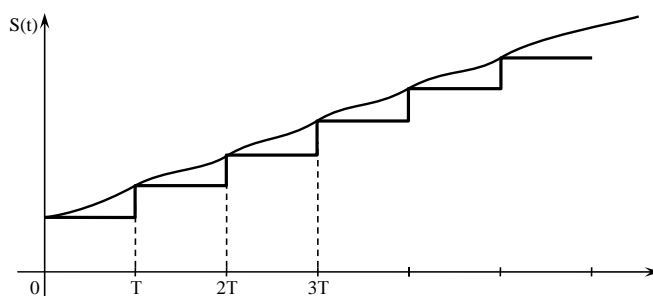


Рис. 1 Условная аппроксимация процесса развития

Таким образом, в АСУ ОХД необходимо наличие двух контуров управления:

- традиционное управление функционированием ОХД;
- управление развитием ОХД.

В процессе традиционного управления функционированием ОХД осуществляется координационное управление всеми функциями, выполняемыми системой, от планирования до основной деятельности (производственная координация, в частности диспетчеризация). Назовем этот аспект координации координацией1.

Для обеспечения устойчивости развития ОХД изменение всех элементов и структуры должно происходить согласованно, без существенных опережений и отставаний, т.е. скоординированно. Таким образом, возникает задача координации на уровне элементов и структуры, которую назовем координация2.

Так как в процессе функционирования создаются ресурсы для развития, соответствующие два контура управления должны функционировать совместно и согласованно, т.е. в рамках АСУ ОХД необходимо осуществлять координацию двух контуров управления. Назовем этот аспект координации координацией3.

Таким образом, в рамках управления устойчивым развитием ОХД необходима комплексная координация всех трех аспектов координации.

Так как может происходить как изменение элементов, так и структуры системы и всех ее свойств, включая и интегративные свойства системы, то в качестве математической модели управляемых динамических систем можно использовать модель вида

$$\dot{x} = f(x, u, t, \xi), \tag{2}$$

где  $x$  –  $n$ -мерный фазовый вектор,  $\xi$  –  $k$ -мерный ( $k \leq n$ ) вектор возмущений, который может быть случайным либо неопределенным,  $u$  –  $m$ -мерный ( $m \leq n$ ) вектор управления,  $t$  – время.

В общем случае  $u = u(t, x, \xi)$  – «свободная» вектор-функция (управление) в смысле того, что с системой ассоциирован некоторый субъект (субъекты), имеющий право при-

нимать решения. Если в системе взаимодействуют несколько субъектов, имеющих различные собственные цели и в распоряжении которых находятся управления  $u_1, u_2, \dots, u_m$ , то система описывается моделью  $\dot{x} = f(x, u_1, u_2, \dots, u_m, t)$ , причем управления находятся из условий вида

$$\int_0^T F_1(x, u_1, u_2, \dots, u_m, t) dt \rightarrow \min$$

$$\int_0^T F_2(x, u_1, u_2, \dots, u_m, t) dt \rightarrow \min$$

.....

Но такими типами моделей невозможно формализовать большое количество ситуаций, для улучшения управления которыми необходимо включение в модель отдельного функционирующего звена – человека-эксперта (в предположении, что цели эксперта (экспертов) совпадают с целями системы).

Процесс развития системы можно считать эффективным, если он обеспечивает развитие системы в направлении достижения цели. Это означает, что в результате воздействия количественные или качественные характеристики интегративного свойства системы изменяются в направлении улучшения. В противном случае процесс развития будет не эффективным. Необходимо определить соответствующие показатели эффективности как критерии оптимизации управления развитием.

Решение задач управления развитием требует информационной поддержки, которую обеспечивают АСУ, ориентированные до сих пор на поддержку функционирования ОХД, а не на управление процессами развития, что вынуждает необходимость создания в составе АСУ ОХД подсистемы управления развитием (СУР).

– В ОХД выделяются процессы функционирования (производства) и процессы развития. Выработка управлений по каждой группе процессов состоит в последовательном прохождении ряда этапов: контроля, диагностики, прогнозирования состояний, формирования управляющих воздействий, взаимосвязь которых показана на рис.2.

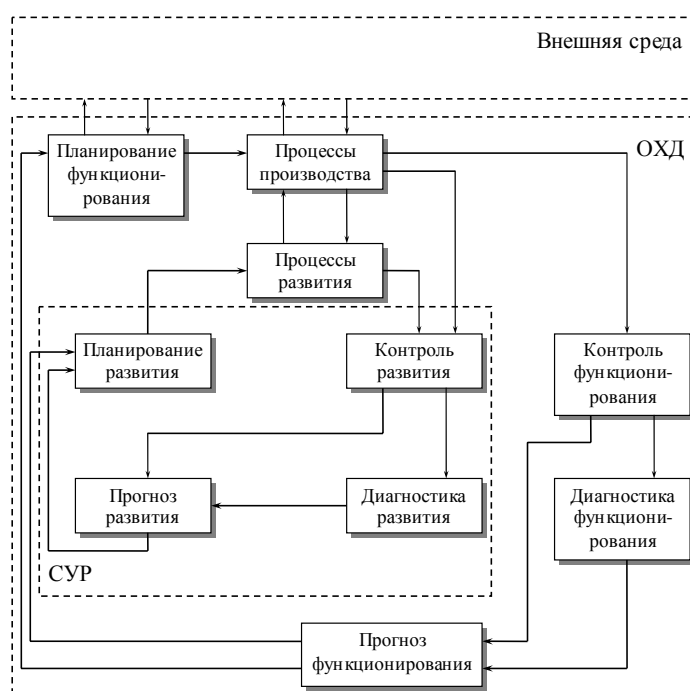


Рис. 2 Взаимосвязь задач развития и функционирования ОХД (СУР – система управления развитием)

Каждому из этапов ставятся в соответствие определенные классы задач:

- этап контроля – задачи учета и контроля;
- этап диагностики – задачи анализа, идентификации;
- этап прогноза – задачи прогноза: состояний, характеристик, динамики процессов;
- этап выработки управления – задачи генерации конструктивного множества альтернатив; задачи оценки качества и выбора конкретной альтернативы.

Анализ существующих систем управления ОХД, показывает, что им в той или иной мере присущ ряд недостатков:

- не выделяется как самостоятельная подсистема развития;
- не рассматриваются характеристики взаимодействия с внешней средой.

С целью устранения отмеченных недостатков и повышения эффективности функционирования предлагается представление ОХД, состоящей из двух иерархических подсистем (функционирование и развитие), взаимодействующих с внешней средой (рис.3).

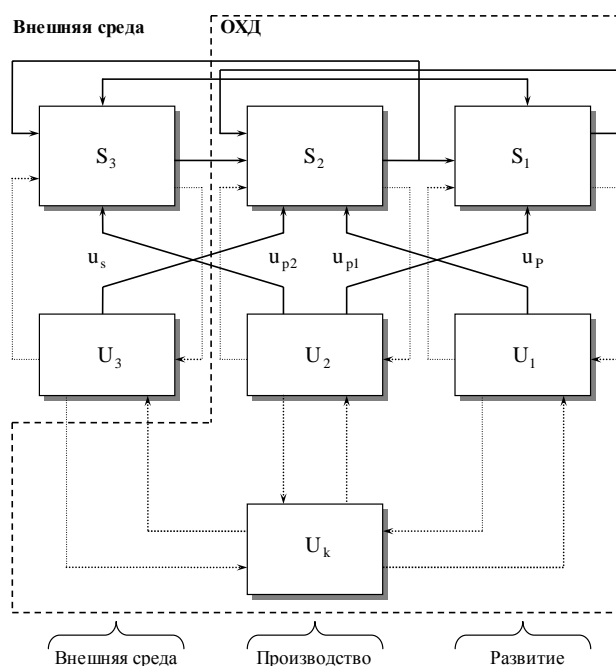


Рис. 3 Структурная схема модели развивающегося ОХД

Здесь  $S_2$  – собственно производственно-технологический процесс ОХД; система «развитие» –  $S_1$  и среда  $S_3$  – обобщенный образ внешней среды (государство, потребители, поставщики, смежники, конкуренты и т.п.).  $U_2$  – система управления производством;  $U_1$  – система управления развитием и  $U_3$  – система управления взаимодействием с внешней средой.  $U_k$  – система координации, обеспечивающая взаимодействие систем  $S_1$ ,  $S_2$  и  $S_3$ .

В схеме на рис.3 выделяются три взаимосвязанных подсистемы: производство, развитие и внешняя среда.

**Заключение.** Выявлены необходимые условия развития ОХД – материальные, трудовые и управленческие ресурсы. Самыми главными являются финансовые ресурсы. Для реализации управления необходимо определять величину ресурсов, которыми должен располагать ОХД в течении планового периода (фонд развития), основываясь на текущем состоянии ОХД и ретроспективном анализе его деятельности. Решение задачи управления устойчивым развитием предлагается вновь вводимой подсистемой управления развитием в составе АСУ ОХД.

Necessary conditions of development OEA – material, labour and administrative resources are revealed. The most important are financial resources. For realization of management it is necessary to define size of resources which should have OEA during the scheduled period (fund of development), being based on current condition OEA and the retrospective analysis of his activity. The decision of a task of management of steady development is offered by again entered subsystem of management of development in structure of MIS OEA.

1. Годлевский М.Д. Проблемы и основные подходы к управлению развитием распределенных технико-экономических систем // Вестник национального технического университета ХПИ. – Харьков: ХПИ, 2000. вып. 99. – С. 48-53.
2. Кучин Б.Л., Якушева Е.В. Управление развитием экономических систем. – М.: Экономика, 1990. – 157 с.
3. Пушкарь А.И. Модели управления развитием производственно-экономических систем. – Харьков: ХГЭУ, 1997. – 268 с.
4. Пушкарь А.И., Потрашкова Л.В. Моделирование управления развитием предприятий на основе согласования интересов экономических субъектов // Экономическая кибернетика, №1-2, 2003. – С. 22-33.
5. Постон Т., Стюарт Й. Теория катастроф и ее приложения. – М.: Сов. энциклопедия, 1983. – 928 с.
6. Курдюмов С.П., Маленицкий Г.Г., Потапов А.В. Синергетика – новые направления. – М.: Знание, 1989. – 48 с.

## КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ

Шеховцов А.В., Славич В.П., Крючковский В.В.

**Введение.** В данной работе проведен при когнитивном подходе статистический анализ большого числа данных, являющихся определенными экономическими и социальными показателями уровня развития нашей страны, а именно индекса потребительских цен (или индекса инфляции) и количества граждан, которые обратились в государственные службы занятости в фиксированные даты за период с 2000 по 2004г.г.

Для установления функциональных зависимостей между переменными были использованы методы математической статистики, в частности, регрессионный анализ. Построенные зависимости были применены для прогнозирования последующих значений данных для 2005г., а для проверки адекватности моделей полученные предсказанные значения были сравнены со значениями, взятыми из источника за соответствующий период. После чего, новые данные были внесены в модели для переоценки коэффициентов и прогнозирования значений уже для текущего 2006г.

**Основной материал.** В качестве источника числовых данных были использованы значения, опубликованные в разделах «У дзеркалі статистики» газеты «Урядовий кур'єр» за период с января 2000 г. по декабрь 2004 г.[2]. Для анализа, построения зависимостей и прогнозирования была использована среда STATISTICA. Окно электронной таблицы с начальными данными приведено на рис.1.

1	2	3	4
Дата	Индекс инфляцї, р	Кількість громадян, що звернулися до державних служб зайнятості, к	Кількість місяців, м
1 Jan-2000	104,6	127,3	1
2 Feb-2000	103,3	122	2
3 Mar-2000	102	122,5	3
4 Apr-2000	101,7	118,8	4
5 May-2000	102,1	106,5	5
6 Jun-2000	103,7	137,0	6
7 Jul-2000	99,9	127,4	7
8 Aug-2000	100	138,3	8
9 Sep-2000	102,6	151,8	9
10 Oct-2000	101,4	161,4	10
11 Nov-2000	100,4	141,1	11
12 Dec-2000	101,6	156,7	12
13 Jan-2001	101,5	171,4	13
14 Feb-2001	100,6	150,4	14
15 Mar-2001	100,6	158,2	15
16 Apr-2001	101,5	125,4	16
17 May-2001	100,4	116,2	17
18 Jun-2001	100,6	147,2	18
19 Jul-2001	98,3	145,3	19
20 Aug-2001	99,8	145,5	20
21 Sep-2001	100,4	145,8	21
22 Oct-2001	100,2	146	22
23 Nov-2001	100,5	146,2	23
24 Dec-2001	101,6	147,8	24
25 Jan-2002	101	135,2	25
26 Feb-2002	99,6	130,1	26
27 Mar-2002	99,3	140,1	27
28 Apr-2002	101,4	140,8	28

Рис.1 Исходный файл данными со значениями переменных

В первом столбце содержится переменная Дата, во втором – Индекс инфляции (в процентах), в третьем Количество граждан (которые обратились в государственные службы занятости, в тыс.), в четвертом – Количество месяцев (является промежуточной переменной, введенной для простоты расчетов, и определяется как количество месяцев, начиная с января 2000г.).

Обозначим через  $m$  переменную, стоящую в четвертом столбце, через  $p$  – во втором и через  $k$  – в третьем. Тогда после применения методов регрессионного анализа получаем следующие две модели экспоненциальных зависимостей:

$$p = 101,2401 \cdot e^{-0,0001 \cdot m},$$

$$k = 133,0998 \cdot e^{0,0021 \cdot m}.$$

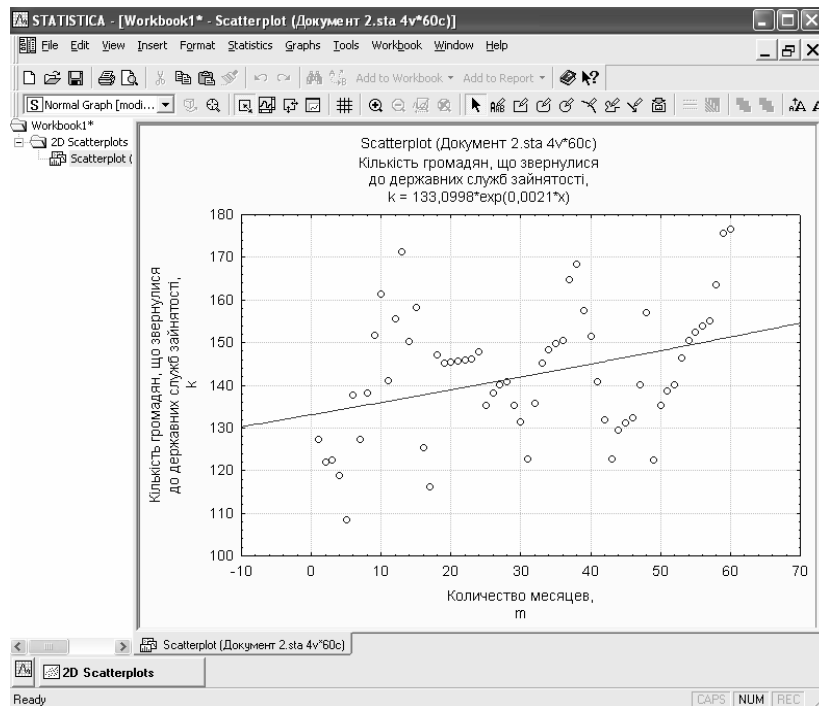
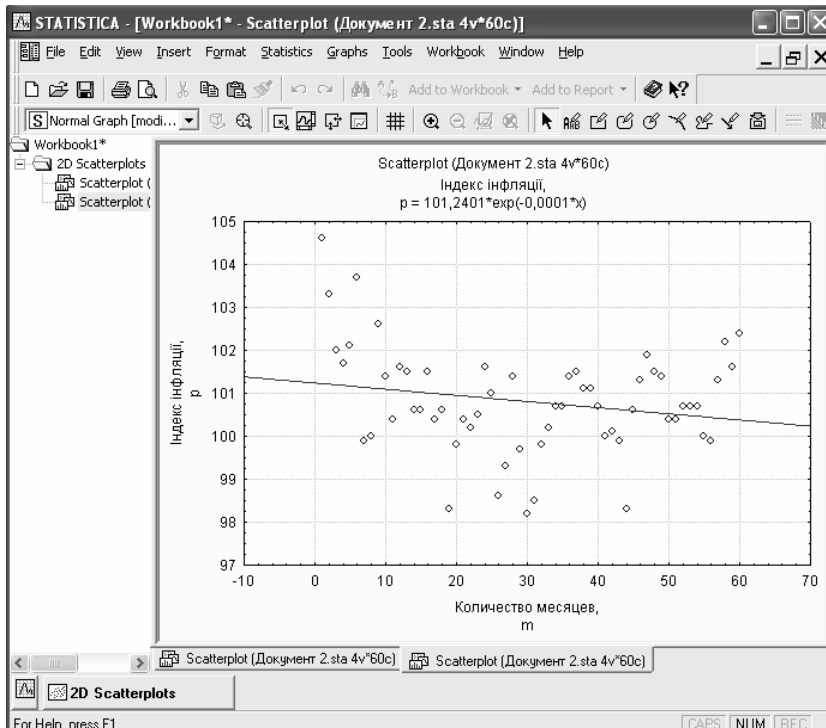


Рис. 2 Графики зависимостей





Следующим шагом является применение полученных моделей для прогнозирования значений для последующих месяцев с 61 по 72 и сравнение полученных данных со значениями, взятыми из источника [2] за период с января по декабрь 2005г. Результаты сравнений показаны на рис.4.

Результаты сравнения индекса потребительских цен за 2005г.

	1	2	3	4	5
	Дата	Месяц	Предсказанные моделью значения	Значения, взятые из источника	Остатки
1	Jan-2005	61	100,624415	101,7	-1,07558
2	Feb-2005	62	100,614353	101	-0,38565
3	Mar-2005	63	100,604292	101,6	-0,99571
4	Apr-2005	64	100,594232	100,7	-0,10577
5	May-2005	65	100,584173	100,6	-0,01583
6	Jun-2005	66	100,574116	100,6	-0,02588
7	Jul-2005	67	100,564059	100,3	0,264059
8	Aug-2005	68	100,554003	100	0,554003
9	Sep-2005	69	100,543948	100,4	0,143948
10	Oct-2005	70	100,533894	100,9	-0,36611
11	Nov-2005	71	100,523841	101,2	-0,67616
12	Dec-2005	72	100,513789	100,9	-0,38621

Результаты сравнения количества граждан, которые обратились в государственные службы занятости, за 2005г.

	1	2	3	4	5
	Дата	Месяц	Предсказанные моделью значения	Значения, взятые из источника	Остатки
1	Jan-2005	61	151,290106	155,2	-3,90989
2	Feb-2005	62	151,608149	162,9	-11,2919
3	Mar-2005	63	151,926886	170	-18,0731
4	Apr-2005	64	152,246242	157,8	-5,55376
5	May-2005	65	152,566295	136	16,56629
6	Jun-2005	66	152,887021	126,6	26,28702
7	Jul-2005	67	153,208421	145,6	7,608421
8	Aug-2005	68	153,530497	139,2	14,3305
9	Sep-2005	69	153,85325	152,9	0,95325
10	Oct-2005	70	154,176681	163,7	-9,52332
11	Nov-2005	71	154,500792	161,2	-6,69921
12	Dec-2005	72	154,825585	160,5	-5,67442

Рис.4 Окна результатов сравнения предсказанных значений с практическими

Просматривая значения стоящие в последних столбцах и анализируя остатки моделей, можно сделать вывод, что обе регрессии ведут себя адекватно практическим результатам.

Окончательным этапом является добавление в модели опубликованных значений за 2005г. для переопределения коэффициентов и прогнозирования данных для текущего 2006г. Новые функциональные зависимости имеют вид:

$$p = 101,108 \cdot e^{-8,2304 E-5 \cdot m},$$

$$k = 133,4436 \cdot e^{0,002 \cdot m}.$$

Результаты прогноза значений зависимых переменных для 2006г. представлены на рис.5 в третьем и четвертом столбцах таблицы.

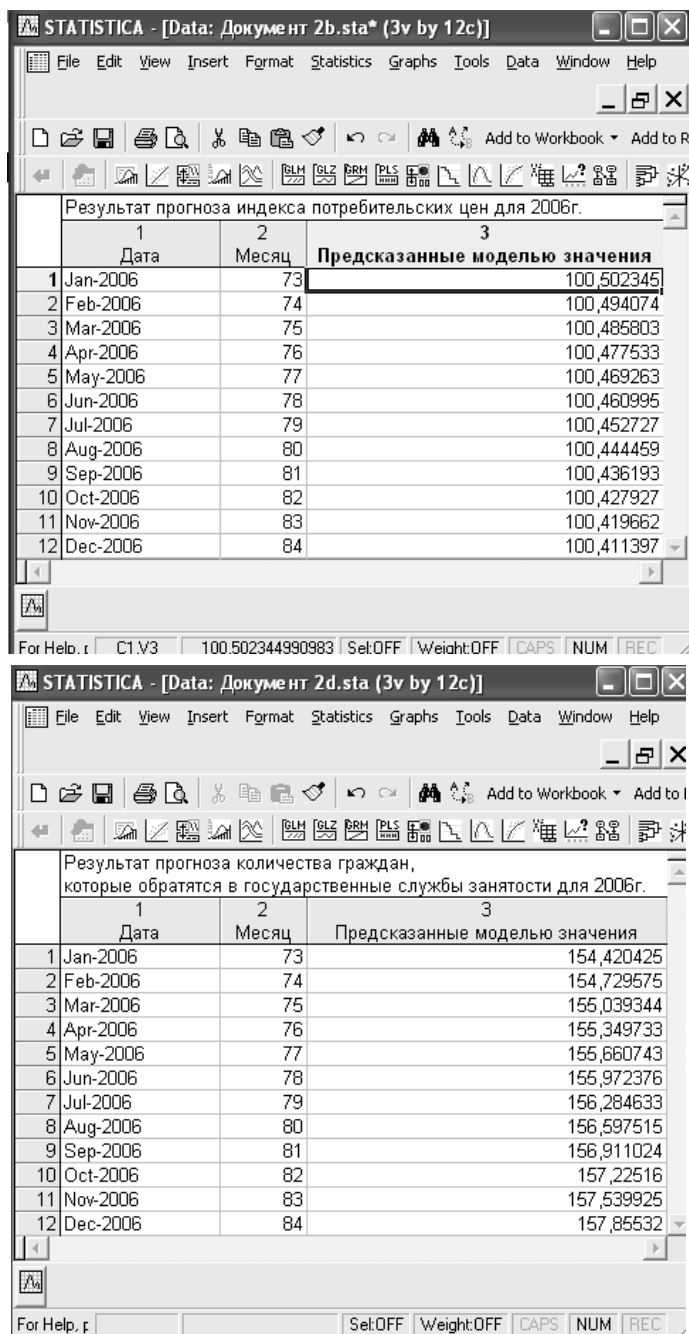


Рис. 5 Окна результатов прогноза значений переменных для 2006г.

**Заключение.** Таким образом, построены регрессионные модели, отображающие временные зависимости изменений индекса потребительских цен и количества граждан, которые обратились в государственные службы занятости, и на основании полученных функциональных зависимостей сделаны прогнозы для данных показателей на 2006г.

On basis of the analysis of data from 2000-2005 the regression models of parameters of the inflation coefficient and the quantity jobless citizens giving prognosing values of these parameters for 2006 year is constructed.

1. В.П. Боровиков “Популярное введение в систему STATISTICA”. М.: “Компьютер Пресс”, 1998.
2. „Урядовий кур’єр”, №1, 2000– №244, 2005.
3. Кулинич А.А. Когнитивная система поддержки принятия решений «Канва»// Программные продукты и системы. №3, 2002 г.

## РЕФЕРАТЫ

**Передерій В.І., Касап А.М.** Математична модель та алгоритм автоматизації розрахунку параметрів комп'ютеризованих систем працюючих у реальному часі. – С. 6 – 10.

Розроблена математична модель та алгоритм автоматизації, за допомогою якого визначаються динамічні характеристики та параметри комп'ютеризованих систем, працюючих у реальному часі.

**Китаев А.В., Сушич Е.Ф.** Расчет погрешностей измерительных трансформаторов. – С. 11 – 15.

В работе предлагается новая методика определения погрешностей измерительных трансформаторов тока и напряжения, основанная на использовании основных уравнений четырехполюсника. Такой подход исключает замысловатость в изложении материала, придает ему строгость, логичность и лаконичность. Получающиеся при этом расчетные соотношения просты, компактны, удобны в расчетной практике и абсолютно корректны.

**Клименко А.К.** Об упрощенном численном конструировании обратной модели динамического объекта. – С. 16 – 24.

Рассматриваются вопросы конструирования обратных моделей линейных динамических объектов, которые являются односвязными, описываются уравнениями произвольного порядка и /или обладают чистым временным запаздыванием. Задачи решаются на средствах дискретной вычислительной техники с использованием компьютерной алгебры.

**Козуб Н.А., Манойленко Е.С., Хомченко А.Н.** Температурный тест для модифицированных базисов бикубической интерполяции. – С. 25 – 30.

Представлены новые модели бикубической интерполяции. Для тестирования вычислительных свойств моделей используется взвешенное усреднение граничных температур на квадратной пластине.

**Николаенко Ю.И., Моисеенко С.В.** Моделирование гармонического полиномиального базиса гексагона. – С. 31 – 34.

В работе продемонстрировано построение гармонического полиномиального базиса гексагонального элемента с 6-тью узлами в вершинах с помощью алгебраического метода. Проанализированы основные свойства полученного базиса.

**Тищенко И.А., Лубяный В.З.** Математическое моделирование вокодера для определения оптимальной формы импульса сигнала возбуждения. – С. 35 – 38.

Актуальной задачей компьютерной телефонии является хранение телефонных переговоров. С целью экономии объема памяти при хранении речи используется её кодирование в виде параметров. С помощью математического моделирования обработки реального речевого сигнала системой сжатия речи определена оптимальная форма импульса возбуждения основного тона для вокодера на основе лестничного фильтра. Было показано, что оптимальная форма импульса возбуждения для различных гласных практически совпадает и может быть аппроксимирована трапециидальным импульсом.

**Бабак В.П., Пономаренко А.В.** Локализация места положения сквозных дефектов по сигналам акустической эмиссии. – С. 39 – 46.

Приведены результаты исследований по использованию акустической эмиссии при определении места положения сквозных дефектов в продуктопроводах работающих под давлением. Показано, что определение временной задержки прибытия сигналов на датчи-

ки антенны возможно с использованием параметров основного всплеска взаимной корреляционной функции: пиковой амплитуды, центра тяжести по площади и центра тяжести по энергии. Рассмотрены результаты статистической обработки данных при имитации источника излучения. Показано, что наименьшая ошибка определения места положения источника излучения возникает при использовании центра тяжести по энергии.

**Бражник Д.А.** Управление совмещением изображения объекта в сцене и эталонного изображения. – С. 47 – 52.

В статье рассмотрены вопросы построения критерия максимального отклонения, предназначенного для оценки качества совмещения образа и эталонного изображения, имеющего достаточно высокую скорость сходимости и хорошие показатели чувствительности, при потенциальной возможности разделения ошибок, связанных с изображением и моделью. Также показано, что этот критерий имеет меньшие требования к вычислительным способностям системы распознавания образов, чем обычный корреляционный критерий.

**Литвиненко В.И.** Синтез радиально-базисных сетей для решения задачи дистанционного определения концентрации хлорофилла. – С. 53 – 65.

В статье рассматриваются вопросы синтеза радиально-базисной нейронной сети с помощью алгоритмов клонального отбора и иммунной сети для решения задачи дистанционного определения концентрации хлорофилла. Проведены экспериментальные исследования использования различных типов радиально-базисных функций и функций активации. Показано, что увеличение максимального количества допустимых функций ведет к повышению точности и адекватности синтезируемой модели нейронной сети.

**Полгорак В.П., Дорогой Я.Ю.** Система распознавания образов на базе нечеткого нейронного классификатора. – С. 66 – 74.

В работе рассмотрено применение теории нечетких множеств для осуществления процесса распознавания образов на примере идентификации человека. Основное внимание уделено алгоритмическим особенностям реализации функций распознавания с использованием нечетких операций.

**Полякова М.В., Крылов В.Н.** Обобщенные масштабные функции с компактным носителем в задаче сегментации изображений упорядоченных текстур. – С. 75 – 84.

Определены обобщенные масштабные функции с компактным носителем. Разработана модель обработки изображений на основе сигнально-семантического преобразования с последовательностью локально-интегрируемых функций, аппроксимирующих обобщенную функцию.

**Ходаков В.Е., Жарикова М.В., Ляшенко Е.Н.** Методы и алгоритмы визуализации пространственных данных на примере моделирования распространения лесных пожаров. – С. 85 – 92.

В статье предлагается описание методов и алгоритмов, предназначенных для визуализации пространственных данных. При разработке приведенных в статье методов были использованы новые геоинформационные технологии.

**Мазурок Т.Л., Тодорцев Ю.К.** Актуальные направления интеллектуализации системы управления процессом обучения. – С. 93 – 97.

В статье определены некоторые существенные противоречия, присущие автоматизированным системам обучения. Рассмотрены действующие схемы управления и предложена схема, содержащая блок интеллектуальной поддержки системы управления обуче-

нием. Предложено интеллектуализацию реализовать путём последовательного использования модели ассоциативного мышления и логического вывода.

**Ускач А.Ф., Становский А.Л., Носов П.С.** Разработка модели автоматизированной системы управления учебным процессом. – С. 98 – 99.

В статье рассмотрен пример функционирования подсистемы «Расписание», которая позволяет не только составлять расписание по исходным данным, а и анализировать текущую информацию и принимать решение об изменении своего стационарного состояния.

**Рожков С.О., Кузьміна Т.О., Валько П.М.** Інформаційна база як основа для створення асортименту лляних виробів. – С. 100 – 107.

Показано метод обробки цифрових зображень волокон льону на основі локальних контрастів для створення бази даних, у якому можливо визначити структурні характеристики волокон у середовищі Matlab.

**Батурінець Є. В., Пасенченко Ю. А.** Управління матеріальними запасами з обмеженнями на складські приміщення. – С. 108 – 110.

В статті вивчається задача управління запасами широкої номенклатури при наявності обмежень на складські приміщення та створенні страхових резервів.

**Ладієва Л.Р., Жулинський О.А.** Оптимізація установки контактної мембранної дистиляції. – С. 111 – 114.

Сформульований критерій безумовної статичної оптимізації установки процесу КМД, що полягає у мінімізації питомої собівартості процесу переробки. Розроблена методика розрахунку оптимальних технологічних параметрів установки процесу КМД. Чисельний аналіз показав існування чітко вираженого екстремуму функції цілі від швидкості подачі розчину. Для стадії проектування проведена оптимізація установки процесу КМД за основним конструктивним параметром – товщиною мембрани.

**Стопакевич А.А.** Новые соотношения для синтеза цифровых оптимальных одномерных систем управления для объектов с запаздыванием. – С. 115 – 117.

Предложена методика расчета оптимальных цифровых систем управления, позволяющая существенно быстрее и точнее произвести расчет параметров регулятора (матрицы регулятора и наблюдателя), причем расчет для матриц объекта любого порядка можно произвести практически без компьютера. Показано, что параметры оптимального регулятора состояния совершенно не зависят от запаздывания и определяются исключительно постоянной времени объекта и периодом дискретности. Запаздывание определяет лишь размерность матриц регулятора и наблюдателя.

**Тарасюк В.П., Алдохіна А.С.** Основні положення методики побудови оптимального розкладу управління обладнанням паралельних технологічних процесів на основі експертних оцінок. – С. 118 – 126.

У статті розглянуті аспекти методу побудови оптимального розкладу функціонування кондитерських ліній на основі експертних оцінок. Пропонований метод заснований на розвиненій структурі моделі консультанта, що включає модуль придбання знань, механізм логічних висновків, блок ухвалення рішень на основі експертних оцінок. Встановлено, що для побудови моделі планування доцільне використовувати статичну і динамічну модель знань з алгоритмом функціонування, заснованим на алгоритмах з правилом вірогідності установки пріоритетів.

**Крючковский В.В., Шеховцов А.В., Мельник А.Н., Цивильский Ф.Н.** Оптимизация нестационарных задач комбинаторного типа с помощью генетических алгоритмов. – С. 127 – 131.

В данной работе рассматриваются различные модификации генетического алгоритма для адаптации в нестационарных средах. В качестве модели рассматриваются нестационарные задачи дискретной оптимизации. Исследуются алгоритмы, обладающие адаптивными свойствами и не требующими перезапуска при изменении условий задачи.

**Лебеденко Ю.О.** Оптимальне управління безпосереднім перетворювачем частоти за критерієм мінімізації негативного впливу на живильну мережу. – С. 132 – 135.

Стаття присвячена питанням зменшення негативного впливу перетворювача частоти на живильну мережу. Розроблено алгоритм оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти.

**Ковриго Ю.М., Фоменко Б.В., Поліщук І.А.** Адаптивна система регулювання витрати палива. – С. 136 – 140.

В статті розглянуті основні фактори, що впливають на процес згоряння палива, які враховуються при побудові САУ теплового навантаження. За рахунок введення контуру адаптації, розроблена САУ самостійно настроюється при зміні параметрів об'єкту управління.

**Носов П.С.** Принятие адаптивной стратегии при формировании траектории обучения в пространстве. – С. 141 – 144.

Предложен метод пространственного формирования траектории учебной деятельности студента, который позволяет не только получить числовое значение знаний-умений, но и принимать адаптивные решения, определить логику мышления студента в предметной области.

**Федоровский К.Ю., Лунев А.А.** Теплоотдача погружного пластинчатого теплообменника системы охлаждения энергоустановок морских технических средств. – С. 145 – 148.

Исследована теплоотдача пластинчатого теплообменника погруженного в неподвижную забортную воду, выявлено влияние различных конструктивных и теплотехнических факторов, определено соответствующее уравнение подобия.

**Ісаєв Е.А., Наговський Д.А., Чернецька І.Е.** До вибору факторів, що характеризують окомкування тонкоподрібнених залізорудних матеріалів. – С. 149 – 152.

Стаття присвячена питанням визначення впливу складу шихти на вихідні параметри кінцевого продукту окомкування.

**Стадниченко В.Н.** Исследование влияния изменения эксплуатационных нагрузок на свойства металлокерамических слоёв полученных с использованием трибовосстанавливающих составов. – С. 153 – 159.

Получено экспериментальное подтверждение выводов об уникальных способностях металлокерамических покрытий, сделанных на основе металлофизических и теоретических исследований их строения, свойств и реологических особенностей «работы» при трении.

**Хобин В.А. Бабилов А.Ю.** Системы экстремального управления молотковыми дробилками с функцией гарантированного соблюдения тепловых режимов их электродвигателей. – С. 160 – 165.

Рассматриваются вопросы повышения энергетической эффективности работы молотковых дробилок в условиях изменений в широких диапазонах характеристик сырья, свойств рабочих органов, близости наиболее эффективных режимов к предельно-допустимым по перегреву. Задача решается за счет введения в САУ функций оптимизации и гарантирования и организации специального взаимодействия между ними.

**Тодорцев Ю.К., Бундюк А.М., Ищенко К.А.** Реінжинірінг бізнес-процесів та ефективність бізнесу. – С. 166 – 168.

В статті показано, як реінжинірінг дозволяє оптимізувати основні бізнес-процеси виробничого підприємства використовуючи метод структурного аналізу.

**Власенко Н.А.** Ринок соків в Україні та одна з альтернатив підвищення конкурентоспроможності продукції. – С. 169 – 173.

В роботі розглянут ринок натуральних соків в Україні і показано, що попит на цю продукцію постійно зростає. Велика частка змін відбувається за рахунок нижнього цінового сегменту. Для підвищення конкурентоспроможності продукції необхідно використовувати інноваційні технології. В роботі доводиться доцільність використання ензимів при виготовленні соків, що сприяє поліпшенню техніко-економічних показників і росту конкурентоспроможності підприємства.

**Соколова Н.А., Петров К.Э., Ходаков В.Е.** Необходимые условия развития объектов хозяйственной деятельности. – С. 174 – 181.

Выявлены необходимые условия развития ОХД – материальные, трудовые и управленческие ресурсы. Самыми главными являются финансовые ресурсы. Для реализации управления необходимо определять величину ресурсов, которыми должен располагать ОХД в течении планового периода (фонд развития), основываясь на текущем состоянии ОХД и ретроспективном анализе его деятельности. Решение задачи управления устойчивым развитием предлагается вновь вводимой подсистемой управления развитием в составе АСУ ОХД.

**Шеховцов А.В., Славич В.П., Крючковский В.В.** Когнитивный анализ социально-экономических показателей. – С. 182 – 187.

На основании анализа данных за период январь 2000г. – декабрь 2005г. построены регрессионные модели показателей индекса инфляции и количества обратившихся в службы занятости граждан, с помощью которых спрогнозированы значения этих показателей для 2006г.



## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Алдохина А.С.** - студентка каф. ЭТ Донецкого Национального технического университета.

**Бабак В.П.** - член - корреспондент НАН Украины, доктор технических наук, профессор, ректор Национального авиационного университета.

**Бабигов А.Ю.** - Одесский национальный политехнический университет.

**Батуринец Е. В.** - студент Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

**Бражник Д.А.** – старший преподаватель кафедры технической кибернетики, Херсонский национальный технический университет.

**Бундюк А.Н.** - кандидат техн. наук, профессор кафедры АТП, Одесский национальный политехнический университет.

**Валько П.М.** - аспирант кафедры «Переработка, стандартизация и сертификация сырья» Херсонского национального технического университета.

**Власенко Н.А.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры менеджмента и маркетинга Херсонского национального технического университета

**Дорогой Я.Ю.** - научный сотрудник, ассистент, Национальный технический университет Украины "Киевский политехнический институт".

**Жарикова М.В.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета

**Жулинский А.А.** - ведущий инженер ОАО «ИПП «ВНИПИТРАНСГАЗ».

**Ищенко К.А.** - Одесский национальный политехнический университет.

**Исаев Е.А.** - доктор техн. наук, профессор кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Касап А.Н.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Китаев А.В.** - кандидат техн. наук, профессор кафедры энергетики и электротехники Херсонского национального технического университета.

**Клименко А.К.** - кандидат техн. наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Бердянского госпедуниверситета.

**Ковриго Ю.М.** - кандидат техн. наук, профессор, заведующий кафедрой автоматизации теплоэнергетических процессов Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

**Козуб Н.А.** - старший преподаватель кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Крылов В.Н.** - доктор техн. наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий Одесского национального политехнического университета.

**Крючковский В.В.** - кандидат техн. наук, профессор, декан факультета международных экономических отношений Херсонского национального технического университета.

**Кузьмина Т.О.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры «Переработка, стандартизация и сертификация сырья» Херсонского национального технического университета.

**Ладиева Л.Р.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры “Автоматизация химических производств” инженерно - химического факультета Национального технического университета “Киевский политехнический институт”.

**Лебеденко Ю.А.** - старший преподаватель кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета

**Литвиненко В.И.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Лубяный В.З.** - доктор техн. наук, профессор, заведующий. кафедрой электронного машиностроения Херсонского национального технического университета.

**Лунев А.А.** - аспирант кафедры энергоустановок морских судов и сооружений Севастопольского национального технического университета

**Ляшенко Е.Н.** - аспирант кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Мазурок Т.Л.** - Одесский национальный политехнический университет.

**Манойленко Е.С.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского филиала Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова.

**Мельник А.Н.** - аспирант кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Моисеенко С.В.** - аспирант, кафедра ПМ и ММ Херсонского национального технического университета.

**Наговский Д.А.** - аспирант, кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Николаенко Ю.И.** - учитель физики ФТЛ при ХНТУ и ДНУ

**Носов П.С.** - Одесский национальный политехнический университет.

**Пасенченко Ю. А.** - кандидат физ. - матем. наук, доцент кафедры математического моделирования экономических систем Национального технического университета “Киевский политехнический институт”, факультет менеджмента и маркетинга.

**Передерий В.И.** - кандидат техн. наук, доцент, Херсонский национальный технический университет.

**Петров К.Э.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры прикладной математики Харьковского национального университета внутренних дел.

**Полищук И.А.** - ассистент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

**Полторац В.П.** - кандидат техн. наук, доцент Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт».

**Полякова М.В.** - доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе Института бизнеса, экономики и информационных технологий Одесского национального политехнического университета, кандидат техн. наук.

**Пономаренко А.В.** - Национальный авиационный университет.

**Рожков С.А.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Славич В.П.** - старший преподаватель Херсонского факультета Харьковского национального автомобильно - дорожного университета при Херсонском национальном техническом университете.

**Соколова Н.А.** - кандидат техн. наук, профессор, зав. каф. экономической кибернетики, декан факультета кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Стадниченко В.Н.** - докторант кафедры информационных технологий Института Информационно - диагностических систем, Национального авиационного университета, заместитель декана факультета информационных технологий, Института информационно - диагностических систем Национального авиационного университета.

**Становский А.Л.** - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового и химического машиностроения Одесского национального политехнического университета.

**Стопакевич А.А.** - Энергетический институт Одесского национального политехнического университета.

**Сушич Е.Ф.** - студентка 5 курса кафедры электроснабжения, Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт», институт энерго-сбережения и энергоменеджмента.

**Тарасюк В.П.** - кандидат техн. наук, доцент каф. ЭТ Донецкого Национального технического университета.

**Тищенко И.А.** - аспирант Херсонского национального технического университета.

**Тодорцев Ю.К.** - заведующий кафедрой «Автоматизации теплоэнергетических процессов» Одесского национального политехнического университета, член Украинской Ассоциации по автоматическому регулированию, докт. техн. наук, профессор.

**Ускач А.Ф.** - аспирант Одесского национального политехнического университета.

**Федоровский К.Ю.** - доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой энерго-установок морских судов и сооружений Севастопольского национального технического университета.

**Фоменко Б.В.** - аспирант кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт»

**Хобин В.А.** - доктор техн. наук, профессор кафедры автоматизации производственных процессов Одесской национальной академии пищевых технологий.

**Ходаков В.Е.** - заслуженный деятель науки и техники, доктор техн. наук, профессор, заведующий кафедрой информационных технологий Херсонского национального технического университета,

**Хомченко А.Н.** - заслуженный деятель науки и техники, доктор физико - математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета.

**Цивильский Ф.Н.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Чернецкая И.Е.** - кандидат техн. наук, доцент кафедры «Информационная вычислительная техника» Курского государственного технического университета.

**Шеховцов А.В.** - кандидат техн. наук, профессор кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

# 14 МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

АВТОМАТИКА – 2007

СЕВАСТОПОЛЬ

10 – 14 СЕНТЯБРЯ, 2007

Информируем Вас, что с 10 по 14 сентября 2007 г. в городе Севастополе будет проведена 14-я Международная конференция по автоматическому управлению.

Организаторы приглашают ученых, инженеров, специалистов, экспертов, бизнесменов принять участие в конференции.

Детальную информацию можно получить на web- сайте конференции:  
<http://www.sinp.com.ua>

## ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Национальная академия наук Украины  
Министерство образования и науки Украины  
Министерство топлива и энергетики Украины  
Украинская Ассоциация по автоматическому управлению  
Институт космических исследований НАН и НКА Украины  
Севастопольский национальный университет ядерной энергии и промышленности  
Институт кибернетики им. Глушкова НАН Украины  
Морской гидрофизический институт НАН Украины  
Севастопольский Национальный технический университет  
Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем  
НАН Украины и Министерства образования и науки  
Российский национальный комитет по автоматическому управлению  
Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова  
Белорусская ассоциация управления и менеджмента  
Институт инженеров по электротехнике и электронике (IEEE), украинская секция  
Национальный информационный центр по сотрудничеству с ЕС в науке и технологиях

## ПРОБЛЕМАТИКА (СЕКЦИИ)

1. Математические проблемы управления, оптимизации и теории игр
2. Управление и идентификация в условиях неопределенности
3. Автоматическое управление в технических системах
4. Управление аэрокосмическими и другими подвижными объектами
5. Управление в электроэнергетических системах, энергосбережении и в системах с нетрадиционными источниками энергии
6. Управление в социальных и экономических системах
7. Управление в системах мониторинга окружающей среды
8. Прогрессивные информационные технологии и интеллектуальное управление
9. Подготовка кадров в области управления и автоматизации

## АДРЕС ОРГКОМИТЕТА КОНФЕРЕНЦИИ:

99033, г. Севастополь ул. Курчатова 7, СНУЯЭП,  
Институт электротехники и энергосбережения  
Наш сайт <http://www.sinp.com.ua>, E-mail: [electro@sinp.com.ua](mailto:electro@sinp.com.ua)

# 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 raw (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  
ХНТУ, Редакция журнала ААЭК  
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, ХНТУ, Редакция журнала ААЭК  
E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

Справки по телефонам: (0552) 552968, 326937