

ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

**АВТОМАТИКА**

**АВТОМАТИЗАЦИЯ**

**ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ**

**КОМПЛЕКСЫ И**

**СИСТЕМЫ**

**№ 1(21) 2008**

**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(21)**

**ХЕРСОН**

**2008**

*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)

**ОРГАНИЗАЦИИ - ОСНОВАТЕЛИ ЖУРНАЛА**

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

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

Свидетельство о регистрации КВ № 2997 от 10.12.1997 г.

Офсетная печать

Цена договорная

© Херсонский национальный технический университет

# СОДЕРЖАНИЕ

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Степанкова Г.А., Баклан І.В.</u> Побудова гібридних моделей на основі прихованих марківських моделей та нейронних мереж.....	5
<u>Маркута О.В., Мысак В.Ф.</u> Программная реализация и исследование особенностей метода группового учета аргументов.....	12
<u>Славич В.П.</u> Модель автоматизованої системи управління потоками транспортних засобів .....	20
<u>Хомченко А.Н., Козуб Н.А.</u> Геометрическое моделирование дискретных элементов с криволинейными границами.....	24
<u>Chizhenkova R.A.</u> Mathematical Aspects of Bibliometrical Analysis of Neurophysiological Investigations of Action of Non-ionized Radiation (Medline-Internet) .....	28
<u>Шелестов А.Ю</u> Имитационная модель взаимодействия Grid-узлов с очередью доступа к общей памяти.....	32
<u>Китаев А.И., Глухова В.И.</u> Анализ работы асинхронного двигателя по данным каталога .....	40

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<u>Забывовская О.И.</u> Построение функции полезности по экспериментальным данным.....	49
<u>Брайловський В.В., Іванчук М.М., Ватаманюк П.П., Танасюк В.С.</u> Керований детектор імпульсного ЯКР спектрометра.....	53
<u>Ковриго Ю.М., Мисак В.Ф., Мовчан А.П., Любицкий С.В.</u> Автоматизована система діагностики генераторів електростанцій .....	57
<u>Литвиненко В.И.</u> Прогнозирования нестационарных временных рядов с помощью синтезируемых нечетких нейронных сетей.....	64
<u>Полякова М.В.</u> Определение границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов.....	72
<u>Шеховцов А.В.</u> Інформаційний аспект: розпізнавання образів індивідуума .....	82
<u>Терновая Т.И., Сумская О.П., Слободянюк И.И., Булка Т.И.</u> Контроль качества тканей специального назначения с помощью автоматических систем.....	88

## ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Абрамов Г.С., Иванов П.И., Купавский И.С., Павленко И.Г.</u> Разработка навигационного комплекса для автоматического наведения на цель системы груз-управляемый парашют .....	97
<u>Кравчук А. Ф., Ладанюк А.П., Прокопенко Ю.В.</u> Алгоритм ситуационного управления процессом кристаллизации сахара в вакуум-аппарате периодического действия с механическим циркулятором.....	105

<b><u>Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Сушенцев О.О.</u></b> Результати розробки методу еквівалентування функціональних особливостей fuzzy-контролерів .....	111
<b><u>Потапенко Е.М., Казурова А.Е.</u></b> Высокоточное управление упругой электромеханической системой с нелинейным трением .....	118
<b><u>Соломаха А.В.</u></b> Разработка метода упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых выходными силовыми фильтрами .....	125
<b><u>Гульовата Х.Г., Цмоць І.Г., Пелешко Д.Д.</u></b> Архітектура автоматизованої системи моніторингу і дослідження характеристик мінеральних вод .....	130

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

<b><u>Луцька Н.М., Засць Н.А., Ладанюк А.П.</u></b> Синтез та порівняння багатовимірних регуляторів для колонної дифузійної установки цукрового заводу .....	138
<b><u>Бакшанська Т.Д., Рижиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К.</u></b> Мінімізація токсичності продуктів згорання та втрат теплоти у топкових пристроях з рециркуляцією продуктів згорання на основі узагальненого критерію оптимізації .....	143

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

<b><u>Клименко А.К.</u></b> Об обеспечении сходимости процесса адаптации посредством воспроизведения измерительной программы в обратном времени .....	150
<b><u>Малахов В.П., Ситников В.С., Яковлева И.Д.</u></b> Адаптивная перестройка цифрового фильтра в системе автоматического управления .....	158

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

<b><u>Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О.</u></b> Програмно математичний апарат керування виконавчим органом багатокординатних верстатів нових компоновок .....	162
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

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

<b><u>Крючковський В.В.</u></b> Прийняття рішень при бюджетному інвестуванні на основі моделі аналізу вигід і витрат .....	170
<b><u>Рогальський Ф.Б.</u></b> Информационная поддержка принятия решений при управлении социотехническими системами .....	174
<b><u>Ходаков В.Е., Чёрный С.Г., Мартыновец С.Н.</u></b> Формирование экспертных оценок при решении задач размещения производств .....	184

<b><u>РЕФЕРАТЫ</u></b> .....	190
------------------------------	-----

<b><u>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</u></b> .....	194
-----------------------------------------	-----

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.8:004.032.26

ПОБУДОВА ГІБРИДНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ ПРИХОВАНИХ  
МАРКІВСЬКИХ МОДЕЛЕЙ ТА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

Степанкова Г.А., Баклан І.В.

Існування двох підходів:

- приховані марківські моделі (ПММ) (Hidden Markov Model (HMM)),
- штучні нейронні мережі (ШНМ),

взаємно доповнюючих і компенсуючих властиві їм недоліки, призводить до ідеї комбінувати ці структури в рамках однієї нової моделі, яку можна визначити як гібридну ПММ/ШНМ модель. У 90-х рр. були спроби досліджувати такі моделі [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Гібридна модель дозволяє ефективно об'єднати переваги марківських моделей та нейронних мереж, тобто ПММ забезпечує можливість моделювання довготривалих залежностей, а ШНМ забезпечує непараметричну універсальну апроксимацію, оцінку вірогідності, алгоритми дискримінантного навчання, зменшення числа параметрів для оцінки, які зазвичай потрібні для стандартних ПММ. Результатом використання таких гібридних структур з'явилося значне підвищення якості розпізнавання в порівнянні із стандартними методами.

**Опис гібридної моделі багат шарового перцептрону і ПММ**

При використанні ПММ у формулі (1)

$$P(q_1^n, X_1^n | M, A) = \sum_{k=1}^K P(q_k^{n-1}, X_1^{n-1} | M, A) p(q_1^n, x_n | q_k^{n-1}, X_1^{n-1}, M, A), \quad (1)$$

де  $P(q_1^n, X_1^n | M, A)$  є вірогідністю того, що часткова послідовність спостережень  $X_1^n = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  була породжена моделлю, а у момент часу  $n$  спостерігався стан  $q_1^n = S_1$  і був згенерований вектор спостережень  $x_n$ , необхідно мати оцінку емісійної вірогідності  $p(x_n | q_1)$ , яка є вірогідністю спостереження вектора, при заданому гіпотетичному ПММ стані  $q_1$ . На початку 90-х рр. Боурлард та ін. [7, 8, 1, 5] запропонували використовувати багат шаровий перцептрон (БП) для оцінки вірогідності, яка є апостеріорною вірогідністю ПММ стані  $q_1$  при заданому спостережуваному векторі  $x_n$ . Цю вірогідність відповідно до правила Байеса, можна перерахувати в емісійну вірогідність.

Формально це виглядає таким чином. Хай  $q_k$  при  $k = 1, \dots, K$  – вихідне значення  $k$ -го нейрона вихідного шару перцептрона, тоді  $q_k$  можна пов'язати з дискретним ПММ станом  $S_k$ . Тепер, якщо об'єднати множину параметрів  $\Theta_{HMM}$ , визначену для ПММ з множиною параметрів БП  $\Theta_{MLP}$ , і використовувати для навчання послідовність векторів, розмінену в термінах станів, тобто у момент часу  $n$  вхідним вектором для БП є вектор  $x_n$  з міткою  $q_n = S_k$ . Тоді можна показати [7, 9, 10], що якщо:

- БП містить достатню кількість прихованих нейронів, щоб апроксимувати функцію відображення вхідного вектора у вихідний
- БП не “переучений” (“перенавчання” виражається в дуже детальній адаптації вагів до неістотних флуктуацій або нерегулярностям навчальних даних, що приводить до значних погрешностей при розпізнаванні)
- БП не знаходиться в локальному мінімумі, після процедури навчання,

то оптимальне значення виходу БП є розподілом вірогідності по дискретних ПММ станах, яке обумовлене вхідним вектором

$$g_k(x_n, \theta_{MLP}^{opt}) = p(S_k | \theta_{HMM}) \quad (2)$$

де  $\theta_{MLP}^{opt}$  – множина параметрів, отримана при навчанні БП (Multilayer Perceptron (MLP)).

Крім того, в [7] було описано просте розширення запропонованої моделі з метою використання контекстної інформації, тобто як вхід для перцептрона використовувати послідовність з  $2c + 1$  векторів  $X_{n-c}^{n+c} = \{x_{n-c}, \dots, x_n, \dots, x_{n+c}\}$ . Тоді (2) можна переписати

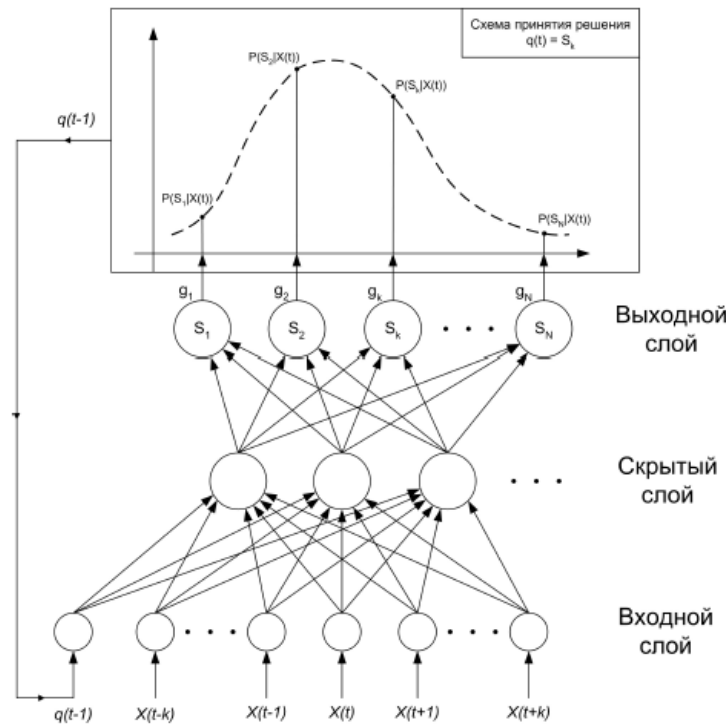
$$g_k(x_n, \theta_{MLP}^{opt}) = p(q_n = S_k | X_{n-c}^{n+c}, \theta_{HMM}) \quad \forall k = 1, \dots, K. \quad (3)$$

Таке удосконалення дає можливість враховувати кореляцію векторів, що дозволяє подолати обмеження, пов'язані із статистичною незалежністю векторів спостережень.

Крім того, в [7] запропоновано використовувати як вхідний параметр ПММ стан, обчислений на попередньому тимчасовому кроці:

$$g_k(x_n, \theta_{MLP}^{opt}) = p(q_k^n | q_k^{n-1}, \theta_{HMM}) \quad \forall k = 1, \dots, K. \quad (4)$$

Таким чином, в цій моделі використовується нейронна мережа із затримкою часу (Time-Delay Neural Network (TDNN)), і структура такої системи представлена на мал. 1.



Мал. 1 Оцінка вірогідності за допомогою TDNN мережі

Запропонована обчислювальна структура працює таким чином. У кожен момент часу  $n$  на вхідний шар БП подається послідовність векторів  $X_{n-c}^{n+c}$  і ПММ перебування на попередньому часовому кроці, при цьому на вихідному шарі формуватиметься розподіл вірогідності по поточному стану ПММ, обумовлене  $X_{n-c}^{n+c}$  і  $q_k^{n-1}$ .

Оскільки вихідний вектор БП є апроксимацією апостеріорної вірогідності, то  $g_k(x_n, \theta_{MLP}^{opt})$ , є оцінкою

$$p(q_k | x_n) = \frac{p(x_n | q_k) p(q_k)}{p(x_n)}, \quad (5)$$

яка неявно включає емісійну вірогідність  $p(x_n | q_k)$  і апіорну вірогідність ПММ стану  $p(q_k)$ . Оскільки вірогідність в (5) бере участь як мультиплікативний член, то це дає можливість змінювати апіорну вірогідність стану під час класифікації без перенавчання

персептрона, нормувати вихідну вірогідність персептрона залежно від використовуваного повчального корпусу даних. І тоді, щоб правдоподібність  $p(x_n|q_k)$  можна було використовувати як емісійну вірогідність для ПММ, необхідно вихід персептрона  $g_k(x_n)$  поділити на відносну частоту зустрічей стану  $S_k$  в навчальній вибірці, що в результаті дає нам оцінку виразу

$$\frac{p(x_n|q_k)}{p(x_n)} \quad (6)$$

При розпізнаванні масштабуючий член  $p(x_n)$  залишається постійним для всіх станів і не впливає на класифікацію.

**Опис гібридної моделі рекурентної мережі і ПММ.**

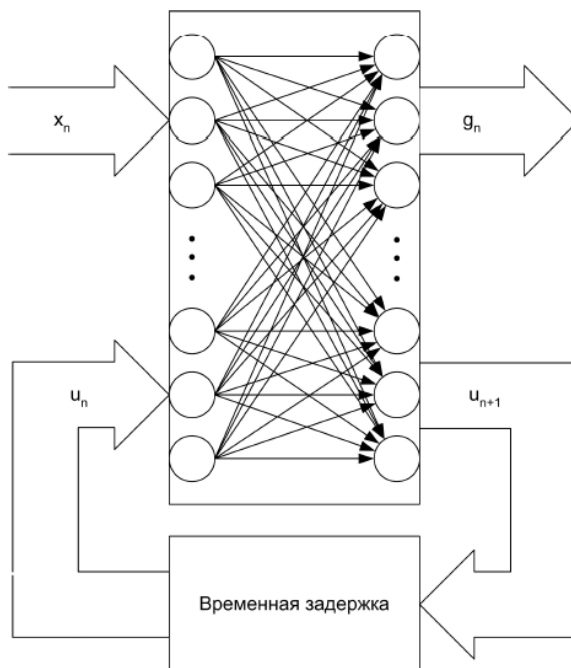
Аналогічна модель була запропонована Робінсоном і ін. [11, 12, 13, 14], які використовували рекурентну мережу замість TDNN мережі, також для оцінки емісійної вірогідності ПММ.

Автори запропонували в основних рівняннях для лінійних динамічних систем замінити лінійні матричні оператори на нелінійну мережу із зворотними зв'язками, і в результаті була отримана обчислювальна структура, приведена на малюнку 2. Поточний вектор  $x_n$  поступає на вхід мережі спільно з поточним вектором стану  $u_n$ . Ці вектори проходять через стандартну мережу без зворотних зв'язків, щоб отримати вихідний вектор  $g_n$  і наступний вектор стану  $u_{n+1}$ . Якщо визначити комбінований вхідний вектор як  $z_n$ , а матрицю вагів зв'язків мережі як  $W$  і  $V$ , тоді

$$z_n = \begin{bmatrix} 1 \\ x_n \\ u_n \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$g_n^k = \frac{\exp(W_k z_n)}{\sum_j \exp(W_j z_n)} \quad (8)$$

$$u_{n+1}^k = \frac{1}{1 + \exp(-V_k z_n)} \quad (9)$$



Мал. 2. Рекурентна нейронна мережа

Включення 1 в (7) дає можливість створити зсув для забезпечення нелінійності. Аналогічно моделі Боурларда з використанням TDNN мережі вихід рекурентної мережі є оцінкою апостеріорної вірогідності ПММ стану  $g_n^k$  у момент часу  $n$ .

$$g_t^n = P(q_t^n | X_1^n, u_q). \quad (10)$$

Теоретичні підстави для такої інтерпретації приведені в роботі [15].

При використанні рекурентної мережі для оцінки емісійної вірогідності в гібридній моделі можна отримати досить великий контекст, за рахунок використання вектора внутрішнього стану  $u_n$ .

При використанні ПММ робляться припущення про те, що спостереження статистично незалежні і марківський процес першого порядку, тобто

$$p(x_n | Q_1^n, X_1^{n-1}) = p(x_n | q_n^n), \quad (11)$$

де – послідовність ПММ станів в моменти часу  $t = 1, 2, \dots, n$ . Використання рекурентної мережі дозволяє скоротити число припущень, тобто

$$p(x_n | Q_1^n, X_1^{n-1}) = p(x_n | q_n, X_1^{n-1}), \quad (12)$$

що дозволяє враховувати контекст для локальної моделі спостережень. Тоді отримаємо

$$p(X_1^t | Q_1^t, M_t, A_t) = \prod_{i=1}^t p(x_i | X_1^{i-1}) \frac{P(q_i | x_i)}{P(q_i | X_1^{i-1})} \quad (13)$$

Оскільки співмножник  $p(x_i | X_1^{i-1})$  не залежить від послідовності фонів, то на етапі розпізнавання його можна ігнорувати. Оскільки рекурентна мережа використовується для оцінки  $P(q_i | x_i)$ , то необхідно обчислити член  $P(q_i | X_1^{i-1})$ , що залишився. Один з простих способів обчислення – це припустити, що поточний стан не залежить від спостережуваного контексту [16], тобто

$$P(q_i | X_1^{i-1}) = P(q_i), \quad (14)$$

де  $P(q_i)$  можна визначити як відносну частоту зустрічей стану  $q_i$  в навчальній вибірці, тобто отримуємо результат аналогічний моделі Боурларда.

### Навчання гібридної моделі

Навчання гібридної моделі полягає в оцінці параметрів як марківського ланцюга, так і вагів нейронної мережі. Поки не існує алгоритму, який би дозволив одночасно оцінити обидві множини параметрів і для ПММ, і для нейронної мережі. Крім того, оскільки для нейронної мережі використовується навчання “з вчителем”, то потрібен значний об’єм даних, розмічених вручну.

Боурлард запропонував ітераційну процедуру навчання, яка стартує з початкової розмітки навчальних даних. На цих даних відбувається навчання мережі. Далі спільно, використовуючи навчену мережу для оцінки емісійної вірогідності і алгоритм Вітербі, відбувається перерозмітка навчальних даних. На отриманій розмітці знову відбувається навчання мережі і ітерація повторюється. Початкова сегментація може бути отримана за допомогою стандартної ПММ або просто діленням послідовності спостережень на рівні сегменти, причому кожен сегмент повинен бути помічений відповідним ПММ станом. Аналогічний метод був запропонований в [2].

При використанні гібридних моделей з рекурентними мережами Т. Робінсон [16] запропонував варіант навчання з використанням алгоритму Вітербі для оцінки параметрів системи, який викладений нижче.

Параметри системи модифікуються, використовуючи алгоритм Вітербі для максимізації логарифма правдоподібності найбільш вірогідної послідовності станів для навчальних даних. Перший прохід алгоритму Вітербі робиться, щоб розмітити послідовність векторів параметрів в термінах ПММ станів. Потім параметри системи підстроюються, щоб збільшити правдоподібність послідовності векторів параметрів. Ця максимізація відбувається в два етапи:

1. максимізація емісійної вірогідності,
2. максимізація транзитивної вірогідності.



Емісійна вірогідність максимізується, використовуючи метод градієнтного спуску, а транзитивна вірогідність – переоцінкою моделей тривалості. Таким чином, навчальний цикл складається з наступних кроків:

*Крок 1.* Розстановка міток фонів на кожен фрейм навчальних даних. Ця початкова розмітка зазвичай виконується експертом вручну.

*Крок 2.* На основі ручної розмітки будується модель тривалості фонів і обчислюється апіорна вірогідність фону, яка використовується для перетворення виходу рекурентної мережі в оцінку правдоподібності.

*Крок 3.* Аналогічно на основі ручної розмітки проводиться навчання рекурентної мережі.

*Крок 4.* Використовуючи параметри, обчислені на кроці 2, і рекурентну мережу, навчену на кроці 3, виконується розмітка додаткових навчальних даних і перехід до кроку 2.

У експериментах [16] було встановлено, що для навчання досить чотирьох ітерацій.

#### **Тестування гібридних моделей**

Гібридні моделі використовувалися в досить великому числі систем. І показали добрі результати. Боурлард і колеги в період 1988-1994 рр. провели цілий ряд успішних експериментів по застосуванню гібридної моделі в системах розпізнавання мови [7]. Так, наприклад, в систему розпізнавання зливої мови DECIPHER [17], яка використовувалася для завдання управління ресурсами проекту DARPA. Система DECIPHER була дикторозалежною системою розпізнавання зливої мови побудовану на прихованих марківських моделях. Розмір словника складав 998 слів, з використанням моделі мови для пар слів, перплексія дорівнювала 60, а без моделі мови – дорівнювала 998. Крім того, використовувалася множина імовірнісних вимовних транскрипцій для слів, фонологічне і акустичне моделювання кросс-слов, контекстні залежні моделі фонів з множиною щільності.

У системі DECIPHER були використані як контекстнезалежні, так і контексто-залежні моделі. У першому випадку багатошаровий перцептрон був інтегрований в контекстну незалежну модель. Базова система мала 69 моделей фонів з одним розподілом емісійної вірогідності, кожне слово мало одну вимовну транскрипцію. Моделі фонів були ПММ, що складається з двох або трьох станів з параметричним скріпленням щільності вірогідності. Цей гібрид порівнювався із ПММ системою DECIPHER, в якій емісійна вірогідність моделювалася Гауссовими сумішами. При цьому DECIPHER використовувався як стартова система для отримання початкової фонетичної розмітки на першій ітерації навчання багатошарового перцептрона. В результаті експериментів було отримано значне поліпшення якості розпізнавання в порівнянні з контекстнезалежною системою, заснованою на ПММ.

Аналогічні експерименти були проведені Робінсоном, що використав гібрид ПММ і рекурентній мережі в системі розпізнавання зливої мови ABBOT (Cu-Con), яка була успішно протестована в рамках проекту November 1993 ARPA Wall Street Journal Test, а також в європейському проекті SQALE (Speech Quality Assessment for Linguistic Engineering) [19]. SQALE був присвячений порівнянню декількох провідних світових систем розпізнавання, таких як Cu-Con і CU-НТК, створені в Cambridge University Engineering Department (Великобританія), LIMSI з Laboratoire d'Informatique pour la Mecanique et les Sciences de l'Ingenieur (Франція) і PHILIPS the Man-MachineInterface group with Philips Research Laboratories (Німеччина). Системи CU-НТК, LIMSI і PHILIPS побудовані на базі ПММ і використовують для моделювання безперервну щільність.

Хеннеберг і колеги [22] запропонували ускладнення теоретичних основ, сформульованих Боурлардом і Морганом шляхом узагальнення локальної апостеріорної вірогідності на глобальну апостеріорну вірогідність моделі, сформульовану як новий навчальний алгоритм для гібридної моделі. Це розширення базується на роботі Франко і колег [23], в якій незалежна ПММ була замінена на модель, що дозволяє інтегрувати в себе акустичний контекст.

### Висновок

Описана гібридна модель знайшла застосування в багатьох системах розпізнавання зливої мови з великими словниками, але не було спроб використувати цей метод для задачі прогнозування на фінансово-економічних часових рядах. Описана гібридна модель продемонструвала дуже непогані результати в порівнянні з системами, побудованими на основі кожної з моделей, які складають гібрид, окремо. Дослідження показали, що не дивлячись на відносну простоту структури модель володіє цілим рядом потенційних переваг (в порівнянні із стандартними ПММ), які були підтвержені на практиці:

- Точність моделі – оцінка вірогідності за допомогою нейронної мережі не вимагає детальних припущень про форму статистичних розподілів, які повинні бути промодельовані. В результаті можна отримати точніші моделі.

- Дискримінантна здатність: за допомогою нейронної мережі значно простіше реалізувати дискримінантне навчання.

- Врахування контексту – оскільки описані моделі нейронних мереж можуть використувати контекст, то локальна кореляція векторів може бути врахована при обчисленні розподілів вірогідності. З різних причин щось подібне важко реалізувати в стандартних ПММ.

- Економне використання параметрів (зниження розмірності системи) – оскільки всі розподіли вірогідності представлені тією ж множиною параметрів, що розділяються. Добре відомо, що “економічніше” моделювати межі між класами, чим поверхні функцій щільності (тобто правдоподібностей).

- Гнучкість – використання нейронних мереж для оцінювання акустичної вірогідності дозволяє легко поєднувати різноманітні параметри, наприклад такі, як суміш безперервних і дискретних вимірювань.

- Комплементарність – в деяких системах нейронна мережа забезпечує додатковою інформацією базову ПММ систему. Так, наприклад, в одному з експериментів комбінація ПММ з нейронною мережею (названою, “сегментною нейронною мережею”) дозволила значно підвищити якість розпізнавання [24, 25].

Проте не дивлячись на досягнуті успіхи, необхідно продовжувати дослідницькі роботи, направлені на розробку гібридних структур, що дозволяють проводити глобальне дискримінантне навчання, тобто на розробку моделей, заснованих на одночасному оцінюванні обох множин параметрів як ПММ, так і нейронної мережі при використанні одного критерію оптимізації. Крім того, поки залишаються відкритими питання, пов'язані з адаптацією таких систем, також необхідно підвищувати стійкість.

Reviewed existing hybrid models: hidden Markov models and neural networks. Examined principles of combining neural networks with hidden Markov models. Provided brief comparison of systems that use such architecture.

1. Bourlard H., Wellekens C. Links Between Markov Models and Multilayer Perceptrons // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1990. Vol. 12. No. 12. pp. 1167-1178.

2. Franzini M.A., Lee K.F., Waibel A. Connectionist Viterbi training: a new hybrid method for continuous speech recognition // IEEE ICASSP 1990, pp. 425-428.

3. Haffner P., Franzini M.A., Waibel A. Integrating time alignment and neural networks for high performance continuous speech recognition // IEEE ICASSP 1991. pp. 105-108

4. Levin E. Word recognition using hidden control neural architecture // IEEE ICASSP 1990.

5. Morgan N., Bourlard H. Continuous speech recognition using multilayer perceptrons with hidden Markov models // ICCASP 1990, pp. 413-416

6. Niles L.T., Silverman H.F. Combining hidden Markov models and neural networks classifiers // IEEE ICASSP 1990. pp. 417- 420.

7. Bourlard H., Morgan N. Connectionist Speech Recognition. A Hybrid Approach // The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Vol. 247, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1994.
8. Bourlard H., Morgan N. Continuous speech recognition by connectionist statistical methods // IEEE Transaction on Neural Networks. 1993. Vol. 4. No. 6. pp. 893-909.
9. Gish H. A probabilistic approach to the understanding and training of neural network classifiers // IEEE ICASSP 1990. pp. 1361-1364.
10. Richard M.D., Lippmann R.P. Neural network classifiers estimate Bayesian a posteriori probabilities // Neural Computation, 1991. No. 3. pp. 461-483.
11. Hochberg M. M., Renals S. J., Robinson A. J., Kershaw D. J. Large vocabulary continuous speech recognition using a hybrid connectionist-HMM system // Proceedings of CSLP, Yokohama, 1994. pp. 1499-1502.
12. Hochberg M. M., Renals S. J., Robinson A. J., Cook G. D. Recent improvements to the ABBOT large vocabulary csr system // IEEE ICASSP, Detroit, 1995. pp. 62-72.
13. Robinson A.J., Fallside F. Static and dynamic error propagation network with application to speech coding // In: D.Z. Anderson (Ed.), Neural Information Processing System, American Institute of Physics, New York, Denver, CO, 1988, pp. 635-641.
14. Robinson T. An application of recurrent nets to phone probability estimation // IEEE Transaction on Neural Networks, 1994. Vol. 5. No. 2. pp. 298-305.
15. McCullagh P., Nelder J. A. Generalized Linear Models // London: Chapman and Hall, 1983.
16. Robinson T., Hochberg M., Renals S. The use of recurrent neural networks in continuous speech recognition // In: C.H. Lee, F.K. Soong, K.K. Paliwal (Eds), Automatic Speech and Speaker Recognition: Advanced Topics, The Kluwer International Series in Engineering and Computer Science, Kluwer Academic Publishers, Boston, USA 1996.
17. Cohen M., Murveit H., Bernstein H., Price P., Weintraub M. The DECIPHER speech recognition system // IEEE ICASSP, Albuquerque, 1990. pp. 77-80.
18. Morgan N., Bourlard H. Hybrid neural network/ hidden Markov model system for continuous speech recognition // Intl. Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Special Issue on Advances in Pattern Recognition Systems using Neural Networks (I. Guyon and P. Wang, Eds.). 1993. Vol. 7, No. 4.
19. Young S.J., Adda-Dekker M., Aubert X. Multilingual large vocabulary speech recognition: the European SQALE project // Computer Speech and Language, 1997, 11, pp. 73-89.
20. Hochberg M., Renals S. & Robinson A. ABBOT: the CUED hybrid connectionist-HMM large vocabulary recognition system // Proceedings of the Spoken Language Technology Workshop, 1995. pp.170-178, Austin, TX, U.S.A.
21. Kershaw D. J., Hochberg M. M., Robinson A. J. Context dependent classes in a hybrid recurrent network-HMM speech recognition system // Cambridge University Engineering Department, Technical Report, CUED/F- INFENG/TR.217.1995.
22. Henneberg J., Ris C., Bourlard H., Renals S., Morgan N. Estimation of global posteriors and forward-backward training of hybrid HMM/ANN systems // Proceedings of EUROSPEECH, 1997. Vol. 4, Rhodi, pp. 1951-1954.
23. Franco H., Cohen M., Morgan N., Rumelhart D., Abrash V. Context-dependent connectionist probability estimation in a hybrid hidden Markov model-neural net speech recognition system // Computer Speech and Language. 1994. 8. pp. 211 - 222.
24. Austin S., Zavaliagkos G., Makhoul J., Schwartz R. Speech recognition using segmental neural nets // IEEE ICASSP, San Francisco, March 1992, pp. I-625-628.
25. Austin S., Zavaliagkos G., Makhoul J., Schwartz R. Improving state-of the-art continuous speech recognition system using the N-best paradigm with neural networks // Proceedings DARPA Speech and Natural Language Workshop, Harriman, NY (Morgan Kaufmann, Los Altos, CA). 1992. pp. 180-184.

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ  
МЕТОДА ГРУППОВОГО УЧЕТА АРГУМЕНТОВ

Маркута О.В., Мысак В.Ф.

Стремительное развитие компьютерной техники существенно расширяет сферу использования методов математического моделирования для проектирования и управления сложными технологическими (техническими, экономическими, экологическими, финансовыми и др.) системами, прогнозирования результатов их деятельности, создания экспертно-диагностических подсистем и тренажерных комплексов по обучению персонала и т.п.

Эффективное использование методов моделирования требует простых и адекватных, как правило, формальных математических моделей. Одним из универсальных экспериментальных методов идентификации многомерных систем, применимым в режиме нормальной эксплуатации объектов исследования, есть метод группового учета аргументов (МГУА) [1,2]. Полученные по этому методу модели отображают неизвестные закономерности функционирования исследуемого объекта (вида “ $n$  входов – 1 выход”), информация о котором неявно содержится в выборке экспериментальных данных. В МГУА для построения моделей применяются принципы автоматической генерации вариантов, промежуточных решений и последовательной селекции лучших моделей по определенным критериям. Алгоритм метода основан на делении выборки на части, при этом оценивание параметров и проверка качества моделей выполняются на разных подмножествах экспериментальной выборки. Эффективность метода подтверждена решением многочисленных реальных задач в таких областях как экология, гидрометеорология, экономика, техника [3].

Согласно МГУА решение трудоемкой задачи получения  $n$ -мерной (по входам) модели заменяется многостадийным процессом решения большого числа относительно простых задач аппроксимации экспериментальных данных функциями двух переменных. На каждой из стадий производится отбор наилучших полиномов, которые используются на последующих стадиях в качестве фиктивных аргументов новых полиномов.

Подобная процедура построения сложной функции от полинома продолжается до тех пор, пока на какой-либо из стадий не будет достигнута заданная точность аппроксимации.

Вместе с тем метод имеет ряд особенностей, не получивших строгого математического обоснования и требующих оперативного уточнения под конкретные условия использования получаемой модели. К таким особенностям относятся влияние на адекватность модели уровня шумов, количества отбираемых полиномов, размерности задачи, размеров подмножеств и т.п. Трудоемкая процедура таких уточнений требует использования современных программных средств моделирования.

В статье представлена программная реализация МГУА с генерированием исходных данных, ориентированная на широкий спектр возможных применений, и проведены исследования:

- определение возможных пределов работы приложения (максимального числа факторов);
- исследование влияния шума на точность полученной модели;
- исследование влияния количества отбираемых наилучших частных описаний на каждом шаге;
- исследование влияния размеров подмножеств экспериментальных данных на точность искомой модели;
- влияние вида частных описаний на качество полученной модели.

### 1. Программная реализация МГУА

Для исследования метода группового учета аргументов была выполнена его программная реализация. Разработанное приложение решает задачу построения модели объекта (вида “n входов – 1 выход”) по выборке экспериментальных данных.

На рис.1 показана общая блок-схема алгоритма работы приложения.

Алгоритмы МГУА воспроизводят схему массовой селекции. Входные аргументы и промежуточные переменные сопрягаются попарно, и сложность комбинаций на каждом ряду обработки информации возрастает (как при массовой селекции), пока не будет получена единственная модель оптимальной сложности [1].

#### Алгоритм работы программы:

*Этап 1. Искусственная генерация исходных (экспериментальных) данных.*

На этом этапе производится генерация значений векторов аргументов. При этом начальное количество аргументов (n) и размер выборки (число точек условного эксперимента) N изначально заданы. Количество аргументов n задается непосредственно, а размер выборки N определяется как сумма размеров трех ее подмножеств: обучающего (N1), проверочного (N2) и контрольного (N3):

$$N = N1 + N2 + N3 \quad (1)$$

Значения аргументов  $x_i$  генерируются в соответствии со следующим выражением:

$$x_{il} = \sin(\alpha_i \cdot N_l + \varphi_i), \quad i = \overline{1, n}; \quad l = \overline{1, N}, \quad (2)$$

где  $\alpha_i$  и  $\varphi_i$  каждый раз генерируются псевдослучайным образом из множеств [-A; A] и [-Fi; Fi] соответственно, где значения A и Fi изначально задаются.

Полученные векторы аргументов содержат нормированные псевдослучайные значения.

Значения  $y_l$  генерируются следующим образом:

$$y_l = \hat{y}_l + y_l^m, \quad (3)$$

$$\hat{y}_l = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^n b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^n b_{ii} x_i^2, \quad (4)$$

$$y_l^m = \frac{\hat{y}_l \cdot Sh_l}{100}, \quad l = \overline{1, N}, \quad (5)$$

где  $b_i$  и  $Sh_l$  каждый раз генерируются псевдослучайным образом из множеств [-B; B] и [-Sh; Sh], где значения B и Sh изначально задаются. Параметр Sh содержит значение уровня зашумления в % от величины значений  $y_l$ .

*Этап 2. Реализация алгоритма МГУА.*

Из множества аргументов  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  выбираются пары аргументов  $(x_i, x_j)$   $i, j=1, n$ ;  $i \neq j$ . Для них составляются функции частных описаний квадратичного вида [1]:

$$y_{ij} = a_0 + a_i x_i + a_j x_j + a_{ij} x_i x_j + a_{ii} x_i^2 + a_{jj} x_j^2, \quad (6)$$

Используя метод наименьших квадратов (МНК) [4] для каждого описания по обучающему подмножеству  $(\{y_u^o, x_{iu}^o, x_{ju}^o\} \in M_o, u = \overline{1, N_1})$  находится вектор неизвестных коэффициентов  $a_{ij}^* = \{a_0, a_i, a_j, a_{ij}, a_{ii}, a_{jj}\}$ .

По полученным моделям каждого частного описания вычисляются значения ординат (вектор  $\hat{y}_{ij}$ ) для всех точек проверочного подмножества  $\{x_{iu}^o, x_{ju}^o\} \in M_{II}, u = \overline{N_1, N_1 + N_2}$ .

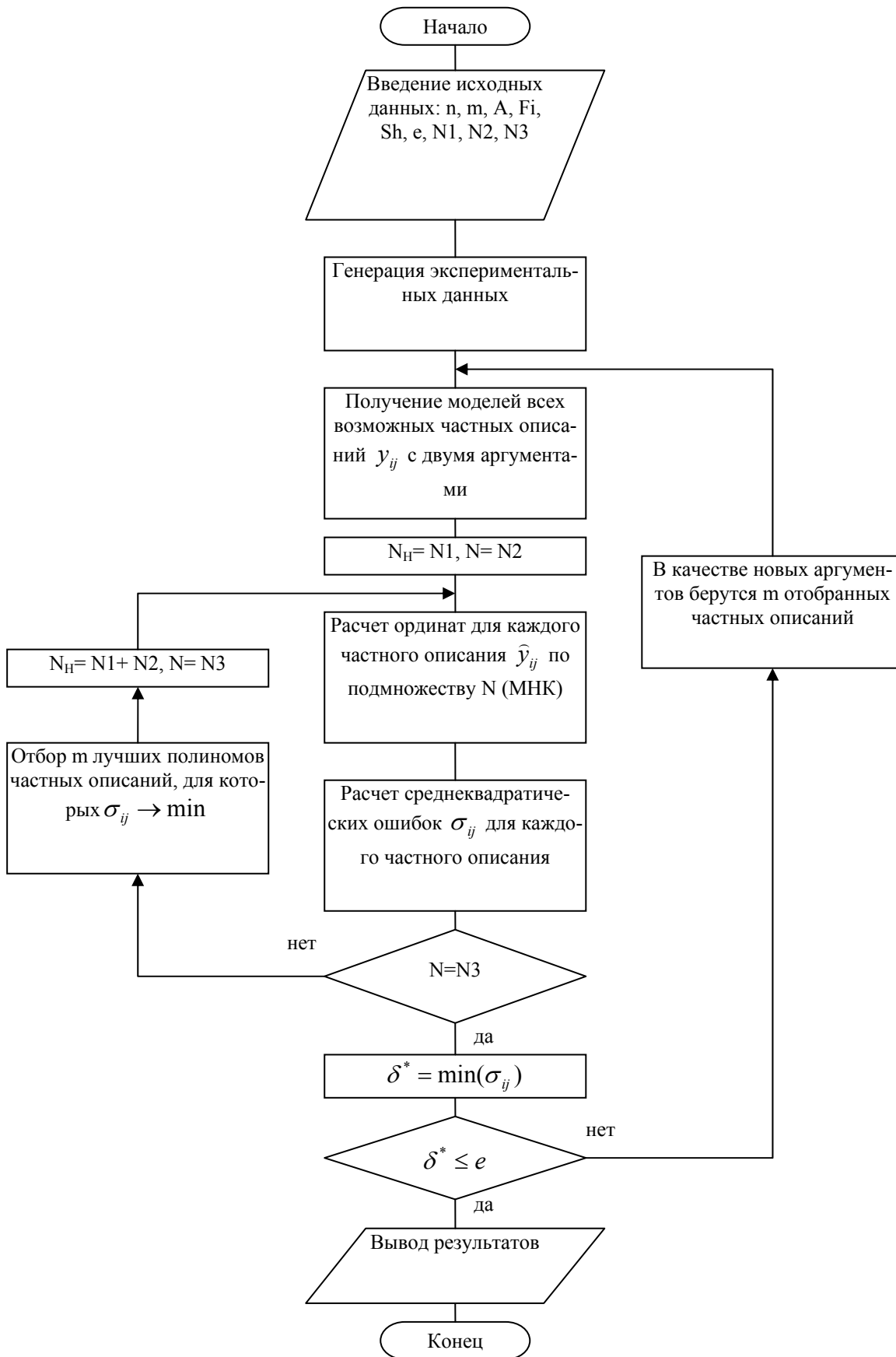


Рис. 1. Структурная блок-схема алгоритма разработанного приложения.

Далее производится расчет критерия селекции (среднеквадратической ошибки) для каждого частного описания по формуле:

$$\sigma_{ij} = \left\{ \frac{1}{N_2} \sum_{u=N_1+1}^{N_1+N_2} [y_u^{\circ} - \hat{y}_{ij}(u)]^2 \right\}^{0.5} \quad (7)$$

По критерию минимума на проверочном подмножестве отбираются  $m$  лучших моделей, т.е. реализуется процедура селекции.

Для отобранных моделей вычисляются значения ординат  $\hat{y}_k, k = \overline{1, m}$  по контрольному подмножеству  $\{x_{iu}^{\circ}, x_{ju}^{\circ}\} \in M_K, u = \overline{N_1 + N_2 + 1, N}$ .

Далее для них вычисляются значения критерия селекции (так же по контрольному подмножеству):

$$\delta_k = \left\{ \frac{1}{N_3} \sum_{u=N_1+N_2+1}^N [y_u^{\circ} - \hat{y}_k(u)]^2 \right\}^{0.5} \quad (8)$$

Находится  $\delta^* = \min(\delta_k)$ .

### Этап 3. Вывод результатов.

Производится вывод результатов в соответствующее поле окна приложения.

Выполняется проверка критерия останова:

$$\delta^* < \varepsilon \quad (9)$$

где  $\varepsilon = \varepsilon$  (наперед заданная величина).

Если условие выполняется, то процесс поиска модели  $\hat{y} = f(\bar{x}, a)$  считается завершенным. В противном случае производится возврат на начало *этапа 2* с предварительным пересчетом векторов аргументов (в качестве новых аргументов используются отобранные модели частных описаний).

## 2. Определение возможных пределов работы приложения (максимального числа факторов)

Число факторов (входов объекта) в принципе не ограничено. На практике работа приложения была проверена до  $n = 25$ . Но при таком количестве аргументов наблюдалось существенное увеличение времени работы программы (длительности всех необходимых расчетов). Если при  $n=3, m=3$  время, затраченное на расчет одного шага алгоритма, составляло доли секунды, а загрузка ЦП составляла 11%, то при  $n=25$  и  $m=3$  время расчета одного шага увеличилось до 40 секунд, а загрузка ЦП – до 100%.

Вообще ограничения в отношении числа факторов могут накладываться только исходя из технических характеристик компьютера, на котором производится расчет модели программой. С увеличением числа факторов резко возрастает число их частных описаний и, следовательно, объем обрабатываемой информации, что в свою очередь вызывает увеличение требуемых ресурсов и приводит к существенному увеличению длительности расчетов.

## 3. Исследование влияния шума на точность полученной модели

При увеличении значения шума ухудшается точность искомой модели, как показано на рис.2. Это приводит к увеличению количества шагов, необходимых для нахождения модели, и к существенному ее усложнению.

Не во всех случаях удалось найти модели с заданной точностью аппроксимации. Некоторые из искусственно сгенерированных зависимостей  $y = f(x_i)$  приняли вид, который трудно адекватно аппроксимировать квадратичным полиномом.

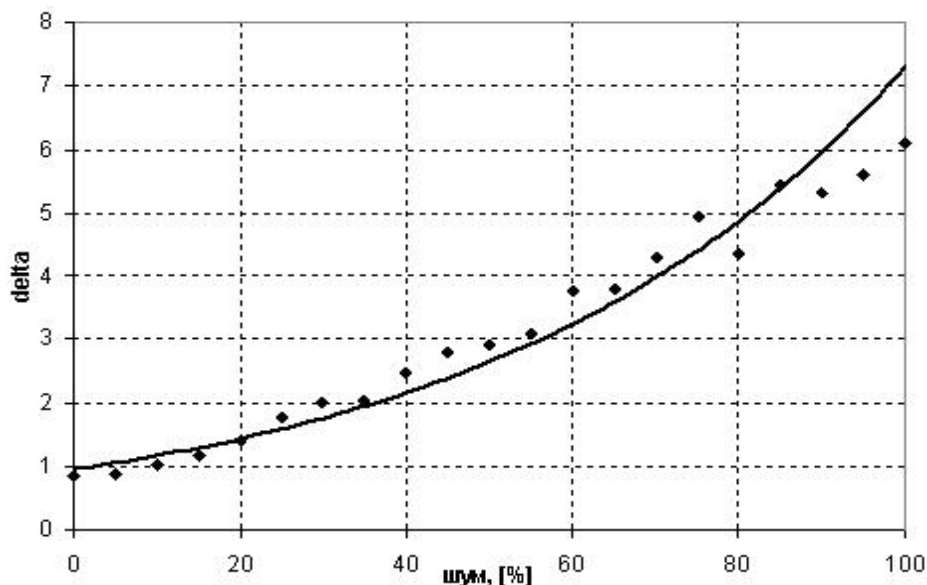


Рис. 2 Влияние уровня шума на точность полученной модели

#### 4. Исследование влияния количества отбираемых наилучших частных описаний на каждом шаге

В плане выбора оптимального количества отбираемых на каждом шаге полиномов частных описаний однозначного ответа быть не может. Это обусловлено тем фактом, что с увеличением числа факторов существенно возрастает число их парных взаимодействий.

На практике прослеживается закономерность, что с увеличением числа отбираемых частных описаний на каждом шаге увеличивается точность полученной модели (рис.3). В свою очередь чрезмерное увеличение этого числа ( $m$ ) приводит к большим объемам обрабатываемой информации.

Слишком же малое число отбираемых парных взаимодействий отрицательно сказывается на адекватности полученной модели.

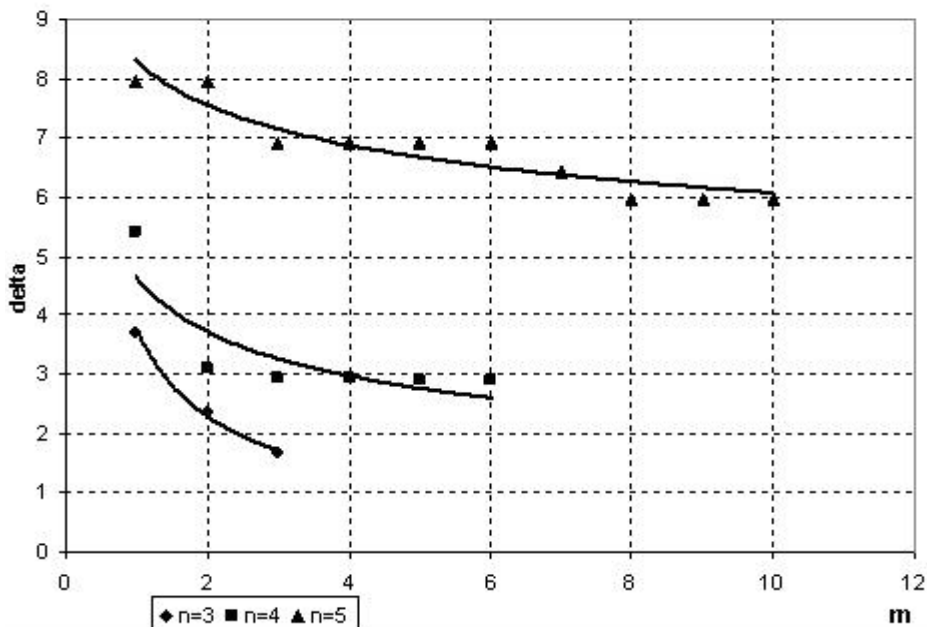


Рис. 3 Влияние числа отбираемых частных описаний на точность полученной модели для разных значений числа аргументов

Об оптимальном значении  $m$  можно говорить только в отношении конкретного  $n$  (числа исходных факторов). При решении конкретной задачи рекомендуется выполнить промежуточное исследование с использованием разработанного приложения для определения оптимального значения  $m$ .



**5. Исследование влияния размеров подмножеств экспериментальных данных на точность искомой модели**

В ходе исследования влияния размеров подмножеств  $O$  (обучающего),  $\Pi$  (проверочного) и  $K$  (контрольного) исходной выборки данных были получены следующие результаты:

1) При равномерном разбиении выборки ( $O=\Pi=K$ ) точность модели прямо пропорциональна объему выборки (рис.4). Хотя чрезмерный объем данных может привести к существенному увеличению объема обрабатываемой информации.

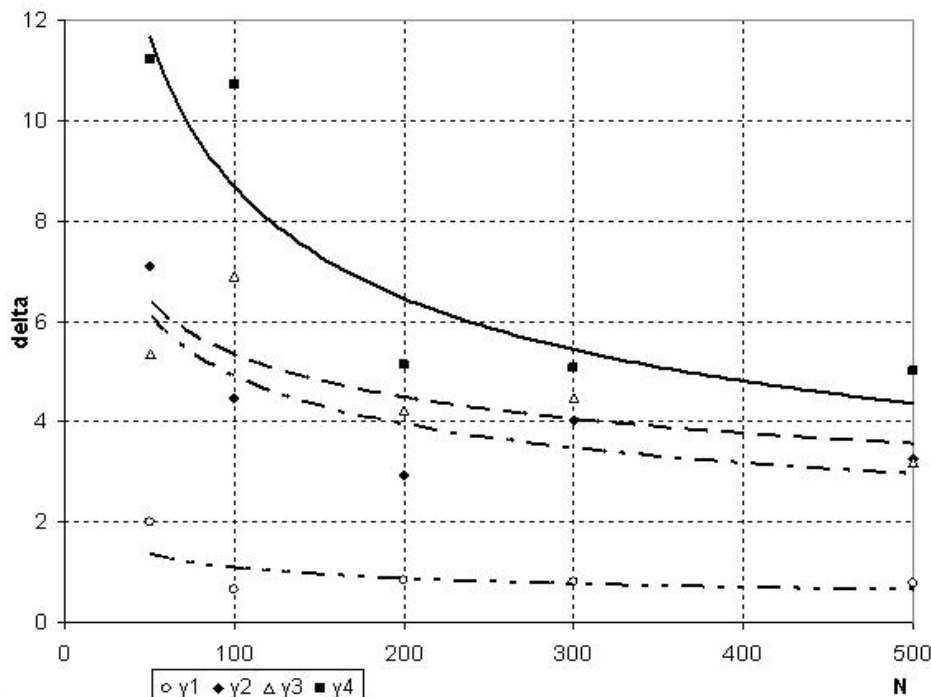


Рис. 4 Влияние размеров подмножеств экспериментальных данных на точность искомой модели при равномерном разбиении выборки ( $O=\Pi=K$ )

2) При неравномерном разбиении выборки было установлено, что увеличение обучающего подмножества по отношению к проверочному и контрольному ( $O=\Pi+K$ ,  $\Pi=K$ ) приводит к увеличению точности полученной модели по сравнению со случаем равномерного разбиения и разбиения в пользу  $\Pi$  либо  $K$ , как показано на рис.5.

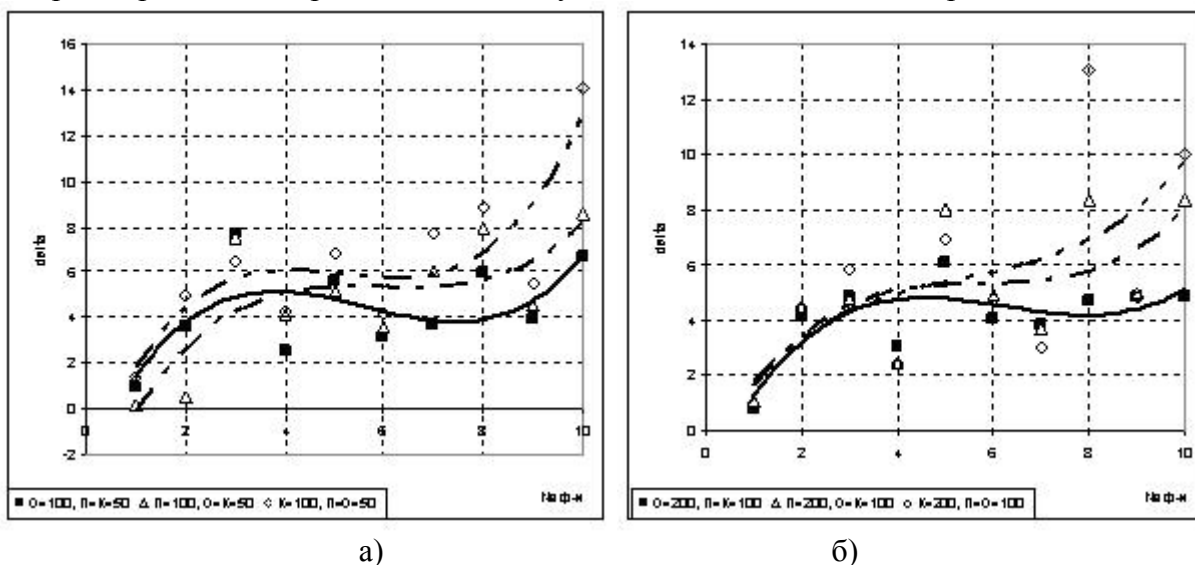


Рис. 5 Влияние размеров подмножеств экспериментальных данных на точность искомой модели при неравномерном разбиении выборки:  
а)  $N=200$ ; б)  $N=400$

3) При включении в состав  $K$  дополнительно подмножеств  $O$  либо  $\Pi$ , либо  $O+\Pi$  увеличивается точность полученной модели (изначально  $O=\Pi=K$ ). Наилучшая точность была получена при  $K=O+\Pi$  (рис.6), т.е. вся выборка делится на две части: обучающее и проверочное подмножества. А выбор оптимальной модели происходит при этом по всей выборке (всему множеству экспериментальных данных). Следующее по точности разбиение  $K=O+\Pi+K$ . Опять же при выборе модели учитывается вся выборка. Точность незначительно снижалась при разбиении  $K=\Pi+K$ .

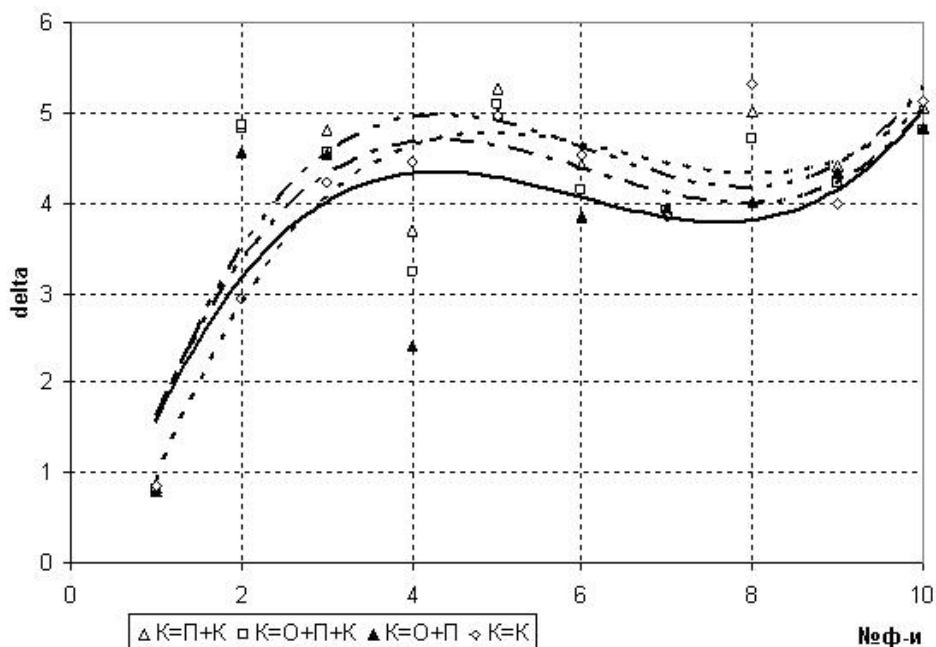


Рис. 6 Влияние включения в подмножество  $K$  дополнительных подмножеств экспериментальных данных на точность искомой модели (изначально  $O=\Pi=K=200$ )

Дополнительное включение в контрольное подмножество подмножеств  $O$  и  $\Pi$  повышает точность модели, поскольку в таком случае выбирается модель наиболее адекватная всей выборке. При стандартном разбиении (без включения подмножеств в состав  $K$ ) есть риск, что на контрольном подмножестве функция, в целом не являющаяся наиболее точной моделью, будет иметь наименьшее среднеквадратическое отклонение от оригинала, что приведет к выбору модели не являющейся самой точной на всем исследуемом интервале экспериментальной выборки.

#### 6. Влияние вида частных описаний на качество полученной модели

Изначально приложение реализовывало метод группового учета аргументов с функциями частных описаний квадратичного вида:

$$y_{ij} = a_0 + a_i x_i + a_j x_j + a_{ij} x_i x_j + a_{ii} x_i^2 + a_{jj} x_j^2. \quad (10)$$

В ходе исследований возник вопрос о влиянии вида полинома частных описаний на точность и сложность полученной модели.

Для сравнения были взяты функции частных описаний следующего вида:

$$y_{ij} = a_0 + a_i x_i + a_j x_j + a_{ij} x_i x_j. \quad (11)$$

В ходе исследований было установлено, что такое упрощение вида функций частных описаний практически не сказалось на качестве полученной модели (наблюдалось незначительное снижение точности, как показано на рис.7). При этом происходит существенное упрощение вида искомой модели (даже при возможном увеличении количества шагов расчета) при практически неизменной точности модели. При  $n=3$ ,  $m=3$ ,  $e=0,75$  модель объекта в обоих случаях была найдена за два шага расчетов, но если для варианта с частными описаниями вида (10) модель содержала 64 слагаемых, а точность ( $\delta$ ) составила 0.46, то для случая с частными описаниями вида (11) модель уже содержала 16 слагаемых и  $\delta=0.70$ .

При некотором запасе точности использование упрощенного вида функций частных описаний может привести к существенному упрощению искомой модели.

Исследования проводились при следующих условиях:  $n=3\dots5$ ,  $N_1=N_2=N_3=50\dots500$ ,  $m=2\dots15$ ,  $B=10$ ,  $A=0.25$ ,  $F_i=100$ ,  $Sh=0.20$ ,  $e=0.1\dots5$ .

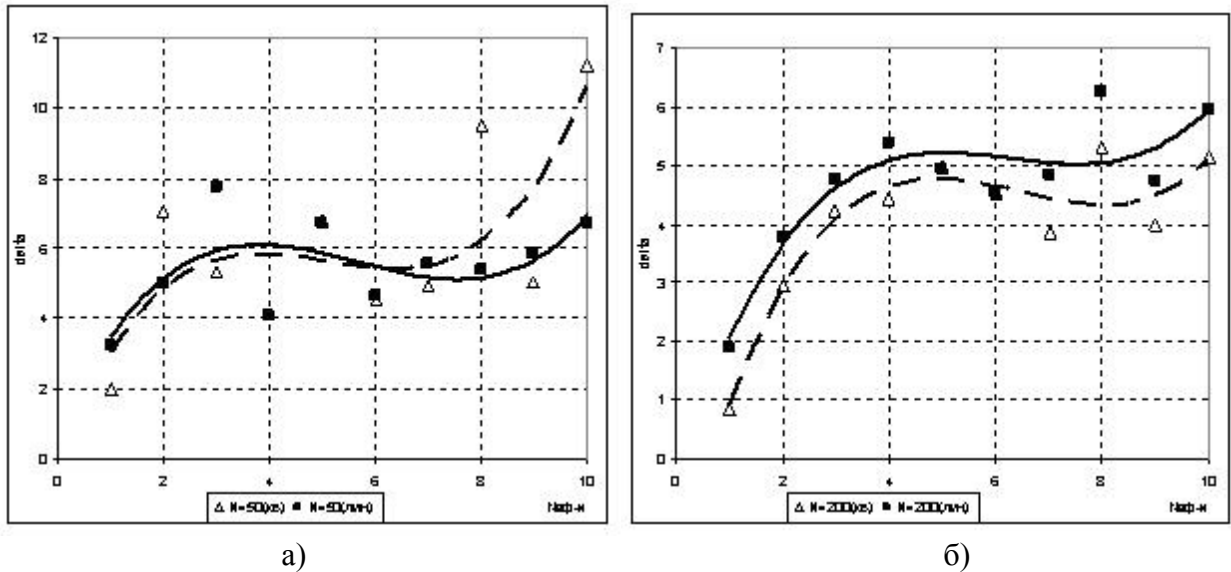


Рис. 7 Влияние вида частных описаний на точность искомой модели:  
а)  $N=50$ ; б)  $N=200$

### Выводы

На сегодняшний день одним из универсальных экспериментальных методов идентификации многомерных систем есть метод группового учета аргументов. Вместе с тем метод имеет ряд особенностей, уточнение которых являлось основной задачей проведенной работы.

В статье представлена программная реализация МГУА, ориентированная на широкий спектр возможных применений – от решения исследовательских задач до решения прикладных задач построения модели объекта (вида “ $n$  входов – 1 выход”) по выборке экспериментальных данных. С помощью разработанного приложения возможно решение каждой конкретной задачи несколькими вариантами (при разных значениях параметров алгоритма) с целью получения модели объекта или системы оптимальной точности и сложности.

В ходе исследования практической (программной) реализации МГУА было установлено следующее:

1. С увеличением уровня шума и уменьшением числа отбираемых на каждом шаге частных описаний ( $m$ ) ухудшается точность искомой модели, при этом возможно увеличение количества шагов, необходимых для нахождения модели, что может привести к существенному ее усложнению. При решении каждой конкретной задачи для определения оптимального значения  $m$  рекомендуется выполнить промежуточное исследование с использованием разработанного приложения.

2. При равномерном разбиении выборки ( $O=P=K$ ) экспериментальных данных точность модели прямо пропорциональна объему выборки. При неравномерном разбиении выборки увеличение обучающего подмножества по отношению к проверочному и контрольному ( $O=P+K$ ,  $P=K$ ) приводит к увеличению точности полученной модели по сравнению со случаем равномерного разбиения и разбиения в пользу  $P$  либо  $K$ . При включении в состав  $K$  дополнительных подмножеств наилучшая точность была получена при  $K=O+P$ .

3. Вид частных описаний влияет на сложность полученной модели. Упрощение функций частных описаний от вида (10) к виду (11) приводит к упрощению модели, но при этом происходит незначительное ухудшение ее точности (при  $n=3$ ,  $m=3$ ,  $e=0,75$  мо-

дель объекта в обоих случаях была найдена за два шага расчетов, но если для варианта с частными описаниями вида (10) модель содержала 64 слагаемых, а точность ( $\delta$ ) составила 0.46, то для случая с частными описаниями вида (11) модель уже содержала 16 слагаемых и  $\delta=0.70$ ).

При решении каждой отдельной задачи, для нахождения модели с оптимальными параметрами сложности и точности, рекомендуется поварьировать с использованием разработанного программного продукта такие параметры как число отбираемых частных описаний на каждом шаге и вид полинома частных описаний.

In the article the program application of the method of the group calculation of the arguments is represented. The following special features of method were investigated with the aid of the developed application: influence on the adequacy of the model of the level of noise, quantity of selected polynomials, dimensionality of task, sizes of subsets. The results of studies were represented.

1. Ивахненко А. Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – Киев: Техніка, 1975.
2. Ивахненко А.Г. Индуктивные методы самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наук. мысль, 1982.
3. Степашко В.С. Теоретические аспекты МГУА как метода индуктивного моделирования. – Труды I Международной конференции по индуктивному моделированию, Львов, 20-25 мая 2002 г.
4. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения. – М.: Наука, 1967.

УДК 004.02:681.3

## МОДЕЛЬ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПОТОКАМИ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Славич В.П.

**Постановка проблеми.** Постійне збільшення кількості транспортних засобів призводить до перевантаженості доріг, росту транспортних затримок та появи тривалих пробок. Невпинне зростання інтенсивностей транспортного руху викликає необхідність в розробці методів, спрямованих на збільшення пропускних можливостей дорожньої мережі та зменшення відповідних наслідків існуючих транспортних проблем.

Сучасний розв'язок транспортних труднощів полягає в організації автоматизованого управління дорожнім рухом та розробці відповідної бази. Важливою складовою такої автоматизованої системи управління транспортними потоками є інформаційно-математичні методи і моделі, що забезпечують раціональне управління об'єктом транспортної мережі. Завдяки отриманню інформації про параметри потоку в реальному часі, а також враховуючи статистичні параметри процесу, подібна модель використовуються для формування керуючих дій, що передаються на засоби дорожньої сигналізації [1, 2] та безпосередньо впливають на транспортний потік.

Аналіз існуючих методів управління транспортною системою дає висновок, що всі подібні моделі мають два основні недоліки. Перший недолік – це спрощеність моделі, другий – вузьке застосування. Отже, розв'язок, запропонований ними, має невелике практичне значення [3-7].

В зв'язку з цим виникає задача розробки методів управління потоками автомобілів, які б забезпечували прийнятний результат.

Сучасним напрямком побудови подібних моделей є використання апарату нечітких множин та нечіткої логіки [8,9]. Необхідність використання нечіткої теорії обумовлено невизначеністю інформації на перехресті про потік транспортних засобів.

**Мета дослідження.** Розробка моделі управління режимами роботи світлофорної сигналізації на основі апарату нечіткої логіки, що дозволяє вибирати оптимальні варіанти регулювання з найменшим перебуванням транспортних засобів у системі.

**Основний матеріал.** Для системи управління потоком транспортних засобів на базі нечіткої логіки використовуємо, структуру, щоображено на рис.1.

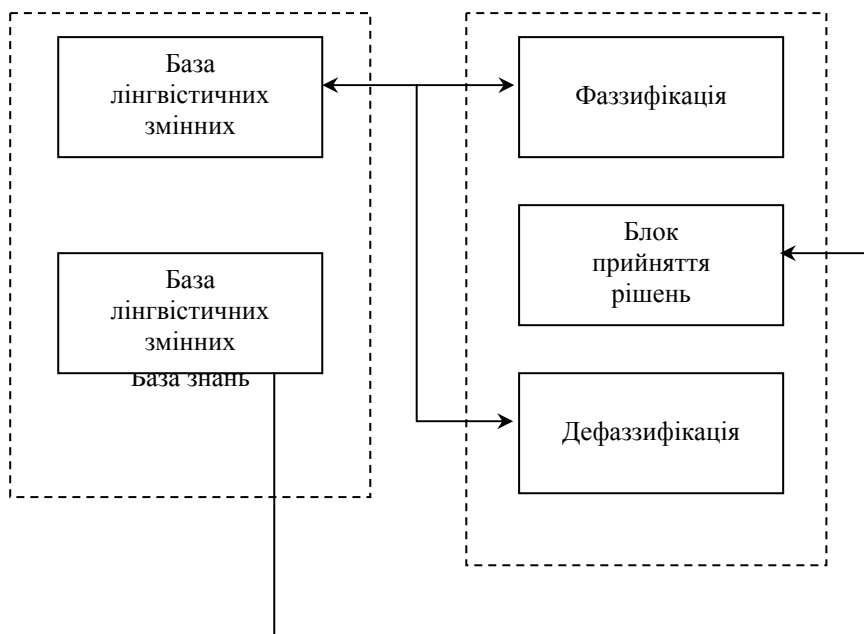


Рис.1 Структура системи управління транспортним потоком

Нехай задано систему перехресть (рис.2). Для синхронної роботи світлофорів необхідно, щоб тривалості циклу кожного з них були однакові. Проміжки часу між початками циклів світлофорів двох прилеглих перехресть є час синхронізації  $t_c$ .

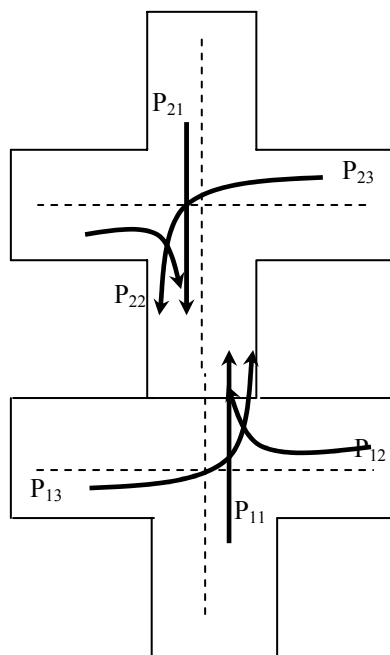


Рис. 2 Схема транспортних потоків на двох перехрестях

Система управління потоком транспортних засобів (СУПТЗ) буде регулювати управління  $t_c$  так, щоб мінімізувати наступну суму часу очікування автомобілів:

$$t_o = t_{11} + t_{12} + t_{21} + t_{22}, \quad (1)$$

де  $t_{ij}$  – час очікування автомобілів потоку  $P_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1,3}$ .

В запропонованій СУПТЗ в якості вхідних лінгвістичних змінних є наступні:

1)  $t_o$  – поточний час синхронізації;

2)  $k_{ij}$  – кількість автомобілів, що проїде на зелений сигнал у напрямку  $P_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1,3}$ .

Вихідною лінгвістичною змінною буде  $\Delta t_c$  – зміна часу синхронізації  $t_c$ .

Система має для певного набору значень величин  $k_{ij}$  видавати таке значення  $\Delta t_c$ , яке змінює  $t_c$ , наближаючи його до оптимального значення  $t_{opt}$ .

База правил заповнюється наступним чином:

1. Для заданих значень  $k_{ij}$  визначається таке значення  $t_{opt}$ , при якому  $t_o$  приймає найменше значення.

2. Визначається, при якому  $\Delta t_c$  значення виразу

$$t_c^{i+1} = t_c^i + \Delta t_c, \quad (2)$$

буде ближче до оптимального  $t_{opt}$  за допомогою наступної системи:

$$t_c^{i+1} = \begin{cases} t_c^i + \Delta t_c - t_{\alpha}, & \text{якщо } t_c^i + \Delta t_c > t_{\alpha} \\ t_{\alpha} - t_c^i + \Delta t_c, & \text{якщо } t_c^i + \Delta t_c \leq t_{\alpha} \end{cases}, \quad (3)$$

де  $t_{\alpha}$  – тривалість циклу світлофора.

Визначимо мінімальне значення  $t_o$ . Нехай задано величини  $t_c$ ,  $k_{ij}$ ,  $i, j = \overline{1,3}$ .

Введемо наступні позначення:

$t_{cp}$  – середній час проїзду між перехрестями;

$t_p$  – час розгону автомобіля;

$t_r$  – час гальмування автомобіля;

$t_{\alpha}$  – тривалість горіння червоного сигналу світлофора;

$t_{\beta}$  – тривалість горіння зеленого сигналу світлофора;

$\Delta t$  – проміжок між двома автомобілями, що їдуть.

Тоді час синхронізації та загальний час очікування в залежності від одного з випадків визначаються наступними умовами:

1. Якщо всі автомобілі залишаються на червоне світло та чекають однаковий час, то шукані параметри знаходяться з виразів:

$$t_c \in [t_{cp} - (s_{12} + s_{13})\Delta t; t_{cp} + t_{\alpha}], \quad (4)$$

$$t_o^{11} = k_{11}(t_c - t_{cp} + t_p + t_r) + (s_{12} + s_{13})\Delta t,$$

де  $s_{12}$  – кількість автомобілів потоку  $P_{12}$ , що залишились перед червоним світлом.

2. Якщо частина транспортних засобів проїжджає на зелений сигнал, а решта очікує при червоному світлі, то:

$$t_c \in [t_{cp} + t_q; t_{cp} + t_q + k_{11}\Delta t], \quad (5)$$

$$t_o^{11} = s_{11}(t_q + t_p + t_r) = (k_{11} + (t_{cp} + t_q - t_c)/\Delta t)(t_q + t_p + t_r).$$

3. Якщо усі автомобілі проїжджають на зелений сигнал, то відповідні значення параметрів часу дорівнюють:

$$t_c \in [t_{cp} + t_q + k_{11}\Delta t; t_{cp} + t_q + t_3 - (s_{12} + s_{13})\Delta t], \quad (6)$$

$$t_o^{11} = 0.$$

**Висновки.** Таким чином, в даній роботі запропоновано модель управління режимами роботи світлофорної сигналізації на системі перехресть, що побудована на основі апарату нечіткої логіки. Модель дозволяє вибирати оптимальні варіанти регулювання сигналів світлофора на перехресті таким чином, щоб транспортні засоби перебували у системі найменший час, що в свою чергу сприяє рішенням таких важливих проблем транспортних потоків, як дорожні затримки та транспортні затори.

A case the modes of operations of the traffic-light signaling of the system of crossings frame is offered.

1. Лобанов Е.М., Сильянов В.В. и др. Пропускная способность автомобильных дорог. – М.: Транспорт, 1970. – 150 с.
2. Печерский М.П., Хорович Б.Г. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
3. Барышев М.Л., Драчевский В.И., Капитанов В.Т. Исследования эффективности автоматизированных систем управления дорожным движением: Методические рекомендации. – М.: ВНИЦБД МВД СССР, 1990. – 56 с.
4. Брайловский Н.О., Грановский Б.Н. Управление движением транспортных средств. – М.: Транспорт, 1976. – 110 с.
5. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения. – М.: Транспорт, 1980. – 189 с.
6. Клишковштейн Г.И. Организация дорожного движения. Учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов. – М.: Транспорт, 2001. – 192 с.
7. Рябиков Н.А., Байбулатов Х.А., Байбулатова Н.Х. О факторах, влияющих на формирование автотранспортных потоков. Транспорт: наука, техника, управление. – М.: ВИНТИ, 2001.
8. Петров В.В., Шрайбер Л.З. Анализ распада группы автомобилей на перегоне. - В кн.: Технично-економическое обоснование параметров дорог. Сб. научных трудов ОмПИ, Омск, 1986, с.44-47.
9. Романов А. Г. Закономерности дорожного движения в городах. – М.: ВНИИБД МВД СССР, 1980. – 82 с.

## ГЕОМЕТРИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С КРИВОЛИНЕЙНЫМИ ГРАНИЦАМИ

Хомченко А.Н., Козуб Н.А.

**Постановка проблемы.** В большинстве сеточных методов (например, в МКР, МКЭ) используются в основном ячейки с прямыми сторонами. Между тем, в реальных задачах границы области и линии раздела материалов часто изогнуты. Поэтому важной проблемой МКЭ является построение базисных функций для сеток, составленных из элементов с криволинейными сторонами. Если некоторая часть границы или линии раздела изогнута, весьма удобны прямоугольные треугольники с двумя прямыми и одной криволинейной сторонами. Именно такие треугольники (с изогнутой гипотенузой) играют определяющую роль при геометрическом моделировании базисных функций плохо поддающихся какой-либо формализации серендиповых элементов высших порядков.

**Анализ предшествующих публикаций, постановка задачи.** Впервые криволинейный элемент появился в расчетах инженерных сооружений у авторов [1]. Комментарий по этому вопросу есть у Зенкевича [2], а некоторые конкретные результаты у авторов [3]. Установление в 1982 г. вероятностного смысла базисных функций МКЭ [4] способствовало проникновению геометрического моделирования в теорию интерполирования функций двух и трех аргументов на конечных носителях [5,6]. Накопленный опыт моделирования базисов КЭ показывает, что криволинейные границы не создают специфических трудностей, если пользоваться концепцией геометрической вероятности. При этом для полиномиальных базисов достаточно ограничиться фрагментами кривых второго порядка (окружность, эллипс, парабола, гипербола). Мы рассмотрим прямоугольный треугольник с криволинейной гипотенузой. Наша цель – на основе кривых второго порядка построить в явном виде набор базисных функций для узла в вершине прямого угла. С помощью такого набора легко генерировать классические и новые базисы серендиповых элементов высших порядков.

**Основная часть.** Вначале стоит обратить внимание на свойства базисных функций КЭ. Для этого достаточно рассмотреть самые простые двумерные элементы: треугольник с 3-мя узлами (рис. 1а), реализующий линейную интерполяцию, и квадрат с 4-мя узлами (рис. 1б), реализующий билинейную интерполяцию функции двух аргументов.

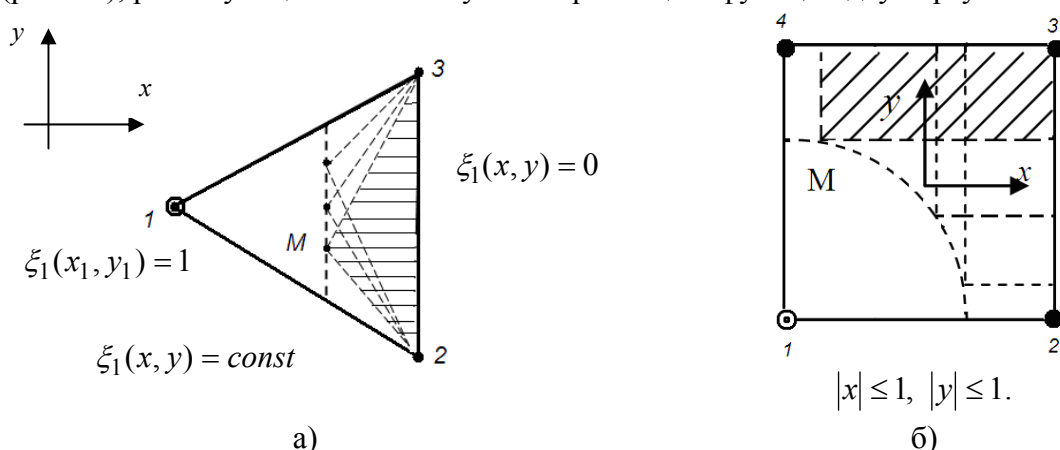


Рис.1 Конечные элементы линейной а) и билинейной б) интерполяции

Для определенности на каждом КЭ рассматривается узел 1. Известно [3], что базис линейной интерполяции состоит из барицентрических координат симплекса. Первая координата определяется формулой



$$\xi_1(x, y) = \frac{\frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x & y \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}}{\frac{1}{2} \begin{vmatrix} 1 & x_1 & y_1 \\ 1 & x_2 & y_2 \\ 1 & x_3 & y_3 \end{vmatrix}} = \frac{S_1}{S}, \quad (1)$$

где  $S$  – площадь основного треугольника 1-2-3;  $S_1$ - площадь треугольника М-2-3;  $M(x, y)$  – текущая точка. Как видим,  $\xi_1(x, y)$ - это вероятность попадания случайной точки в треугольник М-2-3 (заштрихован) при вбрасывании этой точки в основной треугольник 1-2-3. Вершины множества треугольников М-2-3 одинаковой площади  $S_1$  лежат на линии уровня  $\xi_1(x, y) = const$ . Это «текущая» линия уровня. Понятно, что все линии уровня  $\xi_1(x, y) = const$  параллельны прямой 2-3, т.е. прямой  $\xi_1(x, y) = 0$ . Перемещение линии уровня к «собственному» узлу 1 сопровождается равномерным возрастанием аппликаты от 0 до 1, т.е.  $0 \leq \xi_1(x, y) \leq 1$ . Таким образом, достаточно составить уравнение границы «входа» в область КЭ со стороны, противоположащей узлу 1. Это уравнение линии нулевого уровня. Для получения соответствующей базисной функции уравнение линии нулевого уровня необходимо пронормировать так, чтобы  $\xi_1(x_1, y_1) = 1$ .

Аналогичная ситуация отражена на рис.1б. Теперь вероятность попадания случайной точки в прямоугольник с противоположными вершинами М-3 равна

$$N_1(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y). \quad (2)$$

Билинейный полином «чуть старше» линейного за счет дополнительного слагаемого  $xy$ . Это слагаемое вносит некоторые особенности в поведение функции  $N_1(x, y)$ . Теперь при стремлении текущей точки  $M(x, y)$  к узлу 1 равномерное возрастание  $N_1(x, y)$  отмечается только в координатных направлениях. В произвольном направлении возрастание неравномерное, так как  $N_1(x, y)$  представляет собой фрагмент поверхности второго порядка – гиперболического параболоида (гипара).

Основной вывод таков: независимо от геометрии поверхности базисная функция в текущей точке  $M(x, y)$  определяет относительный подъем текущего уровня.

Теперь можно генерировать альтернативные базисы на серендиповых КЭ высших порядков за счет вариации профиля искривленной гипотенузы в прямоугольном треугольнике. В качестве примера мы рассмотрим серендипов элемент с бикубической интерполяцией (рис.2). Предполагается, что 12 узлов распределены равномерно на границе КЭ.

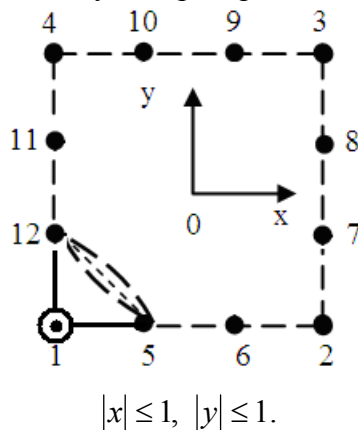


Рис.2 Серендипов КЭ с бикубической интерполяцией

Построить модель бикубической интерполяции означает сконструировать 12 полиномов с двумя аргументами, удовлетворяющих интерполяционной гипотезе типа Лагранжа:

$$N_i(x_k, y_k) = \delta_{ik}, \quad \sum_{i=1}^{12} N_i(x, y) = 1, \quad (3)$$

где  $i$  – номер полинома;  $k$  – номер узла ( $i, k = \overline{1,12}$ );  $\delta_{ik}$  – символ Кронекера. Кроме того, должны соблюдаться условия межэлементной непрерывности. Это означает, что полином  $N_i(x, y)$  на границе, содержащий узел  $i$ , должен изменяться по закону кубической параболы (4 узла). На остальных границах КЭ  $N_i(x, y)$  обращается в нуль. При регулярном расположении узлов достаточно построить только два полинома, например,  $N_1(x, y)$  и  $N_5(x, y)$ . Мы остановим свой выбор на более содержательном полиноме –  $N_1(x, y)$ . Не потому, что узел 1 объединяет вдвое больше соседних элементов, нежели узел 5. А прежде всего потому, что в этом случае востребованы прямоугольные треугольники с искривленной гипотенузой. Мы исходим из того, что искомый полином  $N_1(x, y)$  можно представить в виде произведения нескольких полиномов первого и второго порядков. Из этого следует, что сложный серендипов элемент высокого порядка можно представить в виде композиции из простых элементов с общим узлом 1. На простом элементе нетрудно построить подходящий полином первого или второго порядка. При этом линиями нулевого уровня являются прямолинейные отрезки или фрагменты стандартных кривых второго порядка (рис.2). Возможности геометрического моделирования мы иллюстрируем на треугольнике 1-5-12. Заметим, что существуют модели бикубических серендиповых элементов, использующие другие треугольники, например, 1-6-11, 1-6-12, 1-5-11.

В многочисленных публикациях по МКЭ упоминается лишь один бикубический базис, изобретательно подобранный Эргатудисом, Айронсом и Зенкевичем [2]. Мы покажем, как устроен этот классический базис и приведем примеры альтернативных (неклассических) базисов бикубической интерполяции. Для построения классического полинома  $N_1(x, y)$  мы представляем КЭ-12 (рис.2) в виде композиции из основного квадрата 1-2-3-4 и встроеного треугольника 1-5-12 с общим (это важно) узлом в вершине 1. Основной квадрат входит в состав всех без исключения серендиповых моделей, а модификации можно получить изменяя форму гипотенузы встроеного треугольника. В данном случае в качестве гипотенузы 5-12 мы используем дугу окружности с центром в (0;0).

Итак, на квадрате в соответствии с формулой (2) относительное приращение текущего уровня равно

$$N_1^{(1)}(x, y) = \frac{1}{4}(1-x)(1-y).$$

На треугольнике относительное приращение текущего уровня равно

$$N_1^{(2)}(x, y) = \frac{x^2 + y^2 - \frac{10}{9}}{2 - \frac{10}{9}} = \frac{1}{8}(9(x^2 + y^2) - 10).$$

Заметим, что  $x^2 + y^2 = \rho^2$  – квадрат радиуса текущей окружности;  $\frac{10}{9} = r^2$  – квадрат радиуса окружности нулевого уровня, проходящей через узлы 5 и 12;  $2 = R^2$  – квадрат радиуса окружности максимального уровня, проходящей через узел 1. Если числитель и знаменатель последней формулы умножить на  $\pi$ , легко усмотреть отношение «текущей» площади кольца к максимальной площади кольца. Неудивительно, что мы снова пришли к геометрической вероятности. Окончательно, мы получаем [2]

$$N_1(x, y) = N_1^{(1)}(x, y) \cdot N_1^{(2)}(x, y) = \frac{1}{32}(1-x)(1-y)(9(x^2 + y^2) - 10).$$

Окружность нулевого уровня, как легко заметить, проходит через все промежуточные узлы, хотя необходимость в этом имеется только в узлах 6 и 11. В узлах 7,8,9,10 воз-

никают нежелательные кратные нули, которые усиливают жесткость модели. Другой недостаток этой модели – «негативизм» спектра узловых нагрузок от равномерной массовой силы. Существует ошибочное мнение, что на КЭ высших порядков «негативизм» неустрашим. Следующая модель опровергает это мнение.

Эта модель состоит из основного квадрата и двух вложенных треугольников с прямолинейными гипотенузами: 1-5-12 и 1-6-11. Относительное приращение текущего уровня на треугольнике 1-5-12 равно

$$N_1^{(2)}(x, y) = \frac{-3x - 3y - 4}{2}.$$

Эта функция определяет вероятность попадания в треугольник М-5-12 случайной точки, вброшенной в треугольник 1-5-12.

Относительное приращение текущего уровня на треугольнике 1-6-11 равно

$$N_1^{(3)}(x, y) = \frac{-3x - 3y - 2}{4}.$$

Окончательно, мы получаем «угловую» функцию альтернативного базиса в виде:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{32}(1-x)(1-y)(3x+3y+4)(3x+3y+2).$$

При таком базисе поузловое распределение равномерной массовой силы не содержит отрицательных нагрузок. Заметим, что уже этих двух базисов достаточно, чтобы с помощью взвешенного усреднения управлять спектром узловых нагрузок.

В заключение мы рассмотрим еще одну из возможных композиций, в которой используется основной квадрат и два треугольника. В треугольнике 1-5-12 гипотенуза изогнута по гиперболе. Относительное приращение текущего уровня при этом определяется так:

$$N_1^{(2)}(x, y) = \frac{3xy - 1}{2}.$$

Треугольник 1-6-11 имеет прямолинейную гипотенузу. Такой треугольник использован в предыдущей модели. Теперь «угловая» функция имеет вид:

$$N_1(x, y) = \frac{1}{32}(1-x)(1-y)(3xy-1)(-3x-3y-2).$$

Такая модель имеет вполне естественный спектр узловых нагрузок. К тому же кратных нулей здесь вдвое меньше по сравнению с моделью Эргатудиса-Айронса-Зенкевича.

**Выводы.** Геометрический анализ серендиповых поверхностей дает простой и наглядный способ конструирования базисных функций на элементах высших порядков. Этот подход легко обобщается на трехмерные модели.

New geometrical models of final elements with curvilinear boundaries are constructed.

1. Ergatoudis I., Irons B.M., Zienkiewicz O.C. Curved isoparametric, "quadrilateral" elements for finite element analysis// Int. J. Solids Struct.- Vol.4, 1968. – P.31-42.
2. Зенкевич О. Метод конечных элементов в технике. – М.: Мир, 1975. – 541с.
3. Митчелл Э., Уэйт Р. Метод конечных элементов для уравнений с частными производными. – М.: Мир, 1981. – 216с.
4. Хомченко А.Н. Некоторые вероятностные аспекты МКЭ/ Ив.-Франк. ин-т нефти и газа. Ивано-Франковск, 1982. – 9с. Деп. в ВИНТИ 18.03.82, №1213.
5. 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.
6. Козуб Н.А., Манойленко Е.С., Хомченко А.Н. Температурный тест для модифицированных базисов бикубической интерполяции// ААЭКС. - №1(19). – Херсон: ХНТУ, 2007. – С.25-30.

## MATHEMATICAL ASPECTS OF BIBLIOMETRICAL ANALYSIS OF NEUROPHYSIOLOGICAL INVESTIGATIONS OF ACTION OF NON-IONIZED RADIATION (MEDLINE-INTERNET)

Chizhenkova R.A.

**Introduction**

Interest in neurophysiological effects of non-ionized radiation - electromagnetic (EMF), magnetic (MF), and electrical fields (EF) - has existed for many centuries [8, 9]. In the middle XX-th century biological effects of microwaves (MW) became the center of attention of researchers owing to appearance of new technological approaches. Russian researches (including the author of the present work [1-3, 5, 6]) made essential contribution to development of this problem.

Bibliometrical investigation of published material on electromagnetic biology including neurophysiology was not carried out up to now. The present work is devoted just to examination of quantitative characteristics of publications of this trend.

Information accumulated in world on electromagnetic neurophysiology during 35-year period in the later half of the XX-th century (1966-2000) was considered. The state of investigations of neurophysiological effects of non-ionized radiation was analyzed on the base of the database "Medline" accessible through Internet. Quantitative characteristics of publications on the present problem were obtained according to chosen key words. Bibliometrical data concerned investigations performed in different neurophysiological objects (the brain, the cortex, neurons, nerves) with application of non-ionized radiation were examined.

Preliminary results on this problem were partly presented in our another papers [4, 7].

**Materials and methods**

Bibliometrical information on electromagnetic biology during 35-year period in the later half of the XXth century (1966-2000) was analysed. Quantitative characteristics of publications on biological effects of non-ionized radiation were considered on the base of the database "Medline" accessible through Internet. The numbers of publications on the present problem were obtained according to chosen key words. Bibliometrical data concerned investigations performed in different neurophysiological objects were studied: the brain, the cortex, neurons, nerves. Works with application of non-ionized radiation of series of kinds were examined: EMF, MW, MF and EF.

At statistical analysis of the received bibliometrical material the coefficient of correlation and Wilcoxon paired comparison test are used. Besides the comparison of the parts of the numbers of publications carried out on different neurophysiological objects in general totality and the comparison of the numbers of publications in different time periods were performed as the comparison of two selective sampling fractions of variants.

**Results**

It was found, that the number of neurophysiological papers reached 1401300 in 35-yaers period from 1966 till 2000. In addition the numbers of papers, carried out in the brain, the cortex, neurons, nerves, were 705259, 180602, 237160, 278279 correspondingly. The number of publications of investigations with application of non-ionized radiation was 21606, including works with employment of EMF (6001), MW (6920), MF (5316) and EF (3369).

Materials concerned investigations in different neurophysiological objects under action of these penetrating physical factors were considered. Received information on the numbers of publications is presented in the tables 1, 2, 3 and the figures 1, 2.

Table 1.

General data on the number of papers carried out with non-ionized radiation in different neuro-physiological objects

Objects	Characteristics of totalities		
	Total number of papers in 35 years	Average number of papers in 1 year	Sampling fraction (%)
1	3188	91.09±12.94	53.71
2	1032	29.48±5.13	17.39
3	770	22.00±3.33	12.97
4	945	27.00±4.14	15.96
5	5935	169.57±25.05	100.00

Application: 1 - the brain, 2 - the cortex, 3 - neurons, 4 - nerves, 5- sum

General quantitative data on the numbers of investigations carried out in different neuro-physiological objects with employment of non-ionized radiation are presented in table 1. This table performs what investigations made on the whole brain predominate. The indicated fact is explained by increased interest of specialists of applied sciences to this neurophysiological object for investigation of biological effects of non-ionized radiation. Moreover methodical complexity of investigations on neuronal level serves restrictive circumstance.

Mathematical comparison of the numbers of papers, carried out in the brain, the cortex, neurons, and nerves during 35-years period, is presented in table 2. Positive correlation takes place between the numbers of papers made on different neurophysiological objects. However significant distinctions between analyzed consequences exist, which is shown by means of Wilcoxon paired comparison test and with the aid of the comparison of two selective sampling fractions of variants. Hence, the numbers of papers carried out in indicated objects belong to different statistical totalities.

Table 2.

Comparison of quantitative indices of papers carried out with non-ionized radiation in different neurophysiological objects

Objects	Comparison of totalities		
	Coefficient of correlation	Wilcoxon paired comparison test ( $U$ )	Comparison of sampling fractions ( $U$ )
1 c 2	<u>0.95</u>	<u>5.14</u>	<u>42.70</u>
1 c 3	<u>0.91</u>	<u>5.09</u>	<u>49.40</u>
1 c 4	<u>0.96</u>	<u>5.09</u>	<u>47.77</u>
2 c 3	<u>0.84</u>	<u>2.98</u>	<u>6.69</u>
2 c 4	<u>0.93</u>	0.53	<u>2.07</u>
3 c 4	<u>0.90</u>	<u>2.31</u>	<u>4.63</u>

Application: significant values of coefficients of correlation and statistically significant distinctions between distributions are underlined ( $U > 1.96$  corresponds to  $p < 0.05$ ,  $U > 2.58$  corresponds to  $p < 0.01$ ); 1 - the brain, 2 - the cortex, 3 - neurons, 4 - nerves.

Dynamics of quantitative indices of investigations of action of non-ionized radiation on neurophysiological objects during analyzed 35-year period is demonstrated in fig. 1 and 2.

Fig. 1 shows the essential increase of the numbers of papers, carried out in neurophysiological objects with considered physical factors. The greatest increase is observed in investigations on the brain. The dependence of number of papers on analyzed time period is circumscribed by exponential function.

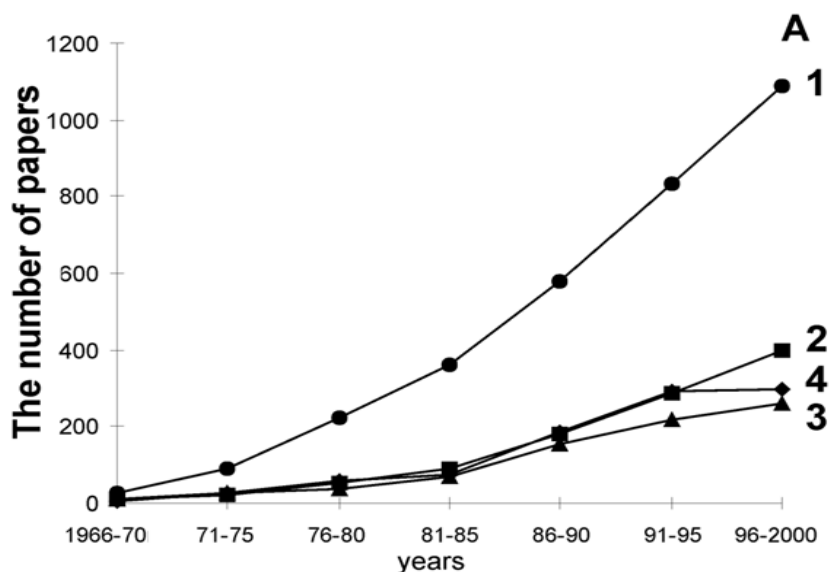


Fig. 1. Dynamics of the numbers of papers carried out on different neurophysiological objects with non-ionized radiation during 35-year time interval. 1 - the brain, 2 - the cortex, 3 - neurons, 4 - nerves.

Fig. 2 demonstrates dynamics of the parts of corresponding papers in the general totality of investigations of biological effects of the physical factors. The increase of the parts of neurophysiological papers in the general totality is observed but to the lesser extent than at the above-mentioned events.

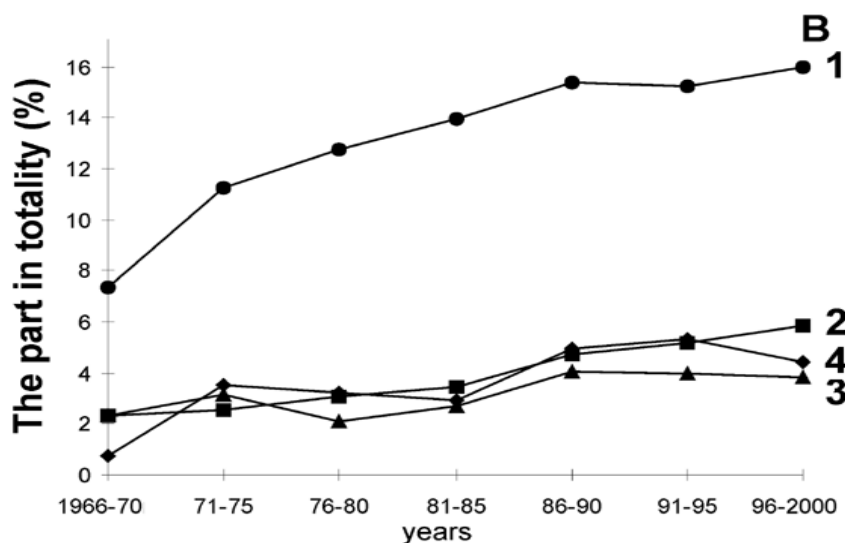


Fig. 2. Dynamics of the parts of papers carried out on different neurophysiological objects in the general totality of investigations with non-ionized radiation during 35-year time interval. 1 - the brain, 2 - neocortex, 3 - neurons, 4 - nerves.

Statistical characteristics of events were reflected in fig. 2 are presented in table 3. Statistically significant increase takes place in all cases excepting investigations on neuronal level.

**Conclusion**

Performance of the present bibliometrical investigations made it possible to arrive at the following conclusion.

The number of papers on biological effects of non-ionized radiation is too big. But among them papers carried out in neurophysiological objects is little. The case of this fact is the preva-

lence of study in sphere of applied aspects of the problem - dosimetrical, hygienic, therapeutic [4, 7].

Clear dynamics of quantity of publications about biological influence of physical factors including papers carried out in neurophysiological objects exists. Besides absolute quantity of the latter papers and them parts in the general totality of investigations of biological effects of non-ionized radiation to the lesser extent increase.

On the whole fundamental investigations of activity of the brain are played no enough attention to. However, in the future they will hold a leading position in solution of the problem of biological action of these factors, since they will make it possible to uncover genesis and patterns of reactions of organism. Undoubtedly, the greatest importance will belong to investigations on neuronal level [1-3, 5, 6].

Table 3

Comparison of parts of neurophysiological papers in the general totality of investigations carried out with non-ionized radiation in different time periods

Objects	Comparison of indices for first five years with data for following five-year periods (values <i>U</i> )					
	Second five-year-period	Third five-year-period	Fourth five-year-period	Fifth five-year-period	Sixth five-year-period	Seventh five-year-period
1	<u>2.19</u>	<u>3.24</u>	<u>3.99</u>	<u>4.83</u>	<u>4.79</u>	<u>5.24</u>
2	0.32	0.896	1.24	<u>2.51</u>	<u>2.99</u>	<u>3.51</u>
3	0.91	0.23	0.48	1.87	1.80	1.70
4	<u>3.37</u>	<u>3.32</u>	<u>3.08</u>	<u>5.21</u>	<u>5.55</u>	<u>4.78</u>

Application: statistically significant distinctions between totalities are underlined ( $U > 1.96$  corresponds to  $p < 0.05$ ,  $U > 2.58$  corresponds to  $p < 0.01$ ); 1 - the brain, 2 - the cortex, 3 - neurons, 4 - nerves.

Investigations supported by the Grant of Russian Foundation of Fundamental Investigations No. 00-04-48139.

Представлены библиометрические данные по исследованиям, выполненным на нейрофизиологических объектах (целостный мозг, кора больших полушарий, нейроны, нервы) с применением электромагнитных, магнитных и электрических полей. Рассмотрены количественные характеристики публикаций выбранных направлений за 35-летний интервал времени (1966-2000). Проанализированы числа статей указанных типов. Сделано заключение о перспективах исследований действия неионизирующей радиации на нейрофизиологических объектах.

1. Chizhenkova R.A. Slow potentials and spike unit activity of the cerebral cortex of rabbits exposed to microwaves. *Bioelectromagnetobiology*, 1988, v. 9, No. 3, pp. 337-345.
2. Chizhenkova R.A. Impulse fluxes of neuronal populations of the cerebral hemispheres on exposure to weak ultrahigh frequency electromagnetic radiation. *Biophysics*, 2003, v. 48, No. 3, pp. 509-515.
3. Chizhenkova R.A. Pulse flows of populations of cortical neurons under microwave exposure of different intensity. *Bioelectrochemistry*, 2004, v. 63, No. 1-2, pp. 343-346.
4. Chizhenkova R.A. Bibliometrical review of neurophysiological investigation of action of non-ionized radiation in second half of the XXth century. *Biophysics*, 2005, v. 50, supplement No. 1, pp. 163-172.

5. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. Effect of low-intensity microwaves on the behavior of cortical neurons. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 1993, v. 30, No. 1, pp. 287-391.
6. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A. Electrical reactions of the brain to microwave irradiation. *Electro- and Magnetobiology*, 1996, v. 15, No. 3, pp. 253-258.
7. Chizhenkova R.A., Safroshkina A.A., Slashcheva N.A., Chernukhin V.Yu. Bibliometrical analysis of neurophysiological aspects of action of non-ionized radiation. *Uspekhi sovremennoy biologii*, 2004, v. 124, No. 5, pp. 472-479.
8. Kholodov Yu.A. Influence of electromagnetic fields on central nervous system. Moscow: Nauka, 1966. 283 p.
9. Kholodov Yu.A. Reactions of nervous system on electromagnetic fields. Moscow: Nauka, 1975. 207 p.

УДК 681.63, 519.872

## ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ GRID-УЗЛОВ С ОЧЕРЕДЬЮ ДОСТУПА К ОБЩЕЙ ПАМЯТИ<sup>1</sup>

Шелестов А.Ю

### Введение

В настоящее время усложнение инфраструктуры распределенных информационных систем привело к необходимости развития подходов к их моделированию. Системный подход к решению этой задачи предложен в [1], а более детально его применение описано в [2]. Одной из наиболее перспективных технологий построения распределенных систем является Grid-технология, которая обеспечивает решение вычислительно сложных задач с использованием распределенных хранилищ данных и вычислительных ресурсов [3]. Для моделирования подобных систем могут использоваться различные подходы, каждый из которых не позволяет провести комплексное исследование. Достаточно полный обзор существующих моделей содержится в [4, 5].

В данной работе для моделирования динамики Grid-систем предлагается использовать сети Петри [6], поскольку такие системы представляют собой набор взаимодействующих друг с другом компонентов (узлов различного типа), которые могут функционировать параллельно и работа которых должна быть синхронизована. Именно при исследовании Grid-систем наблюдения Земли все эти вопросы являются очень актуальными.

### Постановка задачи

Основным элементом структурной модели Grid-системы наблюдения Земли [2] является вычислительный узел, выполняющий вычислительные задачи или задачи доступа к данным хранилища (информационный узел) по запросу пользователя или в режиме операционного сервиса. Поскольку узел может содержать несколько различных физических вычислительных устройств (процессоров или многопроцессорных компьютеров), которые используют общую память, то работа отдельных устройств координируется управляющими узлами. Поэтому вычислительные, информационные и управляющие узлы (планировщики) следует рассматривать как базовые элементы распределенной системы доступа и обработки данных. Задача состоит в построении Grid-системы, обеспечивающей прозрач-

---

<sup>1</sup> Работа выполнена в рамках темы НАНУ «Интеллект», а также при поддержке гранта INTAS-CNES-NSAU “Data Fusion Grid Infrastructure” (Ref. Nr 06-100024-9154).



ную обработку пользовательских запросов на поиск/обработку данных, синхронизацию доступа, обработку данных и предоставление результатов обработки. Такая система относится к Grid-системам смешанного типа (т.е. является и вычислительной и информационной [3]), поскольку содержит как высокопроизводительные вычислительные узлы, так и обеспечивает доступ к данным распределенных хранилищ [5].

Синхронизация доступа к данным и их корректная обработка предполагает выполнение некоторых базовых свойств, а именно: *взаимное исключение* (mutex) — синхронизация событий при обработке данных, когда два или более вычислительных узла не могут одновременно получить доступ к одним и тем же данным; *справедливость* (fairness) — отсутствие «дискриминации» заданий. Если пользователь сформировал запрос (задание) и отправил его в систему, то это свойство гарантирует, что обязательно наступит момент, когда это задание начнет выполняться и будет выполнено; *отсутствие блокировок* (deadlock free) — в системе не может возникнуть ситуация взаимной блокировки вычислений или доступа к данным (общим или распределенным).

С учетом высокой стоимости компонентов Grid-систем перед построением системы необходимо построить ее модель и исследовать свойства. Построим модель функционирования вычислительного узла с общей памятью и исследуем свойства этой модели. Учитывая специфику работы Grid-системы и необходимость синхронизации доступа к общим сегментам данных при организации параллельных вычислений, в качестве средства моделирования воспользуемся аппаратом сетей Петри.

Поскольку для регламентирования доступа к общей памяти в реальных Grid-системах используется очередь, введем ее в модель и проанализируем основные свойства полученной сети Петри. При этом будем считать, что управление очередью тоже осуществляется управляющим узлом (планировщиком).

Модель взаимодействия вычислительного и управляющего узлов в виде сети Петри

Модель работы вычислительного узла с 4 процессорами, обрабатывающего задания пользователя под управлением планировщика, показана на рис. 1. Эта модель представляет собой одноцветную сеть Петри вида

$$C = (P, T, A), \quad (1)$$

где

$$P = \{ p_1, p_2, \dots, p_n \}, n = 14 - \quad (2)$$

множество позиций,

$$T = \{ t_1, t_2, \dots, t_m \}, m = 9 - \quad (3)$$

множество переходов,  $A$  –  $(n \times m)$  матрица инцидентности графа сети, связывающая позиции с переходами сети.

Если элемент  $A_{ij}=0$ , значит  $i$ -я позиция и  $j$ -й переход не связаны между собой, если  $A_{ij}=k>0$ , значит в результате запуска  $j$ -й перехода в  $i$ -й позиции добавляется  $k$  фишек, если  $A_{ij}=k<0$ , значит в результате запуска  $j$ -й перехода из  $i$ -й позиции удаляется  $k$  фишек.

Начальное состояние СП, представленной на рис. 1, описывается разметкой

$$M_0 = (\text{proc, query, want, work, wait, free, busy, 2, 3, 4, 5, 6, block, dop}) = \\ = (5, 4, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0).$$

Позиции и переходы в данной сети Петри (СП) имеют следующую семантику: *proc* — свободные в данный момент времени процессоры; *query* — запрос на выполнение задания от пользователя; *want* — процессор активен и может приступить к работе; *work* — процессор получил доступ к общей памяти и выполняет вычисления; *wait* (1) — активный процессор находится первым в очереди и ожидает доступа к общей памяти; *block* — при *отсутствии* фишек в этой позиции блокируется доступ к общей памяти, если она занята другим процессором; *free* — управляющий узел сигнализирует о снятии блокировки общей памяти; *busy* — управляющий узел сигнализирует о том, что общая память заблокирована для доступа; 2, 3 — вторая и третья позиции в очереди глубины 3, соответственно; 4, 5, 6 — вспомогательные позиции, с помощью которых выполняется перемещение зада-

ний в очереди; dop — вспомогательная позиция, обеспечивающая преобразование полуцикла в цикл для удобства анализа свойств сети.

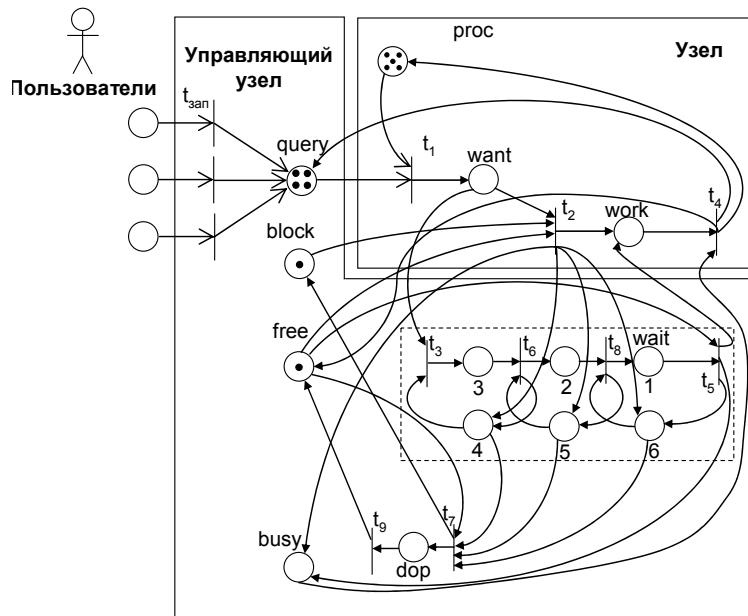


Рис. 1. Модель взаимодействия вычислительного и управляющего узлов при работе над общей памятью с глубиной очереди 3

Из семантики позиций следует следующий смысл переходов:

$t_{\text{зап}}$  — наличие запроса на обработку данных;  $t_1$  — один из свободных процессоров готов к обработке запроса;  $t_2$  — процессор получает доступ к общей памяти;  $t_3$  — активный процессор становится в очередь на доступ к общей памяти;  $t_4$  — процессор завершил работу с общей памятью и она разблокирована;  $t_5$  — активный процессор из состояния ожидания переходит в состояние работы с общей памятью, при этом одновременно происходит перемещение элементов очереди;  $t_6, t_8$  — активный процессор перемещается по очереди;  $t_7$  — при отсутствии элементов в очереди к общей памяти разблокируется переход активного процессора в состояние работы. Переход  $t_9$  выполняет вспомогательную роль для модификации структуры сети Петри с целью преобразования полуцикла в цикл. Это сделано во избежание неоднозначностей в процессе последующего анализа сети.

При появлении запроса пользователя на выполнение задания срабатывает сначала один из переходов  $t_{\text{зап}}$ , а затем, при наличии свободных процессоров, переход  $t_1$ . В результате этого один из свободных процессоров переходит в состояние активности (готовности к работе), т.е. фишка переходит в позицию *want*. Если одновременно поступает несколько запросов, то при отсутствии маркера в позиции *block* первый из них выполняется (фишка помещается в позицию *work*), а последующие запросы будут перенаправлены в очередь при наличии в ней свободных мест. Выполнение запросов, не попавших в очередь, будет задержано отсутствием маркера во вспомогательной позиции 4. Дальнейшая работа модели очевидна.

#### Исследование структурных свойств модели

*Утверждение 1.* Представленная на рис. 1 сеть Петри, описывающая модель функционирования вычислительного узла Grid-системы с очередью доступа к общей памяти, является ограниченной, живой и не содержит недостижимых позиций.

*Доказательство.* Для доказательства этого утверждения воспользуемся уравнением состояний

$$Ax=0, \quad (4)$$

где  $A$  — целочисленная  $n \times m$  матрица инцидентности сети Петри,  $n$  и  $m$  — мощности множеств  $P$  и  $T$  соответственно, а  $x$  —  $m$ -мерный вектор Париха [7].

Размерность матрицы инцидентности  $A$  в (4) для данной сети Петри составляет  $14 \times 9$  (14 уравнений, 9 неизвестных), а вектора Париха  $x$  — 9.

С помощью уравнения состояния (4) определим S- и T-инварианты сети Петри. Это и даст возможность выявить мертвые переходы, недостижимые позиции и проверить ограниченность сети. Для получения множества S- и T-инвариантов сети Петри используется TSS-алгоритм [8, 9], который позволяет построить минимальную порождающую систему решений однородной системы линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел  $\mathbb{N}$ . В соответствии с TSS-алгоритмом система диофантовых уравнений (4) имеет 2 решения:

$$x_1 = \{1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0\}^T, x_2 = \{1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1\}^T.$$

На основе решений этой системы можно построить T-инварианты (табл. 1).

Табл. 1

T-инварианты сети Петри, представленной на рис. 1

$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$
1	0	1	1	1	1	0	1	0
1	1	0	1	0	0	1	0	1

Поскольку в табл. 1 нет ни одного столбца, содержащего только нулевые элементы, значит, все переходы в сети Петри являются живыми при данной начальной разметке, т.е. каждый переход в сети срабатывает хотя бы один раз. Несложно удостовериться, что это свойство выполняется и для других возможных начальных разметок (варьироваться может число фишек в позициях *queue* и *rgos*). Следствием этого факта является *отсутствие тупиков*, когда в системе не может возникнуть ситуации взаимной блокировки вычислений или доступа к данным (общим или распределенным). Действительно, тупик возникает в сети Петри, если нельзя запустить один или несколько переходов. Поскольку все переходы являются живыми (активными), то сеть Петри обладает требуемым свойством — характеризуется отсутствием тупиков.

Сгенерируем S-инварианты данной сети Петри. Для этого найдем решения системы уравнений

$$A^T y = 0, \tag{5}$$

где  $A$  — целочисленная  $n \times m$  матрица инцидентности сети Петри,  $t$  — символ транспонирования матрицы,  $y$  —  $n$ -мерный вектор.

Решая систему диофантовых уравнений (5), содержащую 9 уравнений и 14 неизвестных, получаем S-инварианты сети Петри. Как следует из этого множества инвариантов, сеть *ограничена*, поскольку все позиции покрываются положительными инвариантами. Это означает, что ни в одной позиции сети не может скапливаться бесконечное число фишек. Из множества решений системы (5) также следует, что все позиции в сети являются *достижимыми*, т.е. модель не содержит лишних позиций.

Покажем достижимость в этой сети из начальной разметки

$$M_0 = (proc, query, want, work, wait, free, busy, 2, 3, 4, 5, 6, block, dop)^T = (5, 4, 0, 0, 0, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 0)^T \tag{6}$$

разметки  $M = (1, 0, 0, 1, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0)^T$ , определяющей выполнение одного из запросов и ожидание в очереди на доступ к общей памяти остальных процессоров.

Для этого рассмотрим систему линейных неоднородных диофантовых уравнений (СЛНДУ) вида

$$Ax = M - M_0, \tag{7}$$

где  $A$  — целочисленная  $n \times m$  матрица инцидентности сети Петри из (4),  $n$  и  $m$  — мощности множеств позиций  $P$  и переходов  $T$  соответственно, а  $x$  —  $m$ -мерный вектор Париха.

Для данной СП уравнение (7) имеет вид

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 & -1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & -1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} x = \begin{bmatrix} -4 \\ -4 \\ 0 \\ 1 \\ 1 \\ -1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

Среди решений системы (8) будут следующие

$$x_1 = (1, 0, 1, 1, 1, 1, 0, 1, 0, 0)^T, x_2 = (4, 1, 3, 0, 0, 2, 0, 1, 0, 1)^T. \quad (9)$$

Соответствие компонентов векторов этих решений переходам сети Петри представлено в табл. 2.

Табл. 2

Соответствие решений системы (9) переходам в СП из рис. 1

$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_4$	$t_5$	$t_6$	$t_7$	$t_8$	$t_9$	$t_0$
1	0	1	1	1	1	0	1	0	0
4	1	3	0	0	2	0	1	0	1

Последний столбец таблицы 2 соответствует фиктивному переходу  $t_0$ , используемому при преобразовании неоднородной системы уравнений в однородную. Соответственно, решение  $x_1$  можно отбросить, поскольку последний компонент этого вектора равна 0 (а не 1). Решение  $x_2$  (последний компонент которого равна 1) показывает, что данная разметка М в сети достижима путем четырехкратного срабатывания перехода  $t_1$ , однократного срабатывания перехода  $t_2$ , трехкратного срабатывания перехода  $t_3$ , двукратного срабатывания перехода  $t_6$  и однократного срабатывания перехода  $t_8$ .

Таким образом, модель вычислительного узла в виде сети Петри является живой, ограниченной и все позиции в сети являются достижимыми, включая разметку, определяющую корректную работу процессоров над общей памятью.

Утверждение 1 доказано.

### Исследование свойства отсутствия блокировок

*Определение. Ловушкой* [6] называется такое непустое подмножество Q позиций в СП, которое удовлетворяет условию

$$Q_i \bullet \subseteq \bullet Q_i, \quad (10)$$

т.е. если входная позиция перехода  $t$  принадлежит некоторому множеству Q, то и все выходные позиции этого перехода тоже принадлежат множеству Q.

Очевидно, выполняется следующее свойство ловушки: если хотя бы одна позиция ловушки помечена начальной разметкой, то множество позиций ловушки всегда будет содержать ненулевое число фишек. Исходя из этого факта, построим минимальное множество ловушек и рассмотрим разметки их позиций. Для простоты множество входных позиций перехода  $t_i$  будем обозначать  $\bullet t_i$ , а множество выходных позиций этого перехода -  $t_i \bullet$ .

Процесс нахождения минимального множества ловушек состоит из трех этапов:

1. Построение множеств  $\bullet t_i$  и  $t_i \bullet$  для всех переходов  $t$  в СП.
2. Построение системы логических зависимостей на основе результатов п. 1.

3. Построение системы линейных однородных диофантовых неравенств (СЛОДН), отвечающих системе логических зависимостей из п. 2.

Решение полученной системы СЛОДН позволяет получить минимальное множество ловушек данной СП.

Выполним каждый из этих этапов анализа для СП, представленной на рис. 1. Из рисунка видно, что множества входных и выходных позиций  $\bullet t_i$  и  $t_i \bullet$ ,  $\forall t_i, i = \overline{1,9}$  включают следующие элементы.

$$\begin{array}{lll}
 \bullet t_1 = \{proc, query\} & \bullet t_7 = \{4, 5, 6, free\} & t_4 \bullet = \{proc, query, free\} \\
 \bullet t_2 = \{want, block, free\} & \bullet t_8 = \{2, 6\} & t_5 \bullet = \{work, busy, 6\} \\
 \bullet t_3 = \{want, 4\} & \bullet t_9 = \{dop\} & t_6 \bullet = \{2, 4\} \\
 \bullet t_4 = \{wort, busy\} & t_1 \bullet = \{want\} & t_7 \bullet = \{block, dop\} \\
 \bullet t_5 = \{wait, free\} & t_2 \bullet = \{work, busy, 4, 5, 6\} & t_8 \bullet = \{wait, 5\} \\
 \bullet t_6 = \{3, 5\} & t_3 \bullet = \{3\} & t_9 \bullet = \{free\}
 \end{array} \quad (11)$$

Пользуясь этой информацией, построим систему логических зависимостей между позициями (в соответствии с п. 2) и выполним ее эквивалентное преобразование с учетом соотношения

$$A \rightarrow B \Leftrightarrow \neg A \vee B. \quad (12)$$

Получим

$$\begin{array}{ll}
 \neg proc \vee want, & \neg query \vee want, \\
 \neg want \vee work \vee busy \vee 4 \vee 5 \vee 6, & \neg want \vee 3, \\
 \neg block \vee work \vee busy \vee 4 \vee 5 \vee 6, & \neg free \vee work \vee busy \vee 4 \vee 5 \vee 6, \\
 \neg free \vee block \vee dop, & \neg work \vee proc \vee query \vee free, \\
 \neg busy \vee proc \vee query \vee free, & \neg wait \vee work \vee busy \vee 6, \\
 \neg 3 \vee 2 \vee 4, & \neg 5 \vee 2 \vee 4, \\
 \neg 5 \vee block \vee dop, & \neg 6 \vee block \vee dop, \\
 \neg 4 \vee block \vee dop, & \neg 6 \vee wait \vee 5, \\
 \neg 2 \vee wait \vee 5, & \neg dop \vee free.
 \end{array} \quad (13)$$

Переходя к третьему этапу нахождения минимального множества ловушек (в соответствии с п. 3), на основе системы (13) построим матрицу D размерности 18×14, столбцы которой соответствуют позициям в СП, а строки — логическим зависимостям системы (13)

$$D = \begin{pmatrix}
 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & -1 & 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 \\
 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & -1 & 0 & 0 \\
 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1
 \end{pmatrix} \quad (14)$$

Столбцы матрицы D в (14) соответствуют позициям СП в следующем порядке:

$$\begin{array}{lll}
 1 — block & 6 — query & 11 — 4 \\
 2 — wait & 7 — work & 12 — 5 \\
 3 — busy & 8 — want & 13 — 6 \\
 4 — free & 9 — 2 & 14 — dop \\
 5 — proc & 10 — 3 & 
 \end{array} \quad (15)$$

Матрица D в (14) определяет СЛОДН

$$Dx \geq 0, \quad (16)$$

которую путем введения дополнительных неизвестных можно преобразовать к системе линейных однородных диофантовых уравнений (СЛОДУ)

$$By = 0, \quad (17)$$

где матрица B размерности  $18 \times 32$  имеет вид:

$$B = [D \mid C], \quad (18)$$

где C — диагональная матрица размерности  $(18 \times 18)$ , все ненулевые элементы которой равны -1.

Решениями СЛОДУ (17) являются 78 векторов, определяющие минимальное множество ловушек. Анализируя это множество решений, несложно удостовериться, что все ловушки содержат хотя бы одну позицию, помеченную начальной разметкой

$$\begin{aligned}
 M_0 = (\text{block, wait, busy, free, proc, query, work, want, 2, 3, 4, 5, 6, dop}) = \\
 = (1, 0, 0, 1, 5, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)
 \end{aligned} \quad (19)$$

Поскольку данная СП не является сетью свободного выбора или расширенной СП свободного выбора, то это является необходимым (но не достаточным) условием отсутствия блокировок в сети. Следовательно, в данной СП *выполняется необходимое условие отсутствия блокировок*.

Для проверки выполнения достаточного условия отсутствия блокировок нужно построить и исследовать достижимость состояний в транзитивной системе [10], соответствующей данной СП, что и будет сделано ниже при проверке выполнения свойства справедливости.

Исследование свойства взаимного исключения

Перейдем к исследованию выполнения свойства взаимного исключения, т.е. удостоверимся, что в данной СП невозможна ситуация одновременной работы двух или более процессоров с общей памятью.

Для этого рассмотрим систему линейных неоднородных диофантовых уравнений (СЛНДУ) вида

$$Dx = M - M_0, \quad (20)$$

где D — целочисленная матрица инцидентности сети Петри размерности  $n \times m$ ,  $n$  и  $m$  — мощности множеств позиций  $P$  и переходов  $T$  соответственно (для данной модели  $n=14$  и  $m=9$ ), а  $x$  —  $m$ -мерный вектор Париха; вектор

$$M_0 = (\text{block, wait, busy, free, proc, query, work, want, 2, 3, 4, 5, 6, dop})^T$$

$= (1, 0, 0, 1, 5, 4, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0)^T$  определяет начальную разметку СП, а вектор

$$M = (0, 0, 1, 0, 1, 0, 2, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0)^T$$

соответствует гипотетической разметке сети в случае двух одновременно работающих процессоров (седьмой элемент вектора M принимает значение 2). Рассмотрим соответствующую расширенную однородную систему. Она имеет единственное решение

$$\tilde{x} = (1, 1, 0, 1, 0, 0, 1, 0, 1, 0)^T. \quad (22)$$

Поскольку последний компонент вектора решения  $\tilde{x}$  в (22) равен 0 (а не 1), то исходная система неоднородных уравнений не имеет решений. Следовательно, разметка M в данной СП недостижима, и два процессора не могут одновременно работать над общей памятью. Этот же результат можно получить путем анализа транзитивной системы или

графа достижимости, который будет построен в следующем разделе. Аналогично можно убедиться в выполнении свойства взаимного исключения для других разметок  $M$ .

#### **Исследование свойства справедливости**

Для исследования свойства справедливости построим транзитивную систему, соответствующую СП на рис. 1. Анализ достижимых разметок свидетельствует о выполнении свойства справедливости: если некоторая задача попала в очередь, то она обязательно получит доступ к общей памяти. При появлении активного процессора (1 в позиции 3) в разметке  $\mu$  из этой разметки достижима разметка  $\mu'$ , при которой фишка перемещается в позицию wait, а затем и в позицию work. А это означает, что процессор рано или поздно получит доступ к соответствующему ресурсу (памяти, данным и т.п.).

При этом единственным способом получения доступа к общей памяти после начала выполнения первого задания является прохождение через очередь (это условие обеспечивается позицией block в СП).

#### **Выводы**

В данной статье представлена имитационная модель функционирования узла Grid-системы при работе с общей памятью с учетом очереди на использование общих ресурсов. В качестве средства моделирования применены сети Петри. Выбор математического аппарата для моделирования объясняется необходимостью обеспечения синхронизация доступа к общим ресурсам (данным) Grid-системы при выполнении параллельных вычислений. Анализ предлагаемой модели выполнен на основе уравнений состояний сети, для решения которых применяется TSS-алгоритм решения систем линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел, а также построения транзитивной системы или графа достижимости. Анализ построенной модели позволяет утверждать, что она обладает необходимыми свойствами сетей Петри, т.е. является живой, ограниченной и все ее позиции являются достижимыми. Доказано выполнение базовых свойств, необходимых для обеспечения синхронизации доступа к данным и их корректной обработки на узлах Grid-системы. В частности, доказано выполнение необходимых и достаточных условий отсутствия блокировок, с помощью графа достижимости проверено выполнение свойств справедливости и взаимного исключения. Таким образом, все необходимые структурные и поведенческие свойства модели выполняются, что гарантирует корректную работу моделируемой Grid-системы в реальной среде.

In this paper the model of the Grid nodes cooperation with common memory access queue was constructed using Petri network approach. The structural properties of this model were investigated. In particular, was shown, that constructed network is bounded, living and haven't the inaccessible places. For constructed model was also performed the feasibility analysis of the mutex and fairness properties.

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ: проблемы, методология, приложения. — К.: Наукова думка, 2005. — 744 с.
2. Шелестов А.Ю. Структурно-функциональный анализ компонентов Grid-систем// Проблемы управления и информатики.— 2007.— № 5. — С.
3. Krauter K., Buyya R., Maheswaran M. A Taxonomy and Survey of GRID Resource Management Systems and Distributed Computing // Software-Practice and Experience, John Wiley & Sons, Ltd. — 2001. — P. 1–10.
4. Менаске Д., Алмейда В. Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование. — ДиаСофт, 2003. — 480 с.
5. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю., Лобунец А.Г. Применение методов операционного анализа для оценки производительности GRID-систем// Кибернетика и вычислительная техника. – 2004. – Выпуск 144. – С. 3-20.
6. Дж. Питерсон Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с.

7. Parikh R. On Context-Free Languages// J. of the ACM, 13, #4, 1966. — PP. 570-581.
8. Кривой С.Л. Критерий совместности систем линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел// Доповіді НАНУ, 1999. — № 5. — С. 107-112.
9. Krivoi S. A criteria of Compatibility Systems of Linear Diophantine Constraints // Lecture Notes in Comp. Science. — 2002, № 2328. — С. 264-271.
10. Летичевський О.А. Сучасні проблеми кібернетики. Нормативний курс. Навчальна електронна бібліотека факультету кібернетики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка// <http://www.unicyb.kiev.ua/Library/>.

УДК 621.313.333

## АНАЛИЗ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПО ДАННЫМ КАТАЛОГА

Китаев А.И., Глухова В.И.

Разработка системы автоматического управления или электропривода связана с выбором оптимального приводного электрического двигателя. Эта задача решается на основе рассмотрения ряда вариантов построения системы. Причем на этапе проектирования нужных двигателей в наличии может и не быть. Поэтому оценка их функциональных возможностей на основе лабораторных испытаний исключается. И тогда перед разработчиками стоит проблема получения необходимой информации по параметрам схемы замещения и характеристикам двигателя расчетным путем, располагая лишь данными каталога.

Ниже приведено решение такой задачи применительно к асинхронным двигателям (АД), для которых в каталоге оговариваются следующие показатели: номинальное напряжение; номинальная мощность на валу -  $P_{2H}$ ; перегрузочная способность  $\lambda_M$  или отношение максимального момента  $M_M$  к номинальному  $M_H$ ; коэффициент кратности пускового момента  $M_D$  к номинальному с обозначением  $\lambda_D$ ; коэффициент кратности пускового тока  $I_{1D}$  к номинальному  $I_{1H}$  с обозначением  $K_I$ ; коэффициент мощности  $\cos \varphi_{1H}$  и к.п.д. в номинальном режиме работы  $\eta_H$ .

Попытки решения этой задачи предлагались. Например, в [1] дана методика построения моментной и механической характеристики АД по каталожным данным на основе упрощенной формулы Клосса. Однако автор, предложив свой прием, не сделал акцент на большое расхождение между расчетными и экспериментальными (каталожными) данными. Например, если критическое скольжение  $s_k$  выбрано по условию обеспечения  $\lambda_M$ , то значения  $\lambda_D$  будут отличаться между собой примерно в два раза.

В настоящей работе раскрываются причины этих расхождений и дается методика более развернутого исследования АД с определением параметров схемы замещения, векторной диаграммы и их использованием для расчета рабочих характеристик

Решение построено на использовании метода эквивалентного генератора (МЭГ) и отвечает на основные, сформулированные выше вопросы.

**Определение моментной и механической характеристики или зависимостей момента  $M$  от скольжения  $s$  и частоты вращения ротора  $n_2$ .**

Как известно [1-3], для расчета момента АД обращаются к исходной формуле:

$$M = \frac{m_1 I_2'^2 R_2'}{\omega_1 s}, \quad (1)$$

где  $m_1$  - число фаз;  $I_2'$  - приведенное значение тока роторной цепи;  $R_2'$  - приведенное значение активного сопротивления в цепи ротора;  $\omega_1$  - угловая скорость вращения магнитного поля статора.



Далее ведут поиск тока  $I'_2$ , обращаясь к Т-образной схеме замещения АД (см. рис.1 а,б), подставляют его в уравнение (1), выполняют исследование функции на экстремум по переменной  $s$  и в итоге получают приближенные аналитические соотношения для определения критического скольжения  $s_K$ , максимального момента  $M_M$  и формулы Клосса [3].

Изменим подход и найдем ток  $I'_2$ , используя МЭГ, в соответствии с которым возможна замена схемы замещения согласно рис.1 на более простую схему замещения активного двухполюсника (см. рис.1 в). Отсюда следует

$$I'_2 = \frac{U'_{20}}{\sqrt{\frac{R_2'^2}{s^2} + z_{BX}^2 + 2 \frac{R_2'}{s} z_{BX} \cos \varphi_{BX}}}, \quad (2)$$

где  $U'_{20}$  - приведенное значение напряжения холостого хода на зажимах обмотки ротора;  
 $z_{BX}, \varphi_{BX}$  - модуль и аргумент входного сопротивления.

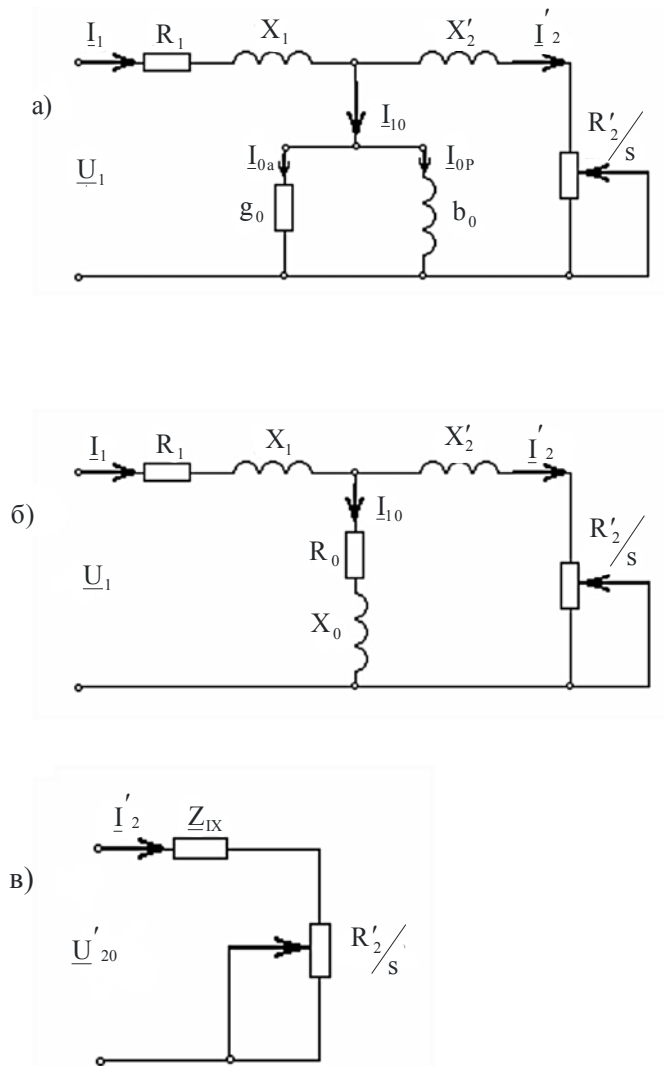


Рис. 1 Схемы замещения АД

Тогда после подстановки  $I'_2$  в формулу (1) и последующего исследования функции  $M = f(s)$  получим без ущерба для точности те же показатели в более простой и компактной форме, а именно:

$$s_K = \frac{R_2'}{z_{BX}}, \quad (3); \quad M_M = \frac{K}{2(1 + \cos \varphi_{BX})}, \quad (4); \quad \frac{M}{M_M} = \frac{2(1 + \cos \varphi_{BX})}{\frac{s_K}{s} + \frac{s}{s_K} + 2 \cos \varphi_{BX}}, \quad (5)$$

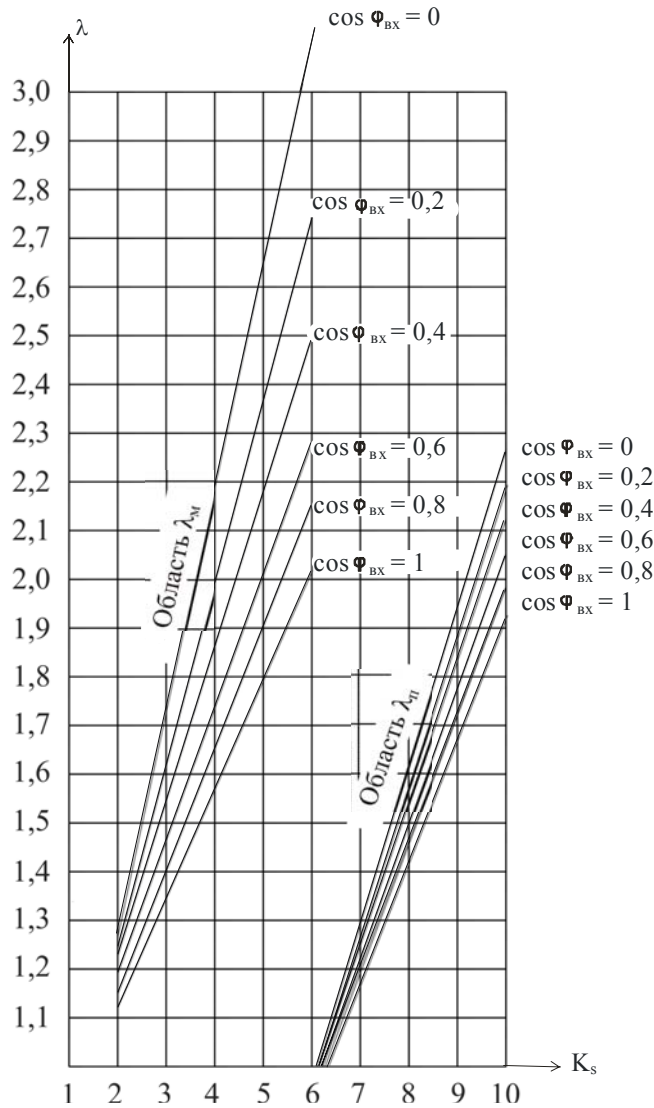
где  $K = \frac{m_1 U_{20}^2}{\omega_1 z_{BX}}$  - коэффициент.

Используем (5) для составления следующих выражений для  $\lambda_M$  и  $\lambda_{II}$

$$\lambda_M = \frac{1 + k_S^2 + 2k_S \cos \varphi_{BX}}{2(1 + \cos \varphi_{BX})k_S}; \quad \lambda_{II} = \frac{(1 + k_S^2 + 2k_S \cos \varphi_{BX})s_H}{1 + (k_S s_H)^2 + 2k_S s_H \cos \varphi_{BX}};$$

где  $k_s$  - коэффициент связи между критическим и номинальным скольжениями, т.е.  $k_s = \frac{s_k}{s_H}$

Исследуем поведение  $\lambda_M$  и  $\lambda_{II}$ , приняв диапазон изменения  $k_S$  от двух до десяти, а  $\cos \varphi_{BX}$  от нуля до единицы при дискретности соответственно 1 и 0,1. Результаты вычислений при выборе  $s_H = 0,025$  представлены в графическом изображении на рис.3 и убеждают в том, что  $\lambda_M$  и  $\lambda_{II}$  - это два самостоятельных семейства кривых, не имеющих общих зон. Следовательно, АД при изменении скольжения меняет значения критического скольжения, входного сопротивления и  $\cos \varphi_{BX}$ , что необходимо учитывать при расчете моментной характеристики. Это определило потребность в разработке нового алгоритма с последовательностью операций, перечисленных в таблице 1.



Как показали результаты расчетов  $M = f(s)$ , новая методика позволила исключить упомянутые выше расхождения, поскольку аналитические соотношения увязаны с заданными каталожными данными.

Алгоритм расчета моментной характеристики

№	Наименование операции	Порядок определения или расчетная формула	Примечание
1	Расчет значений номинального, максимального и пускового моментов	$M_H = \frac{P_{2H}}{\omega_1(1-S_H)}; M_M = \lambda_M \cdot M_H;$ $M_{II} = \lambda_{II} \cdot M_H$	$s_H, \lambda_M, \lambda_{II}$ берутся по каталогу
2	Расчет номинального и пускового токов статорной обмотки	$I_{1H} = \frac{P_{2H}}{\sqrt{3} \cdot U_{1H} \cdot \eta_H \cdot \cos \varphi_{1H}}; I_{1n} = K_I \cdot I_{1H}$	$P_{2H}, \cos \varphi_{1H}, \eta_H$ и $K_i$ берутся по каталогу
3	Определение $K_{СП}$ по заданному значению $\lambda_{II}$ и кривым рис.3	Через $\lambda_{II}$ проводится линия параллельная оси абсцисс. Точки её пересечения с кривыми семейства $\lambda_{II} = f(K_S)$ дают диапазон возможных значений $K_{СП}$ .	Из-за узости диапазона возможен выбор $K_{СП}$ по среднему значению
4	Расчет активного сопротивления обмотки ротора	$R_2' = \frac{M_{II} \cdot \omega_1}{m_1 \cdot I_{2II}^2}$	Делается допущение, что $I_{2II}^2 = I_{1II}$
5	Определение модуля $Z_K$ и составляющих $R_K, X_K$ сопротивления короткого замыкания.	$Z_K = \frac{U_{1H}}{\sqrt{3} \cdot I_{1II}}; R_K = 2R_2'; X_K = \sqrt{Z_K^2 - R_K^2}$	Полагается, что по схеме замещения АД – симметричный четырехполюсник
6	Определение модуля $Z_{BX}$ и аргумента $\varphi_{BXII}$ , входного сопротивления при пуске	$Z_{BX} = \sqrt{R_2'^2 + X_K^2};$ $\varphi_{BXII} = \arctg \frac{X_K}{R_2'}$	
7	Расчет коэффициента $K$	$K = \frac{M_{II}(s_{KII}^2 + 1 + 2s_{KII} \cos \varphi_{BXII})}{s_{KII}}$	$s_{KII} = K_{СП} \cdot s_H$
8	Расчет $\cos \varphi_{BXX}$	$\cos \varphi_{BXX} = \frac{K - 2M_M}{2M_M}$	
9	Определение $K_{SK}$ по известным значениям $\lambda_M, M_H, K$ и $\cos \varphi_{BXX}$	Через $\lambda_M$ проводится линия параллельная оси абсцисс. Точки её пересечения с кривой семейства $\lambda_M = f(K_S)$ при $\cos \varphi_{BXX}$ дает искомое значение $K_{SK}$ .	По известной величине $K_{SK}$ находится критическое скольжение $s_{KH} = K_{SK} \cdot s_H$
10	Расчет восходящей ветви зависимости $M = f(s)$ в диапазоне $0 < s < s_K$	$M = \frac{K \cdot s \cdot s_K}{s_K^2 + s^2 + 2s \cdot s_K \cos \varphi_{BXX}}$	Принято допущение о неизменности $s_K$
11	Расчет спадающей ветви зависимости $M = f(s)$ в диапазоне $s_{KH} < s < 1$	$M = \frac{K \cdot s_{kt} \cdot s}{(s_{kt}^2 + s^2 + 2s_{kt} \cdot s \cdot \cos \varphi_{Bxt})}$	Принят линейный закон изменения $K_S$ и $\cos \varphi_{BX}$ в указанном диапазоне $s$

При известной характеристике  $M = f(s)$  не прилагают усилий по поиску аналитического соотношения механической характеристики  $n_2 = f(M)$  и получают ее на основе метода перестроения, поскольку при любом избранном значении момента  $M$  скольжение  $s$  известно из характеристики  $M = f(s)$ , а величина  $n_2$  найдется по формуле  $n_2 = n_1(1 - s)$ .

Для удобства сопоставимости и изображения моментных и механических характеристик АД разной мощности, полюсности и исполнения имеет смысл перейти на относительные значения момента и скорости  $\mu$  и  $v_2$ , где  $\mu = M / M_M$ , а  $v_2 = \omega_2 / \omega_1$ . Графическое изображение таких характеристик приведено на рис.3.

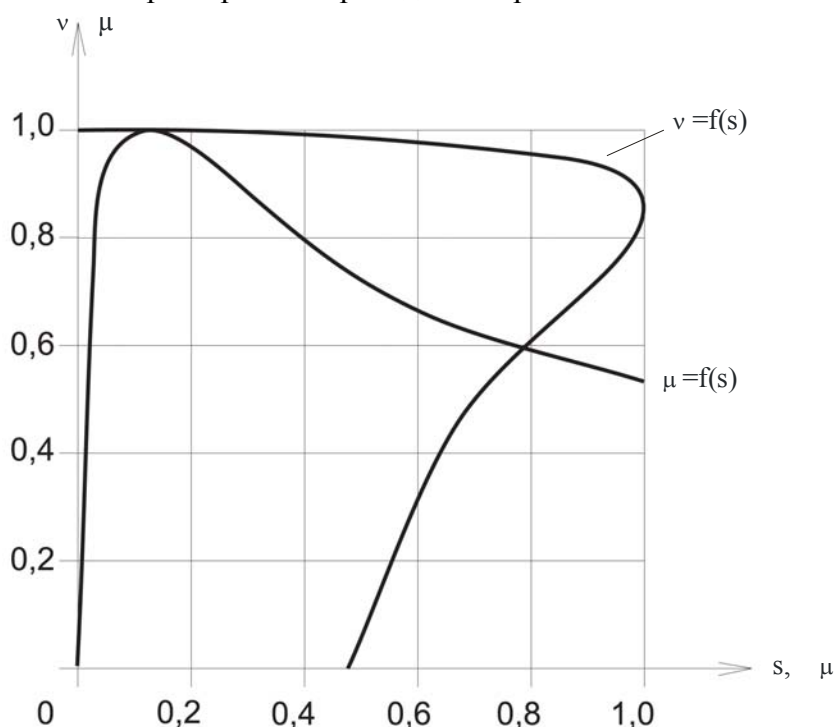


Рис. 3 Моментная и механическая характеристики АД в относительных значениях

### Определение параметров схемы замещения.

#### Расчет тока холостого хода

Установленная выше переменность значений  $s_K$  при изменении скольжения  $s$  означает, что параметры схемы замещения могут быть определены лишь при оговорке определенного режима работы АД. Примем, что в качестве такового избран номинальный режим. Тогда решение задачи по расчету тока холостого хода можно выполнить на основе использования уравнений энергетического баланса, составленных для активной и реактивной мощности АД:

$$\Sigma P = \frac{P_{2H}}{\eta_H} - P_{2H}, \quad Q_O = \sqrt{3}U_{1H}I_{1H} \sin \varphi_{1H} - m_1 I_{1H}^2 X_K,$$

где  $\Sigma P$  – суммарные потери в магнитопроводе  $P_C$  и в обмотках  $P_M$ ;

$Q_O$  – реактивные потери, приходящиеся на ветвь намагничивания.

Активные потери в обмотке ротора  $P_{M2}$  найдем, используя формулу для номинального момента:  $M_H = \frac{P_{M2}}{s\omega_1}$  или  $P_{M2} = s\omega_1 M_H$ .

Поскольку при расчетах подобного рода принято считать, что активные потери в обмотках статора и ротора примерно одинаковы, то  $P_M = 2P_{M2}$ , а  $P_C = \Sigma P - P_M$ . Отсюда составляющие тока холостого хода  $I_{Oa}$  и  $I_{Op}$  и сам ток  $I_{10}$  найдутся по соотношениям:

$$I_{Oa} = \frac{P_C}{\sqrt{3}U_{1H}}, \quad I_{Op} = \frac{Q_0}{\sqrt{3}U_{1H}}, \quad I_{10} = \sqrt{I_{Oa}^2 + I_{Op}^2}.$$

Положение вектора тока  $I_{10}$  на комплексной плоскости задается углом  $\varphi_{10}$ , который отсчитывается от оси мнимых чисел и рассчитывается по формуле  $\varphi_{10} = \text{arctg} \frac{I_{Op}}{I_{Oa}}$ .

Значения параметров ветви намагничивания  $R_0$  и  $X_0$  в свою очередь определяются из условия сохранения активных и реактивных мощностей, т.е.:

$$R_0 = \frac{P_C}{m_1 I_{10}^2}, \quad X_0 = \frac{Q_0}{m_1 I_{10}^2}.$$

### Расчет тока в обмотке ротора

При решении этой задачи следует иметь в виду, что ток в обмотке статора  $I_{1H}$  при номинальном режиме работы АД уже определен и имеет своими составляющими  $I_{10}$  (ток холостого хода) и  $I'_2$  (ток в обмотке ротора, приведенный к числу витков обмотки статора). Отсюда расчет последнего легко выполнить на основе обращения к теореме косинусов (см. рис 4а):  $I_{1H}^2 = I_2'^2 + I_{10}^2 + 2I_2' I_{10} \cos \theta$ , где  $\theta$  – угол между векторами  $I_2'$  и  $I_{10}$ , рассчитываемый по формуле:  $\theta = \varphi_{10} - \psi_2$ , где  $\psi_2$  – угол, отсчитываемый также от оси мнимых чисел и определяющий положение вектора  $I_2'$ . Числовое значение  $\psi_2$  находится по соотношению  $\psi_2 = \text{arctg} \frac{s_H \sin \varphi_{BX}}{s_K + s_H \cos \varphi_{BX}}$ , которое следует из векторной диаграммы (рис. 4б). В итоге решение квадратного уравнения даст величину тока  $I_2' = -I_{10} \cos \theta + \sqrt{I_{10}^2 \cos^2 \theta + I_{1H}^2 - I_{10}^2}$ , используя которую можно рассчитать активное сопротивление обмотки ротора  $R_2' = \frac{P_{M2}}{I_2'^2}$  и полагать, что активное сопротивление обмотки статора  $R_1$  совпадает с ним.

### Построение векторной диаграммы для номинального режима работы

Результаты выполненных расчетов позволяют построить векторную диаграмму АД, придерживаясь следующей последовательности:

- вдоль оси действительных чисел комплексной плоскости откладывается вектор магнитного потока  $\Phi_m$ , модуль которого определяется по формуле:

$$\Phi_m = \frac{U_{1H}}{4,44\sqrt{3}k_{об}w_1f_1},$$

где  $k_{об}$  - обмоточный коэффициент обмотки статора с числом витков  $w_1$ ;

$f_1$  - частота сети;

- под углом  $\varphi_{10}$  к мнимой оси откладывается ток холостого хода  $I_{10}$ ;

- вдоль оси мнимых чисел откладывается вектор напряжения холостого хода на зажимах обмотки ротора, модуль которого находится по формуле:  $U_2' = I_{10} \sqrt{R_0^2 + X_0^2}$ ;

- под углом  $\psi_2$  к вектору  $\underline{U}'_{20}$  откладывается вектор тока  $\underline{I}'_2$ ;

- векторное сложение  $\underline{I}'_2$  и  $\underline{I}_{10}$  даст положение вектора тока  $\underline{I}_{1H}$ ;

- под углом  $\varphi_{1H}$  к току  $\underline{I}_{1H}$  откладывается вектор фазного напряжения  $\underline{U}_{1H} / \sqrt{3}$ ;

- из конца последнего вектора на направление тока  $\underline{I}_{1H}$  опускается перпендикуляр до пересечения с линией, проведенной из конца вектора  $\underline{U}'_{20}$  параллельно тому же току; полученные при этом два взаимно перпендикулярных отрезка определяют соответственно падения напряжения на активном и индуктивном сопротивлении обмотки статора.

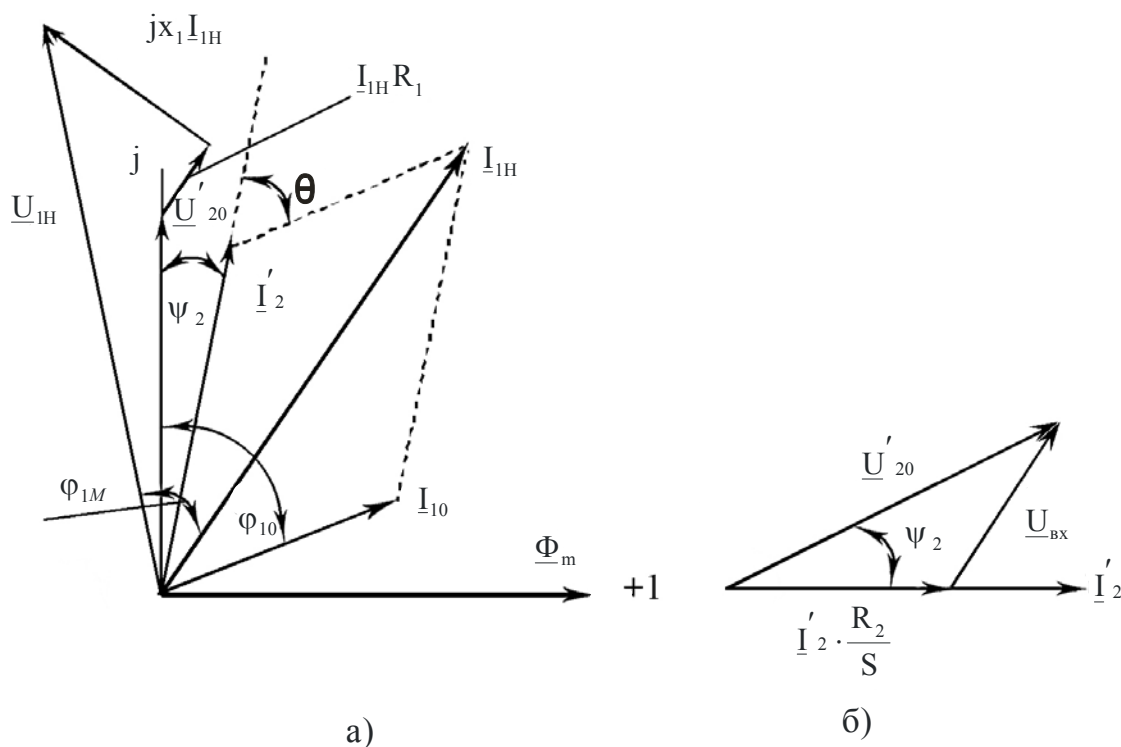


Рис.4 Векторные диаграммы АД

Что же касается индуктивных сопротивлений тех же обмоток  $X_1$  и  $X'_2$ , то их также считают примерно равными, а их сумма  $X_K$  была найдена выше при рассмотрении пускового режима работы АД.

#### Построение рабочих характеристик

Под рабочими характеристиками понимаются зависимости  $s, n_2, M, I_1, P_1, \cos \varphi_1, \eta = f(P_2)$ . Возможна запись этих показателей в аналитическом виде. Однако некоторые из них приобретают громоздкий и потому малоудобный для анализа вид. Более разумно здесь воспользоваться методом перестроения, который уже упоминался при рассмотрении механической характеристики АД. С этой целью выразим указанные показатели (в том числе и  $P_2$ ) в функции скольжения  $s$ , сохраняя обращение к МЭГ.

Результаты выполненной работы обобщены в таблице 2, а на рис.5 приведено графическое изображение этих характеристик в относительных значениях, причем в качестве базовых показателей избраны:

- угловая частота вращения магнитного поля статора  $\omega_1$ ;
- максимальный момент  $M_M$  и ток  $I'_{2K}$  при критическом скольжении  $s_K$ .

Числовое значение коэффициента коррекции  $\kappa_K$  (см. формулу для определения  $\cos \varphi_{1H}$  в таблице 2) легко находится на основе сопоставления расчетного показателя с заданным по каталогу.

Таблица 2

Формулы для расчета рабочих характеристик АД в относительных значениях

Наименование показателя	Аналитическое выражение
Относительное значение угловой скорости вращения ротора, $v$	$v = 1 - s$
Относительные значения момента, $\mu$	$\mu = \frac{2ss_K(1 + \cos \varphi_{ex})}{s_K^2 + s^2 + 2s_Ks \cos \varphi_{ex}}$
Относительные значения мощности на валу ротора, $p_2$	$p_2 = \mu v$
Относительное значение потребляемой мощности, $p_1$	$p_1 = \mu + p_0$
К.П.Д., $\eta$	$\eta = \frac{p_2}{p_1}$
Относительное значение тока в обмотке ротора, $\beta$	$\beta = \frac{s}{\sqrt{s_K^2 + s^2 + 2s_Ks \cos \varphi_{ex}}}$
Относительное значение тока в обмотке статора, $\beta_1$	$\beta_1 = \sqrt{\alpha^2 + \beta^2 + 2\alpha\beta \cos \Theta}$
Коэффициент мощности, $\cos \varphi_1$	$\cos \varphi_1 = \frac{p_1}{K_K \beta_1}$
$v = \frac{\omega_2}{\omega_1}; \quad \mu = \frac{M}{M_M}; \quad p_2 = \frac{P_2}{M_M \omega_1}; \quad p_1 = \frac{P_2 + \sum P}{M_M \omega_1}; \quad p_0 = \frac{P_C}{M_M \omega_1};$	
$\eta = \frac{p_2}{p_1}; \quad \beta = \frac{I'_2}{I'_{2K}}; \quad \alpha = \frac{I_{10}}{I_{2K}}; \quad \cos \varphi_1 = \frac{p_1}{K_K \beta_1}; \quad K_K = \frac{P_{1H}}{\beta_{1H} \cos \varphi_{1H}}$	

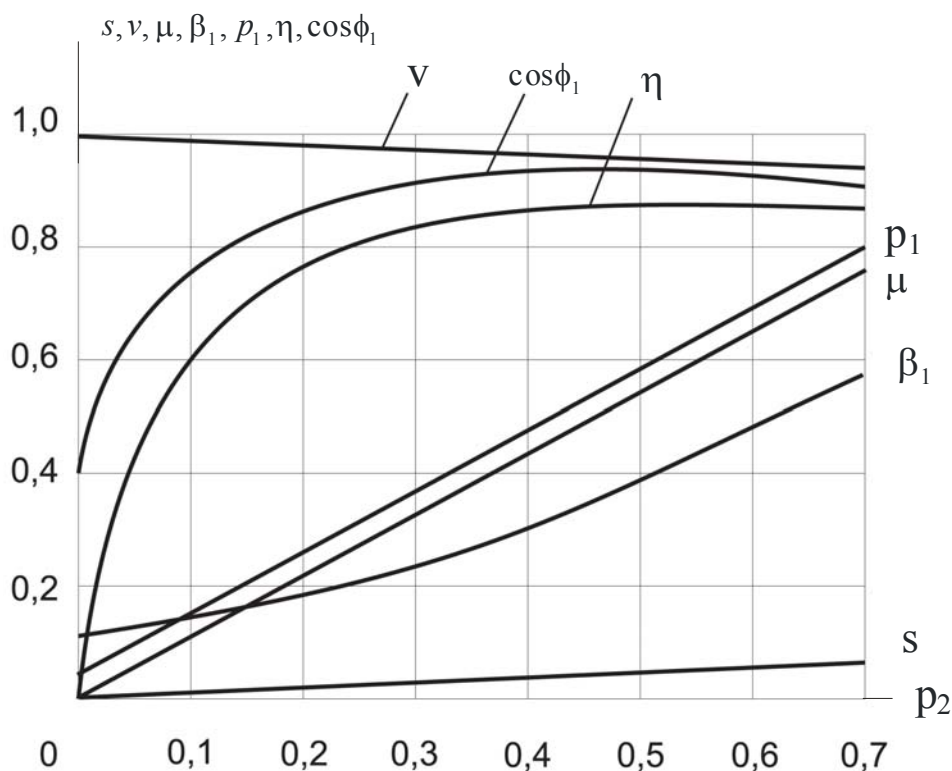


Рис.5 Семейство рабочих характеристик АД

**Выводы**

1. Приведенных в каталогах данных на асинхронные двигатели вполне достаточно для выполнения полного и достоверного анализа их схем замещения, векторных диаграмм и характеристик.
2. Критическое скольжение АД зависит от режима работы машины и может меняться в достаточно широких пределах, что означает одновременно переменность параметров схемы замещения и возможность их определения лишь для конкретно оговоренного режима.
3. При построении характеристик АД удобно использование относительных значений.

It is rotined in the article, that information of catalogue is fully enough for comprehensive research of indexes of work of asynchronous engine. On his results an evident graphic image can be given моментной, mechanical and all of workings descriptions, the parameters of chart of substitution are certain, vectograms are built et cetera From the practical point of view the resulted material will be interesting for specialists on an electromechanic and systems of automatic control.

1. Важнов А.И. Электрические машины. –Л.: “Энергия”, 1969, -с.767.
2. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины. –Л.:” Энергия”, 1973, -с.647.
3. Петров Г.Н. Электрические машины. –М.:ГЭИ, 1963, -с.416.



## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.3.06

## ПОСТРОЕНИЕ ФУНКЦИИ ПОЛЕЗНОСТИ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМ ДАННЫМ

Забытовская О.И.

**Постановка задачи**

Рассмотрена возможность получения функции полезности для набора сельскохозяйственной продукции на основе статистической отчетности по области за несколько лет исходя из предположения, что потребители при ограниченном бюджете поступали оптимально, т.е. реализовывали при выборе свою систему предпочтений, удовлетворяющую условиям однозначности, транзитивности, симметричности, выпуклости. [1,4]

**Решение задачи**

Использование функции полезности вместо отношения предпочтения удобно по ряду причин. Во-первых, теория, построена на функции полезности, приводит к хорошо известным результатам в экономике, которые трудно вывести только из отношения предпочтения. Во-вторых, рассуждения, построенные с помощью функции полезности, более понятны через построения на ее основе функции спроса. Через функцию полезности можно определить карту безразличия, предельные нормы замещения, предельную полезность каждого продукта, полный дифференциал функции полезности несет всю информацию об изменении полезности группы товаров. При построении функции полезности предполагают, что выполняется закон Госсена – закон убывания предельной полезности, что она дифференцируемая и матрица  $H$  образованная из вторых частных производных является отрицательно определенной (функции полезности строго вогнута). Этим условиям удовлетворяют логарифмическая, мультипликативная, аддитивная и квадратичная функции полезности. Ход выводов и рассуждений для нахождения коэффициентов и параметров функций полезности и на основе их функций спроса вариационными методами [1,2,3] одинаков. Покажем это на примере квадратичной функции полезности, которая для двух товаров  $x_i$  и  $x_j$  имеет вид

$$U(x_i, x_j) = \alpha_{01}x_i + \alpha_{10}x_j + \alpha_{11}x_ix_j + \alpha_{0,2}x_i^2 + \alpha_{2,0}x_j^2 \quad (1)$$

Если имеется  $m$  годовых отчетов по реализации  $n$  товаров, то можно построить  $C_n^2$  двумерных функций полезности (соответственно  $C_n^3$  - трехмерных,  $C_n^4$  - четырехмерных и т.д.).

Очевидно предварительно нужно проанализировать матрицу корреляционных связей  $n$  товаров или матрицу корреляционных связей первых приращений этих товаров [1] и выбрать минимально необходимый набор функций полезности для получения функции спроса для всех товаров. Анализ корреляционной матрицы позволит сделать правильный выбор пар товаров и обеспечить значимость коэффициента  $\alpha_{11}$  в формуле (1).

Для решения поставленной задачи необходимо выразить объемы прогнозируемых товаров в денежных единицах, этим неявно будет определен оптимальный выбор потребителя через его ограниченный бюджет  $M$ , который может быть для двух товаров определен по формуле

$$M = \sum_{i=1}^m P_{1i}x_{1i} + \sum_{j=1}^m P_{2j}x_{2j}, \quad i, j = \overline{1, n} \quad , \quad (2)$$

где  $P_i, P_j$  - цены товаров  $x_{1i}, x_{2j}$  соответственно в год  $i$  или  $j$ . Величины коэффициентов  $\alpha_{ij}$  функции полезности определим минимизируя квадратичную форму.

$$S = \left( M - \alpha_{01} \sum_{i=1}^m x_{1i} P_i - x_{10} \sum_{i=1}^m x_{2j} P_j - \alpha_{11} \left( \sum_{i=1}^m x_{1i} P_i \right) \left( \sum_{j=1}^m x_{2j} P_j \right) - \alpha_{0,2} \left( \sum_{i=1}^m x_{1i} P_i \right)^2 - \alpha_{2,0} \left( \sum_{j=1}^m x_{2j} P_j \right)^2 \right) \quad (3)$$

Решение задачи сводится к системе линейных уравнений относительно неизвестных  $x_{ij}$ ; величины  $\sum_{i=1}^m x_{1i} P_i$  и  $\sum_{j=1}^m x_{2j} P_j$  легко определяются при известном душевом потреблении товаров  $x_1$  и  $x_2$  и ценах  $P_i$  и  $P_j$  по годам [3,4,7]. Минимизация сводится к решению системы уравнений:

$$\frac{\partial S_i}{\partial \alpha_{ij}} = 0 \quad i, j = \overline{0,2} \quad , \quad (4)$$

которая может быть записана в виде системы нормальных уравнений метода наименьших квадратов.

Для сокращения записи введем обозначения:

$$\sum_{i=1}^m x_{1i} P_i = K_{01}, \quad \sum_{j=1}^m x_{2j} P_j = K_{10}; \quad \left( \sum_{i=1}^m x_{1i} P_i \right) \left( \sum_{j=1}^m x_{2j} P_j \right) = K_{11}$$

$$\left( \sum_{i=1}^m x_{1i} P_i \right)^2 = K_{02}, \quad \left( \sum_{j=1}^m x_{2j} P_j \right)^2 = K_{20}$$

тогда формула (3) будет иметь вид

$$S = \left( M - K_{01} \alpha_{01} - K_{10} \alpha_{10} - K_{11} \alpha_{11} - K_{02} \alpha_{02} - K_{20} \alpha_{20} \right)^2 \quad (5)$$

а система (4) сводится к следующей системе нормальных уравнений:

$$\begin{aligned} K_{01}^2 \alpha_{01} + K_{01} K_{10} \alpha_{10} + K_{01} K_{11} \alpha_{11} + K_{01} K_{02} \alpha_{02} + K_{01} K_{20} \alpha_{20} &= MK_{01} \\ K_{10} K_{01} \alpha_{01} + (K_{10})^2 \alpha_{10} + K_{10} K_{11} \alpha_{11} + K_{10} K_{02} \alpha_{02} + K_{10} K_{20} \alpha_{20} &= MK_{10} \\ K_{11} K_{01} \alpha_{01} + K_{11} K_{10} \alpha_{10} + (K_{11})^2 \alpha_{11} + K_{11} K_{02} \alpha_{02} + K_{11} K_{20} \alpha_{20} &= MK_{11} \\ K_{02} K_{01} \alpha_{01} + K_{02} K_{10} \alpha_{10} + K_{02} K_{11} \alpha_{11} + (K_{02})^2 \alpha_{02} + K_{02} K_{20} \alpha_{20} &= MK_{02} \\ K_{20} K_{01} \alpha_{01} + K_{20} K_{10} \alpha_{10} + K_{20} K_{11} \alpha_{11} + K_{20} K_{02} \alpha_{02} + (K_{20})^2 \alpha_{20} &= MK_{20} \end{aligned} \quad (6)$$

Отсюда по формуле Крамера найдем неизвестные коэффициенты для функции полезности  $U(x_1, x_2)$ :

$$\alpha_{01}^* = \frac{\Delta_{01}}{\Delta}, \quad \alpha_{10}^* = \frac{\Delta_{10}}{\Delta}, \quad \alpha_{11}^* = \frac{\Delta_{11}}{\Delta}, \quad \alpha_{02}^* = \frac{\Delta_{02}}{\Delta}, \quad \alpha_{20}^* = \frac{\Delta_{20}}{\Delta},$$

где  $\Delta$  - определитель системы (6),  $\Delta_{ij}$ ,  $ij = \overline{0,2}$  - определители, получаемые заменой соответствующего столбца определителя  $\Delta$  столбцом  $(MK_{01}, MK_{10}, MK_{11}, MK_{02}, MK_{20})'$ . И функция полезности (1) для товаров  $x_1$  и  $x_2$  будет иметь вид

$$U = (x_i x_j) = \alpha_{01}^* x_1 + \alpha_{10}^* x_2 + \alpha_{11}^* x_1 x_2 + \alpha_{02}^* x_1^2 + \alpha_{20}^* x_2^2, \quad (7).$$

где  $\alpha_{ij}^*$  - коэффициенты функции полезности, определяемы на основе экспериментальных данных по потреблению продуктов  $x_1$  и  $x_2$  на душу населения согласно [7]. Частичный анализ функции полезности включает прежде всего нахождение функций спроса на товары  $x_i (i = 1, n)$  и проверку адекватности найденных функций [6].

Последующие вопросы анализа, а именно:

- определения реакции потребителя при изменении дохода;
- определения эффектов замены и дохода на основании уравнений Слуцкого;
- расчет коэффициентов эластичности товаров по доходу и ценам;
- построение графиков:
  - а) «доход-потребление» и Энгеля;
  - б) «цены потребление» и спроса;

проводятся в соответствии с задачами исследований. Для нахождения функций спроса на товары  $x_1$  и  $x_2$  воспользуемся условиями:

$$\frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_1} = \lambda P_1 \quad \frac{\partial U(x_1, x_2)}{\partial x_2} = \lambda P_2$$

$$P_1 x_1 + P_2 x_2 = M$$

где  $\lambda$  - предельная полезность денежной единицы. Для функции полезности (7)

получим

$$\alpha_{01}^* + \alpha_{11}^* x_2 + 2\alpha_{02}^* x_1 = \lambda P_1$$

$$\alpha_{10}^* + \alpha_{11}^* x_1 + 2\alpha_{20}^* x_2 = \lambda P_2$$

$$P_1 x_1 + P_2 x_2 = M$$

или

$$2\alpha_{02}^* x_1 + \alpha_{11}^* x_2 - \lambda P_1 = \alpha_{01}^*$$

$$\alpha_{11}^* x_1 + 2\alpha_{20}^* x_2 + \lambda P_2 = \alpha_{10}^*$$

$$P_1 x_1 + P_2 x_2 = M$$

отсюда

$$x_1(P_1, P_2, M) = \frac{\begin{vmatrix} \alpha_{01}^* & \alpha_{11}^* & -P_1 \\ \alpha_{10}^* & 2\alpha_{20}^* & -P_2 \\ M & P_2 & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2\alpha_{02}^* & \alpha_{11}^* & -P_1 \\ \alpha_{11}^* & 2\alpha_{20}^* & -P_2 \\ P_1 & P_2 & 0 \end{vmatrix}} =$$

$$= \frac{M(-\alpha_{11}^* P_2 + 2\alpha_{20}^* P_1) - P_2(-\alpha_{01}^* P_2 + \alpha_{10}^* P_1)}{2(-\alpha_{11}^* P_1 P_2 + \alpha_{20}^* P_1^2 + \alpha_{02}^* P_2^2)} \quad (8)$$

При  $M(-\alpha_{11}^* P_2 + 2\alpha_{20}^* P_1) = P_2(-\alpha_{01}^* P_2 + \alpha_{10}^* P_1)$  спроса на продукт  $x_1$  нет. Спрос на продукт  $x_1$  возможен при положительном числителе в формуле (8) и выполнении условия

$$\alpha_{11}^* P_1 P_2 < \alpha_{20}^* P_1^2 + \alpha_{02}^* P_2^2 \quad (9)$$

$$x_2(P_1, P_2, M) = \frac{\begin{vmatrix} 2\alpha_{02}^* & \alpha_{01}^* & -P_1 \\ \alpha_{11}^* & \alpha_{10}^* & -P_2 \\ P_1 & M & 0 \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2\alpha_{02}^* & \alpha_{11}^* & -P_1 \\ \alpha_{11}^* & 2\alpha_{20}^* & -P_2 \\ P_1 & P_2 & 0 \end{vmatrix}} = \frac{P_1(\alpha_{10}^* P_1 - \alpha_{10}^* P_2) - M(\alpha_{11}^* P_1 - 2\alpha_{02}^* P_2)}{2(-\alpha_{11}^* P_1 P_2 + \alpha_{20}^* P_1^2 + \alpha_{02}^* P_2^2)} \quad (10)$$

Спрос на продукт  $x_2$  равен нулю при  $P_1(\alpha_{10}^* P_1 - \alpha_{10}^* P_2) = M(\alpha_{11}^* P_1 - 2\alpha_{02}^* P_2)$  и положителен при положительном числителе в формуле (10) и выполнении условия (10).

$$\lambda(P_1, P_2, M) = \frac{\begin{vmatrix} 2\alpha_{02}^* & \alpha_{11}^* & \alpha_{01}^* \\ \alpha_{11}^* & 2\alpha_{20}^* & \alpha_{10}^* \\ P_1 & P_2 & M \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2\alpha_{02}^* & \alpha_{11}^* & -P_1 \\ \alpha_{11}^* & 2\alpha_{20}^* & -P_2 \\ P_1 & P_2 & 0 \end{vmatrix}} = \frac{P_1(\alpha_{11}^* \alpha_{10}^* - 2\alpha_{20}^* \alpha_{01}^*) - P_2(2\alpha_{02}^* \alpha_{10}^* - \alpha_{11}^* \alpha_{01}^*) + M(4\alpha_{02}^* \alpha_{20}^* - \alpha_{11}^{*2})}{2(-\alpha_{11}^* P_1 P_2 + \alpha_{20}^* P_1^2 + \alpha_{02}^* P_2^2)} \quad (11)$$

Предельные полезности  $\lambda > 0$ , как следует из условия Куна-Таккера, при  $x_1 > 0$  и  $x_2 > 0$  будут при

$$M(4\alpha_{02}^* \alpha_{20}^* - 2\alpha_{11}^{*2}) + P_1(\alpha_{11}^* \alpha_{10}^* - 2\alpha_{20}^* \alpha_{01}^*) > P_2(2\alpha_{02}^* \alpha_{10}^*) \quad (12)$$

и при выполнении условия (9). Если при заданных ценах и бюджете получаем что одна из величин  $x_1$  или  $x_2$  оказывается отрицательной, то полученное решение не является допустимым набором благ, не говоря уже об его оптимальности.

Проверку адекватности найденной функции полезности для целей прогноза можно осуществить на основании первого соотношения для функции спроса [3,6], а именно

$$P_1 \left( \frac{\partial x_j}{\partial P_1} \right)_{comp} + P_2 \left( \frac{\partial x_j}{\partial P_2} \right)_{comp} + \dots + P_n \left( \frac{\partial x_j}{\partial P_n} \right)_{comp} = 0, \quad j = \overline{1, n} \quad (13)$$

что для функций (8) и (10) сведется к проверке двух уравнений для функции спроса  $x_1(P_1, P_2, M)$  и  $x_2(P_1, P_2, M)$  [3,6]

$$\begin{aligned} P_1 \left( \frac{\partial x_1}{\partial P_1} \right)_{comp} + P_2 \left( \frac{\partial x_1}{\partial P_2} \right)_{comp} &= 0 \\ P_1 \left( \frac{\partial x_2}{\partial P_1} \right)_{comp} + P_2 \left( \frac{\partial x_2}{\partial P_2} \right)_{comp} &= 0 \end{aligned} \quad (14)$$

Аналогичные условия проверки адекватности можно получить при известных ценах на основе условий агрегации Курно [3,6].

**Заключение.**

Данные из статистических отчетов по душевому потреблению продуктов, их ценам и бюджету потребителя позволяют построить функцию полезности потребителя и, используя ее, найти функцию спроса и прогнозировать спрос на соответствующие товары.

The analysis of an opportunity of construction of function of utility on the accounting data on to the consumer, prices and budget of the consumer is given. The method of check of adequacy of functions of utility on functions of demand received from function of utility is considered.

1. Марасанов В.В., Забытовская О.И. Модель предметной области экспертной системы прогнозирования спроса. Херсон.: Вестник ХНТУ № 24, 2006г., с. 122-126.
2. В.В. Марасанов, О.И. Забытовская, Е.В. Щербина Использование энтропии при анализе систем с максимальной полезностью. Херсон.: Вестник ХНТУ № 24, 2006г., с. 127-131.
3. Гамецкий А.Ф., Соломон Д.И. Математическое моделирование микроэкономических процессов. Кишинэу: Штиинца, 1996г.
4. Маленво Э. Лекции по микроэкономическому анализу. М.: Наука, 1985г.
5. С.Сирл, У. Госман. Матричная алгебра в экономике. М.: «Статистика», 1974г.
6. Забытовская О.И. Изменение функции спроса потребителя при изменении цен и дохода при известной и неизвестной функции полезности. В сб. Проблемы информационных технологий №2, 2007г.
7. Статистичний щорічник (2002, 2003, 2004, 2005, 2006рр.) Херсонське обласне управління статистики.

УДК 681.51

**КЕРОВАНІЙ ДЕТЕКТОР ІМПУЛЬСНОГО ЯКР СПЕКТРОМЕТРА**

Браїловський В.В., Іванчук М.М., Ватаманюк П.П., Танасюк В.С.

**Постановка задачі**

При обробці сигналу відгуку імпульсного ЯКР спектрометра існує серйозна проблема – безпосередньо після завершення зондуючого імпульсу в системі контурів спостерігаються незавершені перехідні процеси [1,2]. При амплітуді зондуючого сигналу ~ 1000 В спостерігається залишкова величина “дзвону” робочого контуру ~ 1..20 мВ. В той же час корисний сигнал (сигнал відгуку ЯКР) має рівень ~ 1..100 мкВ. Як наслідок, в період часу реєстрації сигналів приймальна частина спектрометра знаходиться під впливом перехідних процесів, що приводить до часткової втрати корисних сигналів відгуку ЯКР. Для пригнічення неінформативних сигналів застосовують електронні ключі, але навіть найкращі з них не можуть забезпечити необхідний рівень згасання ~ 120 дБ у закритому стані.

Висловлено ідею додаткової часової селекції корисних сигналів спектрометра за рахунок переривчастої роботи детектора. В даній роботі описано розроблений авторами керований детектор для виділення сигналів ЯКР – відгуку, який автоматично вмикається тільки в інформативні періоди часу в кожному циклі збудження – релаксації спінової системи досліджуваного зразка речовини.

**Текст**

Розробка керованого детектора проводилась для покращення характеристик лабораторного імпульсного спектрометра ЯКР. Веденням в схему спектрометра розробленого детектора покращено його приймальну частину (Рис.1) [1,2].

Високочастотний (ВЧ) збуджуючий генератор із підсилювачем потужності складають збуджуючу (накачуючу) систему імпульсного ЯКР – спектрометра. Основні робочі характеристики системи наступні: потужність радіоімпульсу збудження  $P=200$  Вт; тривалість імпульсів збудження 10-100 мкс; частота повторювання імпульсів збудження 10-100 Гц.

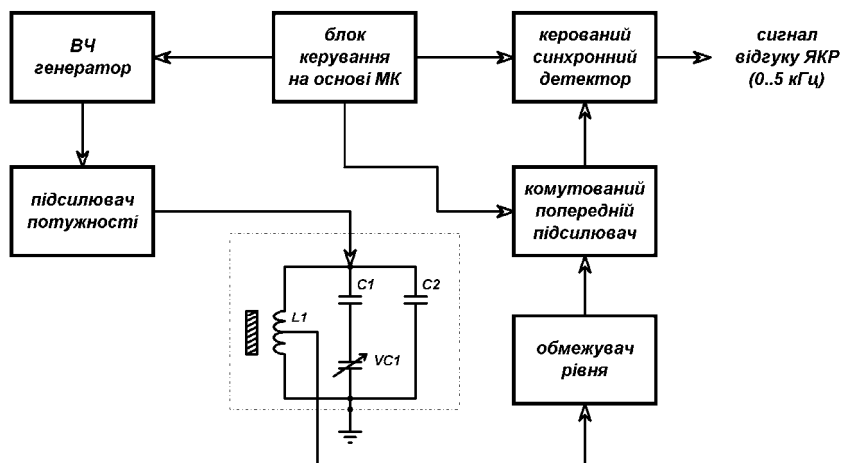


Рис.1 Функціональна схема імпульсного ЯКР – спектрометра

Детектор виконано на 4-канальному комутаторі DD1 типу CD4066 [3] (рис.2). Про-детектований сигнал подається на вихід пристрою через фільтр нижніх частот та підсилювальний каскад на мікросхемі DA1 (операційний підсилювач AD826). Опорні сигнали, зсунуті за фазою на  $180^\circ$ , підводяться від схеми керування до входів F1 та F2 синхронного детектора.

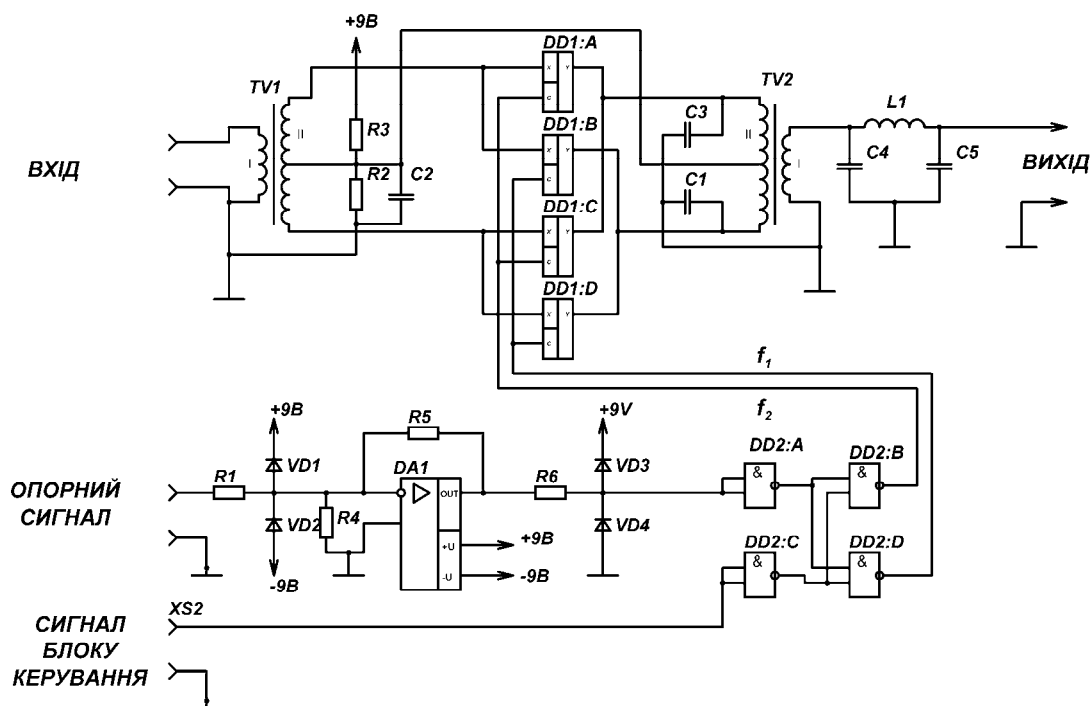


Рис. 2 Схема принципова синхронного детектора з високим динамічним діапазоном

Опорні сигнали формуються за допомогою мікросхеми DD1 типу CD4011. На вхід формувача керуючих імпульсів подається сигнал від опорного генератора, а на виході отримуються 2 протифазні сигнали з частотою опорного генератора. Додаткова функція формувача – наявність керуючого входу. З допомогою нього можна зупинити роботу формувача, а відповідно і детектора в цілому. Із схеми на рис.2 видно, що детектування буде відбуватися лише при наявності двох протифазних синхронізуючих сигналів. У протилежному випадку детектор буде функціонувати, як закритий ключ, блокуючи проникнення сигналів (час  $t_1$ - $t_3$  на рис.3).

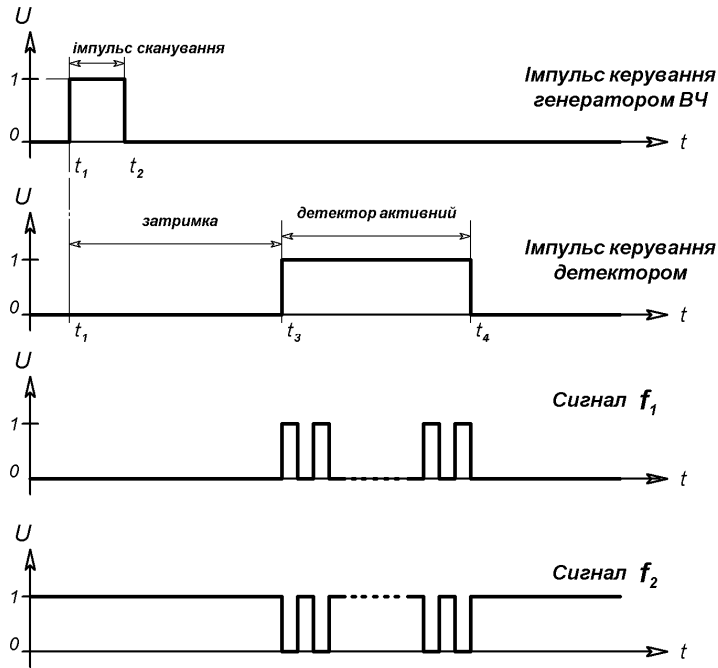


Рис.3 Часові діаграми сигналів блоку керування детектором

Час затримки  $t_1$ - $t_3$  може бути встановлений із ряду  $0 \div 500 \mu\text{с}$  з кроком  $0,5 \mu\text{с}$ . Час ввімкнення  $t_3$ - $t_4$  детектора -  $0,1 \div 100 \text{мс}$  з кроком  $0,1 \text{мс}$ .

Схема блоку керування синхронним детектором а також задаючим високочастотним генератором установки реалізована на основі однокристалної мікроЕОМ [4]. Вона побудована на основі мікроконтролера (МК) PIC18F452 [5] фірми Microchip.

Для реалізації діалогу з оператором спектрометра застосовано пару клавіатура – дисплей. Встановлення номіналів часових затримок виконується з допомогою матричної клавіатури. Передбачено також зв'язок з ЕОМ з допомогою послідовного порту RS-232.

Розроблений синхронний детектор випробувано в складі експериментального імпульсного ЯКР - спектрометра при дослідженні зразку  $\text{NaNO}_2$  в порошковому стані. Зроблено запис сигналів ЯКР - індукції та спектрів, отриманих за допомогою швидкого Фур'є - перетворення сигналів індукції. Температура зразків не стабілізувалась і знаходилась під час експериментів в межах  $295 \pm 5 \text{ }^\circ\text{К}$ .

Для визначення ефективності розробленого детектора ті ж сигнали в незмінних умовах експерименту записувались також з використанням попередньої версії детектора. Попередня версія – це некерований діодний перемножуючий (змішувальний) детектор [2]. Його опорним сигналом служили проникаючі в паузах між збуджуючими радіоімпульсами коливання неперервно працюючого задавального генератора ЯКР - установки (рис.4.а та рис.4.б).

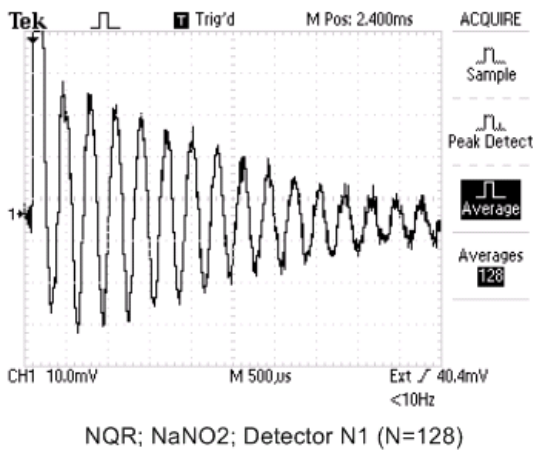


Рис.4.а. Сигнали ЯКР-індукції від атомів  $^{14}\text{N}$  в нітриті натрію. Діодний детектор.  
 $T \approx 300 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $f = 4645 \text{ кГц}$ ,  $F = 10 \text{ Гц}$ ,  $m = 10 \text{ г}$ ,  
 $\tau = 20 \text{ мкс}$ , число накопичень  $N = 128$

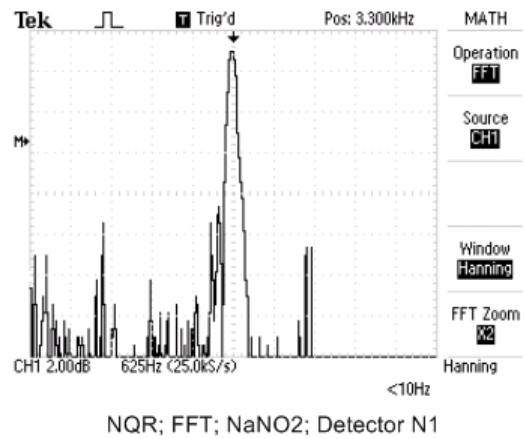


Рис 4.б. Вигляд Фур'є-перетворення сигналів ЯКР-індукції від атомів  $^{14}\text{N}$  в нітриті натрію з використанням діодного змішувального детектора.  
 $T \approx 300 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $f = 4645 \text{ кГц}$ ,  $F = 10 \text{ Гц}$ ,  $m = 10 \text{ г}$ ,  
 $\tau = 20 \text{ мкс}$ , число накопичень  $N = 128$ ,  $f_{\text{NQR}} = 4645,0 - 3,3 = 4641,7 \text{ кГц}$

На рис.5.а та рис.5.б наведено результати порівняльних досліджень ЯКР - сигналів від атомів  $^{14}\text{N}$  в нітриті натрію при використанні розробленого керованого детектора.

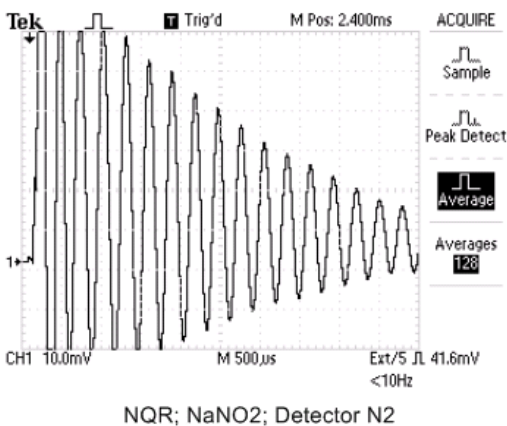


Рис. 5.а Сигнали ЯКР-індукції від атомів  $^{14}\text{N}$  в нітриті натрію. Комутований високорівневий детектор  
 $T \approx 300 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $f = 4645 \text{ кГц}$ ,  $F = 10 \text{ Гц}$ ,  $m = 10 \text{ г}$ ,  $\tau = 20 \text{ мкс}$ , число накопичень  $N = 128$

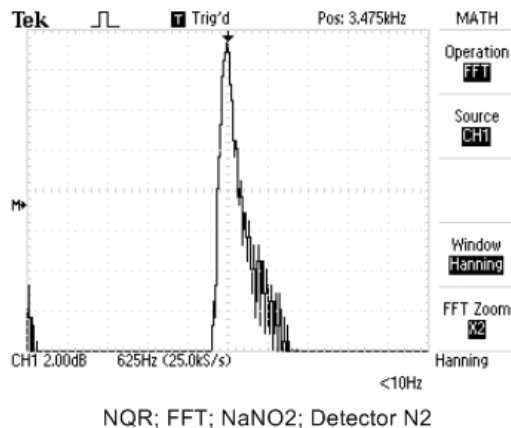


Рис. 5.б Вигляд Фур'є-перетворення сигналів ЯКР-індукції від атомів  $^{14}\text{N}$  в нітриті натрію з використанням комутованого високорівневого детектора  
 $T \approx 300 \text{ }^\circ\text{K}$ ,  $f = 4645 \text{ кГц}$ ,  $F = 10 \text{ Гц}$ ,  $m = 10 \text{ г}$ ,  $\tau = 20 \text{ мкс}$ , число накопичень  $N = 128$ ,  $f_{\text{NQR}} = 4645,0 - 3,475 = 4641,525 \text{ кГц}$

Як видно з порівняння Фур'є - перетворення сигналів (рис.4.б та рис.5.б) при використанні розробленого керованого детектора значно покращилась інформативність сигналу відгуку ЯКР. Рівень розташованих нижче за частотою від основної лінії паразитних спектральних компонентів понизився приблизно на 5 дБ. Вони менше, у порівнянні з варіантом некерованого детектора, маскують та спотворюють форму спектральної лінії ЯКР - сигналу  $\text{NaNO}_2$ .



**Висновок**

Розроблено, виготовлено та випробувано систему детектор – схема керування, котра зменшує вплив перехідних процесів на приймальну частину імпульсного ЯКР – спектрометра. Це суттєво покращило інформативність сигналу відгуку ЯКР.

Дана робота проведена в рамках виконання держтеми №18.81 Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича.

It is developed, the system is made and tested a detector is a management chart which influence of transients on receiving of impulsive NQR– spectrometer.

1. Белый Ю.И., Гарцев Н.А, Семейкин Н.П., Шаршин Ю.А. Разработка обнаружителей взрывчатки на основе ядерного квадрупольного резонанса (ЯКР) // Научные технологии.- 2005.- Т6.-N2.
2. Синявский Н.Я., Коваленко С.Г. Синтез областей чувствительности рабочего объема систем локализации взрывчатых устройств// Радиотехника.- 2003.- N3.
3. <http://www.fairchildsemi.com/ds/CD/CD4066BC.pdf>
4. Брайловський В.В, Чуботару М.М. Генератор керуючих імпульсів для ЯМР на основі мікро контролера. // П'ята міжнародна науково-технічна конференція “Современные информационные и электронные технологии”, м. Одеса, 2005. С. 71.
5. <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39564c.pdf>

УДК 621.7.067

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА ДІАГНОСТИКИ ГЕНЕРАТОРІВ  
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

Ковриго Ю.М., Мисак В.Ф., Мовчан А.П., Любицький С.В.

**Вступ**

Однією зі складових стабільної роботи енергетичної галузі є надійне та ефективне функціонування основного та допоміжного обладнання енергоблоків ТЕС, ТЕЦ, АЕС. Для подовження ресурсу та підвищення надійності обладнання енергоблоків доцільно використовувати сучасні системи технічної діагностики, які дозволяють визначати стан обладнання на поточний момент, виявляти можливі несправності на ранніх стадіях їх виникнення, прогнозувати поведінку обладнання на певний час, вести архів стану обладнання в часі, видавати рекомендації щодо необхідних заходів (в тому числі ремонтних) для попередження непланових та аварійних зупинок блоків. У статті наведені результати розробки системи технічної діагностики стану турбогенератора (ТГ) енергоблоку.

Прийнятий у даний час підхід до забезпечення експлуатаційного контролю генераторів ґрунтується на незалежному спостереженні за різними взаємопов'язаними технологічними параметрами, що характеризують його стан і роботу допоміжного устаткування, тобто спрямований в основному на спостереження за точністю функціонування. При цьому відповідні апаратура і пристрої попереджають експлуатаційний персонал про вихід даного окремого параметра за задалегідь задану попереджувальну уставку (попереджувальний сигнал), і якщо параметр продовжує змінюватися в небезпечному напрямку і виходить за другу контрольну межу (яка теж задається задалегідь), з'являється аварійний сигнал.

Концепція діагностичного підходу до проблеми експлуатаційного контролю генераторів не виключає традиційного підходу до технологічного контролю, але істотно допо-

внює його. Технічні вимоги до системи технічної діагностики повинні включати перелік контрольованих (обстежуваних) вузлів, деталей чи елементів турбогенераторів; параметри, що характеризують граничний стан вузлів і елементів; методи їхнього контролю.

**Класифікація пошкоджень**

Найбільш серйозні пошкодження (відмови), відомі із практики експлуатації турбогенераторів, представлені в табл. 1 [1]. Із можливих ушкоджень найбільш важкі наслідки мають механічні руйнування вала і бандажних кілець ротора, ушкодження сердечника статора, міжфазні (внутрішні) короткі замикання (КЗ) обмотки статора.

Аналіз протікання найважчих аварій показує, що аварійна ситуація виникає не миттєво, а має свою передісторію. Тому при безупинному чи навіть періодичному спостереженні за характером зміни стану основних вузлів і елементів є можливість запобігти аварійній зупинці блоку. У більшості випадків для спостереження можуть бути використані режимні чи планові зупинки агрегатів. Системи діагностики повинні враховувати швидкість розвитку ушкодження, аж до настання граничного стану, при якому генератор відключається від мережі автоматично. Представляється також доцільним використання засобів технічної діагностики для підвищення ефективності роботи устаткування. Це досягається досить докладним аналізом стану устаткування, що дозволяє оптимальним образом вести його експлуатацію.

Таблиця 1.

Найпоширеніші пошкодження генераторів

Вузол	Вид пошкодження
1. Ротор	1.1. Поломка вала
	1.2. Руйнування бандажних кілець
	1.3. Тріщини на поверхні ротора
	1.4. Пошкодження та деформація витків лобових частин котушок обмотки
	1.5. Пошкодження елементів струмопідводу
	1.6. Виткові КЗ в котушках обмотки ротора
	1.7. Підвищена вібрація ротора.
	1.8. Порушення в роботі щітково-контактного вузла
2. Статор	2.1. Пошкодження крайніх пакетів сердечника статора
	2.2. Пошкодження ізоляції обмотки статора
	2.3. Міжфазне КЗ
	2.4. Течі із системи водяного охолодження обмотки статора
	2.5. Витоки водню через виводи обмотки статора
3. Інші	3.1. Пошкодження ущільнень вала ротора
	3.2. Пошкодження підшипників

У табл. 2 [1] приведені зведені дані з характерними ознаками настання можливих граничних станів елементів ротора. З таблиці випливає, що діагностика стану ротора може бути здійснена при сполученні методів, які використовуються на зупиненому роторі (у період планових зупинок з виїмкою чи без виїмки ротора), і методів виміру при роботі генератора. Повинні бути також використані можливості капітальних ремонтів устаткування (один раз у п'ять-шість років). Великі можливості для діагностики ротора має реєстрація величини, частоти, характеру і фази зміни вібрації ротора. У сполученні з виміром значення навантаження (струму ротора), температур обмотки ротора, бабітового вкладиша, масла і холодного газу, а також підшипникових струмів виміри вібрації можуть вчасно запобігти більшості серйозних ушкоджень ротора і його елементів.

Таблица 2.

Характерні причини й супутні їм основні ознаки настання граничних станів елементів ротора

Елемент або вузол ротора	Причина граничного стану	Ознаки
1. Вал	1.1. Тріщини в різноманітних частинах ротора	1.1.1. Поява підвищеної вібрації оборотної частоти
		1.1.2. Зміна фази вібрації
2. Бандажне кільце	2.1. Корозійне розтріскування	1.2.1. Поява тріщин
3. Обмотка ротора	3.1. Виткові замикання	3.1.1. Поява підвищеної вібрації оборотної частоти, яка змінюється з навантаженням
		3.1.2. Поява підшипникових струмів
	3.2. Знос порожніх провідників (при водяному охолодженні)	3.2.1. Поява продуктів зносу в дистилляті
		3.2.2. Тепловий небаланс ротора
4. Щітково-контактний вузол	4.1. Підвищений чи нерівномірний знос щіток і контактних кілець	4.1.1. Підвищене іскріння
		4.1.2. Нагрів
		4.1.3. Надмірний знос
5. Ущільнення вала ротора	5.1. Знос бабітового вкладиша (запірного елемента)	5.1.1. Нагрів
		5.1.2. Надмірний знос
		5.1.3. Підвищена вібрація

Аналогічну таблицю приведемо і для статора (табл. 3).

Таблица 3.

Характерні причини і супутні їм основні ознаки настання граничних станів елементів статора

Елемент або вузол статора	Причина граничного стану	Ознаки
1. Сердечник	1.1. „Пожежа" сердечника	1.1.1. Продукти розкладання ізоляції аркушів
	1.2. Розпушовка аркушів крайніх пакетів	1.2.1. Злам аркушів
2. Обмотка статора	2.1. Закупорка елементарних порожніх провідників	2.1.1. Поява місцевих перегрівів в обмотці
		2.2.1. Зниження опору ізоляції
	2.2. Зниження електричної міцності ізоляції	2.2.2. Підвищення рівня часткових розрядів
		2.2.3. Продукти розкладання ізоляції
2.3. Порушення напівпровідного покриття	2.3.1. Підвищення рівня часткових розрядів	

Продовження таблиці 3

Елемент або вузол статора	Причина граничного стану	Ознаки
	2.4. Порушення ізоляції елементарних провідників	2.3.2. Продукти руйнування покриття
		2.4.1. Місцевий підвищений нагрів
		2.4.2. Збільшення циркуляційних струмів
		2.5. Ослаблення кріплення обмотки
3. Система безпосереднього охолодження	3.1. Порушення герметичності	2.5.1. Підвищення вібрації обмотки
		2.5.2. Продукти зносу ізоляції
		3.1.1. Збільшення вологості газу
		3.1.2. Зволоження ізоляції
4. Виводи обмотки статора	4.1. Порушення герметичності ущільнень	3.1.3. Поява дистилляту усередині корпусу
		3.1.4. Потрапляння водню в дистиллят
		4.1.1. Витік водню через виводи

Аналіз даних табл. 3 показує, що існує принципова можливість створення системи діагностики статора. Така система повинна включати виміри температур, вібрацій, аналіз можливих домішок в охолоджувальному газі, вимір часткових розрядів, виміри зміни інтенсивності магнітного поля, аналіз вологості усередині генератора, появи водню в дистилляті й у виводів, та випромінювання ізотопів.

**Опис системи діагностики**

В якості прикладу системи технічної діагностики стану ТГ розглянемо систему діагностики теплового стану ТГ, який базується на оцінюванні його поточного теплового стану шляхом порівняння в реальному часі вимірних значень його технологічних параметрів з їх номінальними та допустимими значеннями. Даний алгоритм виконується тільки при досягненні сталого режиму роботи

Увесь алгоритм діагностики умовно поділяється на 3 частини: вхідна інформація, алгоритм діагностики, вихідна інформація.

На першому етапі формуються вхідні дані, для діагностики, тобто:

- формується таблиця вимірних електричних та теплових параметрів ТГ (часова матриця параметрів), в яку входять поточні значення параметрів. Відмітимо, що значення температур стержнів статорної обмотки вимірюються, а значення температури роторної обмотки, через відсутність технічної можливості вимірювання, підраховується за наступною формулою:

$$t_p = \frac{R_{pc}}{R_{px}} \cdot (235 + t_{px}) - 235, \tag{1}$$

де  $R_{pc} = \frac{U_p}{I_p}$  – опір обмотки ротора в гарячому стані;

$U_p$  – напруга на обмотці ротора;

$I_p$  – струм обмотки ротора;

$R_{px}$  – те ж у холодному стані;

$t_{px}$  – температура, при якій вимірювався опір обмотки ротора в холодному стані;

- підраховуються перевищення поточних вимірних температур стержнів статорної обмотки над поточною температурою дистилляту, який його охолоджує, вимірною

на вході в генератор. Також підраховується перевищення температури обмотки ротора над температурою холодного газу (водню), який використовується для охолодження ротора;

- з бази даних (БД) вводяться номінальні значення електричних та температурних параметрів ТГ;
- з БД також вводяться значення границь вимірювальних параметрів, вихід за які будь-якого з параметрів означає його недостовірність і він не враховується в наступних обчисленнях;
- з БД імпортуються технологічні уставки контролю та дані, які використовуються в якості критеріїв для визначення сталого режиму роботи ТГ (допустимий діапазон відхилень режимних параметрів від середніх значень в сталому режимі та мінімальний час, протягом якого режимні параметри повинні знаходитись в допустимому діапазоні).

На другому етапі відбувається:

- перевірка виміряних параметрів на достовірність шляхом перевірки їх входження у вищезгаданий діапазон;
- достовірні режимні параметри використовуються для визначення сталого режиму роботи ТГ. В сталому режимі ці параметри за певний проміжок часу не повинні виходити за певний діапазон відхилення від середнього значення;
- у сталому режимі роботи ТГ визначається режим функціонування статора і ротора (блоки „діагностика статора" і „діагностика ротора" рис. 1);



Рис. 1 Спрощена блок-схема алгоритму діагностики теплового стану ротора ТГ

• в ненормальному та небезпечному режимах функціонування ТГ відбувається попередження обслуговуючого персоналу про несправність, увімкнення сигналізації. В цьому випадку обслуговуючий персонал виконує необхідні дії для запобігання аварійної ситуації та дії по усуненню несправності.

Вихідна інформація, яка зображується на схемі не потребує окремих коментарів.

Для кращого розуміння роботи системи діагностики розглянемо спрощену блок-схему одного циклу алгоритму діагностики теплового стану ротора ТГ. Наведений режим роботи ротора визначається наступним чином. Порівнюється поточне перевищення температури роторної обмотки над температурою холодного газу з її номінальним значенням. Якщо поточне значення не перевищує номінального більше ніж на 2 °С, то тепловий режим роботи ротора нормальний. В протилежному випадку виконується порівняння поточного перевищення температури ротора з його допустимим значенням, при якому ТГ може ще працювати без обмеження по струму. Якщо поточне перевищення температури ротора не перевищує допустимого значення, то режим роботи ротора визначається як ненормальний. При перевищенні допустимого значення режим визначається як небезпечний.

В ненормальному та небезпечному режимах відбувається приведення перевищень температур ротора в поточному та минулих сталих режимах до квадрату номінального значення струму, що протікає в роторній обмотці:

$$\Delta t_p^{\text{прив}} = \Delta t_p^{40} + \left( \Delta t_p^{\text{прив}} I_p^{\text{ном}} - \Delta t_p^{\text{ном}} I_p^{\text{ном}} \right), \quad (2)$$

де  $\Delta t_p^{\text{ном}} I_p^{\text{ном}}$  - номінальне значення перевищення температури ротора над температурою холодного газу при нульовому струмі роторної обмотки;

$\Delta t_p^{\text{прив}} I_p^{\text{ном}}$  - підраховане поточне значення перевищення температури ротора над

температурою холодного газу при поточному значенні струму;

$I_p^{\text{ном}}$  - номінальне значення струму.

Потім за підрахунком приведенням значенням перевищень температур відбувається побудова тренду виходу ротора ТГ на допустимий режим, при поточному ненормальному режимі, чи аварійний режим, при поточному небезпечному режимі роботи ротора. При цьому підраховується час виходу на відповідний режим.

В небезпечному режимі функціонування ротора ТГ за наступною формулою відбувається підрахунок обмеження струму роторної обмотки, при якому повинен працювати ротор для запобігання виходу на аварійний режим:

$$I_p^{\text{обм}} = I_p^{\text{ном}} \cdot \sqrt{\frac{\Delta t_p^{\text{доп}} I_p^{\text{ном}} - T_{p \text{ тек}}}{\Delta t_p^{\text{прив}} I_p^{\text{ном}} - T_{p \text{ тек}}}}, \quad (3)$$

де  $\Delta t_p^{\text{доп}} I_p^{\text{ном}}$  - допустиме перевищення температури обмотки ротора над температурою холодного газу, при якому ТГ може ще працювати без обмеження по струму.

Алгоритм діагностики теплового стану статора аналогічний. Слід зазначити, що алгоритми діагностики теплових станів статора і ротора виконуються паралельно і незалежно один від одного. Також діагностика може відбуватися принципово у сталих режимах. Це зумовлено тим, що температури обмоток статора і ротора в статистиці залежать від величини струмів, які в них протікають, а в перехідному режимі ці залежності не виконуються. Під час перехідного процесу можливе тільки порівняння значень температур з аварійними уставками аби попередити про аварійну ситуацію.

Поряд з оцінкою температурних параметрів генератора система також передбачає оцінку електричних параметрів та їх вплив на стан ТГ.

Однією з важливих складових системи діагностики є контроль допустимості режимів навантаження по струму статора та ротора. Виробник в інструкції з експлуатації наво-

дить навантажувальну діаграму, яка вказує границі роботи турбогенератора по реактивному навантаженню  $Q$  в залежності від активної потужності  $P$ , обумовлені допустимими температурами або перевищеннями температур. При роботі в режимах недозбудження внаслідок додавання магнітних полів відбувається збільшення вихрових струмів що викликає підвищення нагрівів елементів генератора. Рівень нагрівів зростає зі збільшенням питомих електромагнітних навантажень машин і тому особливо значний на генераторах з безпосереднім охолодженням обмоток. Система діагностики відслідковує у реальному часі активну та реактивну потужності та робить висновок на основі наданої виробником діаграми навантажень про припустимість роботи в такому режимі.

Робота генератора при несиметрії струмів, яка перевищує допустиму (10% від номінального струму), може приводити як до надмірних місцевих нагрівів елементів ротора (в першу чергу), так і до підвищення вібраційного стану [3]. Система діагностики здійснює контроль допустимості несиметричного навантаження у відповідності до заданих характеристик допустимих значень струму ротору та статора в залежності від напруги статора та температури холодного газу. При цьому також оцінюються можливі перевантаження генератора як по струму статора, так і по струму ротору з обмеженням часу такого перевантаження.

У системі діагностики теплового стану ТГ прогнозується час виходу на припустимий або аварійний рівні у випадку виходу ТГ у зону ненормального або небезпечного режимів роботи. Для цього використовується штучна нейронна мережа (ШНМ), що дозволяє враховувати поточний стан генератора при прогнозуванні.

Для даної системи діагностики була обрана багат шарова топологія мережі. Ця мережа має 5 внутрішніх шарів і по 5 нейронів у кожному шарі. Вхідний і вихідний шари мають по 1 нейрону, відповідно нейронна мережа має один вхід і один вихід. Така кількість була обрана з міркувань швидкодії й точності прогнозування.

На вхід мережі подається перепад температури критичного стержня статора над температурою охолоджувального дистилату, або перепад температури ротора над температурою охолоджувального водню. Ці перепади температур відповідають допустимому (попереджувальному) або аварійному рівню. Значення виходу ШНМ - це час виходу на згадані температурні рівні. Для навчання ШНМ застосованої в системі технічної діагностики теплового стану ТГ застосовується градієнтний метод оптимізації.

Для навчання потрібно мати навчальний набір вхідних і вихідних значень, які характеризують попередні стани ТГ. Для цього використовуються пари значень перепадів температур  $\Delta t_i$  і відповідні їм значення часу  $\tau_i$ .

Помилка нейромережі для однієї пари значень визначається формулою

$$E_i = \tau_i - \tau_i' (\Delta t_i, w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (4)$$

де  $w_j$  - змінювана вага нейронної мережі

Щоб підвищити точність передбачення при настроюванні ШНМ потрібно враховувати динаміку зміни стану ТГ. Для цього підраховуються помилки для кожної пари значень, а також сумарна помилка, яка і є критерієм оптимізації.

Робота цієї системи діагностики реалізована програмно і вже випробувана за допомогою програмної моделі ТГ, яка імітує роботу у різних режимах функціонування генератора. Результати тестування показали працездатність запропонованого алгоритму діагностики.

Перспективними задачами діагностики генератора, реалізація яких розробляється в даний час, та які дадуть змогу більш точно оцінювати його стан є:

- контроль ізоляції статорної обмотки,
- контроль газощільності корпусу,
- контроль технічного стану щітково-контактного апарату.
- контроль стану системи водяного охолодження обмотки статора.

З метою впровадження результатів дослідження розроблений проект автоматичної системи діагностики ТГ для умов Київської ТЕЦ-6, який узгоджений генпроектувальником. Проектом передбачається використання інформації за 120 температурними параметрами від системи автоматичного контролю температурного стану ТГ та введення 16 додаткових електричних параметрів, що використовуються в алгоритмі діагностики.

#### Висновки

1. На підставі аналізу режимів роботи генератора і експертних оцінок експлуатаційного персоналу ТЕС визначені характерні причини і супутні їм основні ознаки настання граничних станів в елементах електрогенератора енергоблоку.

2. На базі розроблених математичної моделі теплового стану елементів генератора та алгоритму діагностики створена система діагностики теплового стану генератора та розроблене спеціальне програмне забезпечення системи діагностики.

3. Проведено тестування системи діагностики у стендовому режимі з програмною імітацією режимних і позаштатних ситуацій, яке показало працездатність системи і виконання нею основних функцій: визначення стану елементів генератора, прогноз аварійних ситуацій і видачу рекомендацій щодо їх запобігання.

4. Розроблений і узгоджений проект модернізації типової системи діагностики який переданий для впровадження Київській ТЕЦ-6.

In article described automatic diagnostic system for power plant generators. Reviewed and classified common types of generators faults, main tasks of diagnostic system. Proposed methods of diagnostic based on thermal state of generator rotor and stator, control of non-symmetric load, work time prediction in case of thermal disbalance.

1. Глебов И.А., Данилевич Я.Б. Диагностика турбогенераторов, - Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1989. 119 с.

2. Канарчук В.Е., Деркачев О.Б., Чигринец А.Д. Термометрическая диагностика машин. – К.: Вища шк., 1985. 168с.

3. Мотыгина С.А. Эксплуатация электрической части тепловых электростанций. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергия, 1979. – 568 с.

УДК 681.306

## ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ С ПОМОЩЬЮ СИНТЕЗИРУЕМЫХ НЕЧЕТКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Литвиненко В.И.

**Постановка проблемы.** Поскольку большинство исследуемых физических, технических или других реальных процессов являются нестационарными, в связи с этим особую актуальность представляет собой решение задач моделирования и прогнозирования нестационарных процессов. Нестационарность проявляется в появлении детерминированного или стохастического тренда, меняющейся во времени дисперсии и ковариации. Таким образом, основными видами нестационарностей, которые встречаются на практике, является наличие детерминированных и стохастических трендов, а также меняющаяся во времени дисперсия. Довольно часто исследуемые процессы содержат детерминированные и стохастические тренды, т.е., такие процессы являются нестационарными относительно тренда. Другим типом не стационарности, которая часто встречается на практике, является нестационарность относительно дисперсии - гетероскедастические процессы. Оба типа



нестационарности требуют применения нестандартных подходов для построения математических моделей и соответствующих им функций прогнозирования. Кроме того, современные процессы например в финансах характеризуются высокой динамикой переменных, наличием производных высоких порядков, которые создают дополнительные трудности при прогнозировании. Общие тенденции к росту или спаду того или другого процесса характеризуют его *трендом*. Тренд можно трактовать также как текущее среднее значение временного ряда. Так, рост валового внутреннего продукта развитых стран на длинных временных интервалах характеризуется детерминированным дополнительным трендом, так например, ВВП стран с переходной экономикой довольно часто характеризуется отрицательным трендом. Можно сказать, что детерминированный тренд описывает долгосрочные изменения процессов. Если тренд относительно быстро изменяется во времени в произвольном направлении, то его называют *стохастическим*. К таким процессам относятся, например, процессы формирования цен на биржах, значительные случайные колебания курсов валют, обусловленные случайными процессами, такими как финансовые кризисы, локальные войны и др.

**Анализ предшествующих публикаций и цель статьи.** Слабые и сильные стороны ИНС и фаззи-систем дополняют друг друга. ИНС может научиться сложным отображениям на основе представленных данных в виде вход-выход. Но в тоже время ИНС представляет собой идеологию «черного ящика» в системном моделировании, решение полученное при использовании ИНС сложно интерпретировать и добавление априорной информации в нейронную сети также сложно. В тоже же время, фаззи-системы могут обеспечивать сложное отображение вход-выход (в форме базисных правил), основываясь на человеческом восприятии и имеющейся в наличии априорной информации. Потому что фаззи-системы оперируют лингвистическими переменными и правилами, они являются легко интерпретируемыми. Но в свою очередь, фаззи-системы не обладают способностью к обучению [1,2].

Наиболее широко используемым методом обучения таких систем является алгоритм обратного распространения ошибки [9], основанный на градиентном спуске. Наряду с простотой и достаточным качеством для решения многих задач он имеет также существенные недостатки такие, как низкая скорость сходимости, чувствительность к шуму и зависимость качества функционирования от эвристически выбираемого шага обучения. Другим не менее важным недостатком нечетких систем является то, что исходный набор постулируемых нечетких правил формулируется экспертом-человеком и может оказаться неполным или противоречивым, при этом, вид и параметры функций принадлежности, описывающих входные и выходные переменные системы, выбираются субъективно и могут оказаться не вполне отражающими реальную действительность [11].

Для решения данных проблем в работе [7] была описана разработанная нами система на основе методологии синтеза нечетких нейронных сетей с помощью иммунного алгоритма для решения задач аппроксимации на примере прогнозирования электрической нагрузки. Предложенные в данной работе показали высокую эффективность, поскольку снимают проблему выбора и настройки “вручную” функции принадлежности и весов правил в нечетких нейронных сетях. Другой практической проблемой, рассматриваемой в работе, является проблема нестационарных временных рядов. В работе проведены исследования использования комбинированного разложения нестационарного временного ряда с помощью дискретного вей влет-преобразования. Основная идея заключается в разработке гибридной системы позволяющей усиливать сильные стороны вей влет-преобразований, иммунных алгоритмов и нечетких нейронных сетей для решения задачи прогнозирования нестационарных временных рядов.

**Решение задачи.** Пусть дан временной ряд  $X = \{x_t, t = 1, \dots, n\}$ , где  $x_t$  - значение в дискретное время  $t$ , нам необходимо предсказать значение во время  $(x_{t-1})$ .

Архитектура системы включает шесть главных этапа (Рисунок 1).

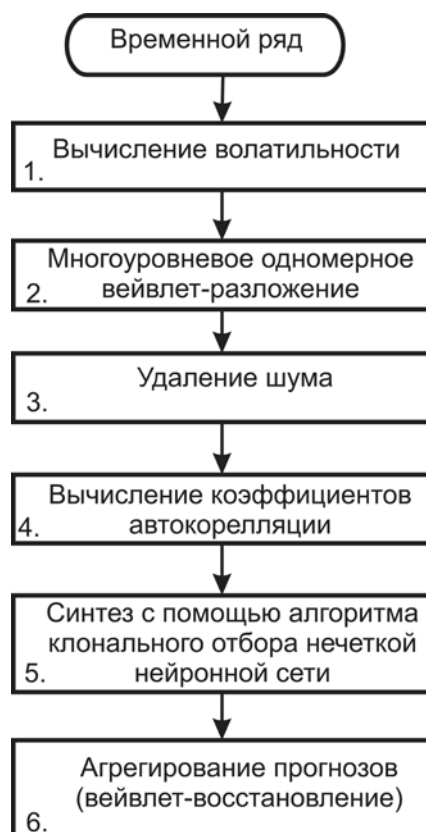


Рис.1 Структура комбинированного метода прогнозирования

На первом этапе осуществляется преобразование данных, посредством вычисления индекса волатильности, вычисляемого по формуле(1):

$$r_t = \log(x_t / x_{t-1}) \quad (1)$$

На **втором этапе** осуществляется предобработка данных используя методы многомасштабного вейвлет-анализа для осуществления декомпозиции временного ряда волатильности с целью получения векторов разложения для входных низкочастотных и высокочастотных фильтров разложения, обнуление коэффициентов детализации с целью удаления шума. На **третьем этапе** осуществляется удаление шума (обнуление коэффициентов детализации). На четвертом этапе для каждого вектора разложения с помощью коэффициента автокорреляции определяются параметры вложения (количество входных элементов). На **пятом этапе** с помощью алгоритма клонального отбора синтезируется нечеткая нейронная сеть для осуществления одношагового прогноза по каждой вейвлет-компоненте. На **шестом этапе** прогнозы отдельных вейвлет-компонент повторно объединяются (одномерное вейвлет-восстановление) для получения составного прогноза(агрегация прогноза).

Пусть  $X$  – временной ряд,  $L$ – уровень декомпозиции временного ряда, тогда временной ряд можно представить в виде выражения:

$$X = \sum_{i=1}^L D_i + A_J \quad (2)$$

где  $D_i$  – детализирующие вейвлет-коэффициенты для различных уровней разложения, а  $A_J$  – аппроксимирующие вейвлет коэффициенты диадного (дискретного) вейвлет-преобразования. Диадное вейвлет-преобразование может быть представлено как итерационный процесс *свертки*. Процесс свертки диадного вей влет-преобразования в общем случае может быть описан с помощью следующего выражения:

$$w * x_t = \sum_{i=-\infty}^{\infty} w_i x_{t-i} \quad (3)$$

где  $x_t$  – исходный сигнал,  $w$  – разложенный сигнал с помощью высокочастотного (детализирующие коэффициенты) и низкочастотного (аппроксимирующие коэффициенты) фильтров.

Данное разложение повторяется несколько раз для дальнейшего увеличения частотного разрешения, с дальнейшим прореживанием коэффициентов после НЧ и ВЧ-фильтров. Другими словами, сигнал разбивается на аппроксимирующие и детализирующие коэффициенты, далее они разбиваются на второй уровень аппроксимации и детализации и таким образом процесс повторяется несколько раз. Такая операция последовательной разбивки с помощью низкочастотного фильтра для аппроксимации сигнала и постепенного огрубления была предложена Маллатом и известна как алгоритм Маллата. Другими словами, если сложить полученные на выходах  $ax$  сигналы, то получится исходный сигнал, т.е. будет иметь место полная реконструкция исходного сигнала на начальном уровне. В процессе каждой последующей самый высокий компонент разлагается компонент исходного сигнала. В нашей реализации использована глубина разложения  $L = 6$ . В качестве базисного вейвлета использовались вейвелеты Добеши (Db4). Полученный ряд  $r_t$  является предобработанным сгенерированным уровнем  $L$  вейвлет-разложения в соответствии с формулой (2), на основе алгоритма суммирования. Более низкие уровни вейвлет-декомпозиции являются компонентами с высокой частотой, которые соответствуют шуму исходного сигнала  $X$ . Мы провели ряд экспериментов с удалением этих компонент, в результате чего получили модифицированный ряд  $r'_t$  в соответствии с выражением (4):

$$r'_t = r_t - \sum_{i=1}^h D_i \quad (4)$$

где  $r_t$  – исходный ряд,  $D_i$  –вейвлет-компонента представляющая собой шум.

Таким образом, новый временной ряд  $r'_t$  имеет минимальный уровень шума. При решении задачи синтеза нечеткой нейронной сети рассматривается задача идентификации модели объекта нелинейной структуры вида:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (5)$$

для которого зависимость между входами  $x_j$  и выходом  $y$  можно представить в виде нечеткой базы знаний:

$$B = (T, D, P) \quad (6)$$

где  $T = \bigcup_{i=1}^n (t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{im_i})$  – множество нечетких термов входных переменных;

$D = (d_1, d_2, \dots, d_k)$ ,  $d_i \cap d_j = \emptyset$  при  $i \neq j$  – множество классов выходной переменной;  $P$  – множество нечетких правил вида:

$$\left[ \left( (x_1 = t_{1i_1}) \wedge \dots \wedge (x_n = t_{ni_r}) \right) \mid w_1 \right] \vee \dots \vee \left[ \left( (x_1 = t_{1i_r}) \wedge \dots \wedge (x_n = t_{ni_r}) \right) \mid w_r \right] \Rightarrow y = d_m, \quad (7)$$

где  $r$  – количество дизъюнктов в левой части строки базы знаний;  $w_i$ ,  $i = \overline{1, r}$  – веса правил;  $d_m \in D$ ,  $t_{ij} \in T$ .

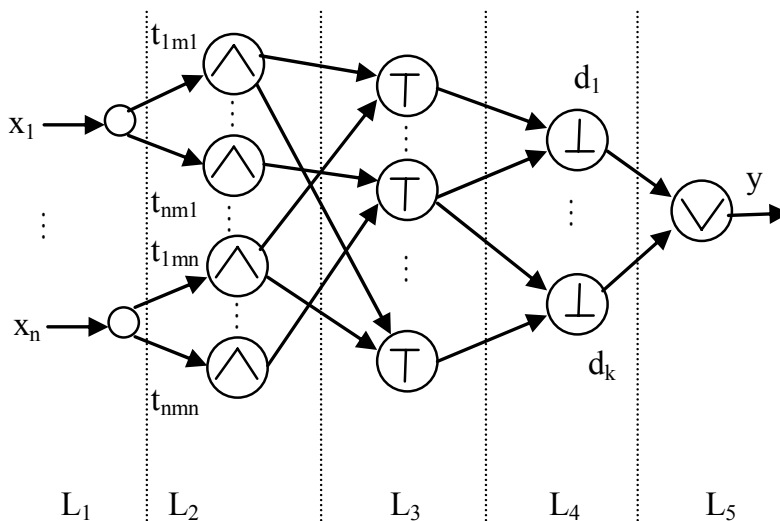


Рис.2 Обобщенная структура нечеткой нейронной сети

$L_1$  - входной слой с функцией  $S_i^1 = x_i, \quad i = \overline{1, n}$ .

$L_2$  - слой фазификации, для которого определена функция:

$$S^2 : (\mathfrak{R} \times F(\mathfrak{R})) \rightarrow [0, 1], \quad (8)$$

где  $F(\mathfrak{R})$  - множество нечетких подмножеств на  $\mathfrak{R}$ .

В качестве функций фазификации были выбраны несколько функций:

- СИГМОВИДНАЯ

$$S_1^2(u) = \frac{1}{1 + e^{-a(u-b)}} \quad (9)$$

которая настраивается при помощи параметров  $a$  и  $b$ ;

- ТРЕУГОЛЬНАЯ

$$S_2^2(u) = \begin{cases} 0, & u \leq a; \\ \frac{u-a}{b-a}, & a \leq u \leq b; \\ \frac{c-u}{c-b}, & b \leq u \leq c; \\ 0, & c \leq u; \end{cases}, \quad (10)$$

где  $a, b, c, \quad a \leq b \leq c$  - настраиваемые параметры функции;

- ГАУССОВА

$$S_3^2(u) = e^{-\frac{(u-a)^2}{2b^2}}, \quad (11)$$

с параметрами  $a$  и  $b$ .

ЭЛЕМЕНТЫ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ:

- типы функций фазификации;

-  $a_i, b_i, c_i, \quad i = \overline{1, z}$  - параметры настройки функций фазификации;  $z = \sum_{i=1}^n m_i$  - общее

количество термов всех входных переменных;

-  $w_j, \quad j = \overline{1, p}$  - веса нечетких правил;  $p$  - общее количество правил в базе.

Строку антитела можно условно разделить на три части (Рис.3):

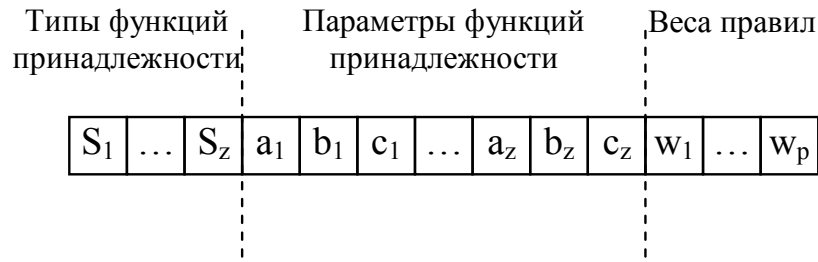


Рис.3 Структура антитела для синтеза нечеткой нейронной сети

Рассматриваются задачи многокритериальной оптимизации:

$$y = (y_1, y_2, \dots, y_n) \rightarrow \min(\max) \tag{12}$$

где  $y_j = f_j(x_1, x_2, \dots, x_l)$ ,  $j = \overline{1, n}$ ,  $n$  – количество критериев задачи.

Обобщенная форма антител представляет собой вектор аргументов  $Ab = (x_1, x_2, \dots, x_l)$ , а в качестве антигенов используются сами критерии  $y_j$ , выраженные в виде функций:  $Ag = f(x_1, x_2, \dots, x_l)$ . Значения аффинности  $g_j$  вычисляются на основании значений критериев  $y_j$ , отображенных во множество неотрицательных чисел, т.е.:

$$f : X \rightarrow \mathfrak{R}, \quad F : \mathfrak{R} \rightarrow \mathfrak{R}^+ \tag{13}$$

Вычисление аффинности представляет собой поиск значения ошибки модели относительно данных экспериментов и выражается в виде следующей функциональной зависимости:

$$E = \frac{1}{q} \sqrt{\sum_{i=1}^q (y_i - y_i^M)^2}, \tag{14}$$

где  $E$  - среднеквадратическая ошибка выхода модели на обучающих данных;  $q$  – количество строк таблицы экспериментов;  $y_i$  - реальное значение выхода системы в  $i$ -той строке таблицы данных;  $y_i^M$  - значение выхода модели при установке  $i$ -того набора входных параметров из таблицы данных.

**Экспериментальные результаты.** В качестве экспериментальных данных использовали данные значения 30-минутные значения цены закрытия индекса HER SP за период с 02.01.2002–23.04.2002. Размер обучающей выборки 700 значений за период с 02.01.2002 по 20.03.2002, размер тестовой выборки 300 за период с 20.03.2002 по 23.04.2002.

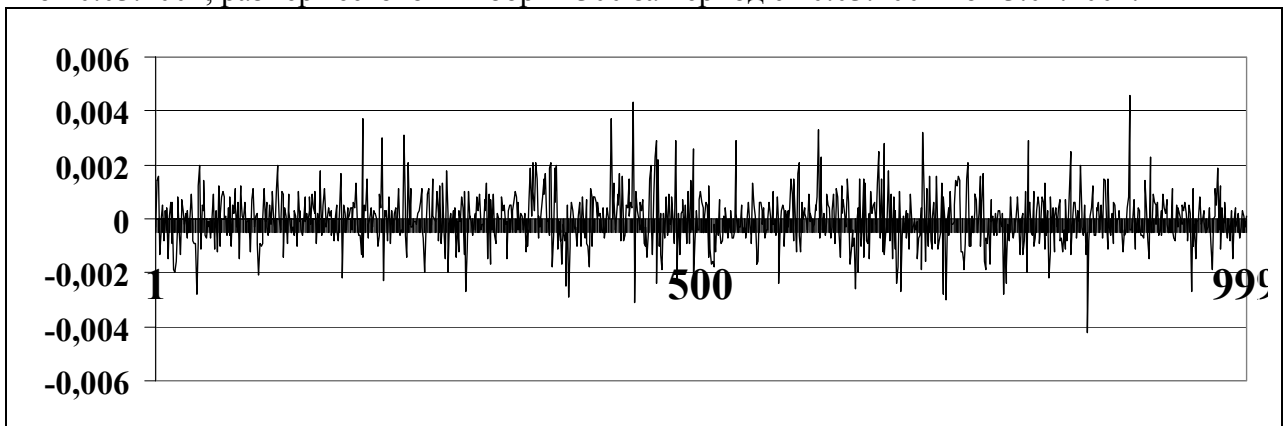


Рис.4 Исходный ряд  $r_t$  индекса волатильности, вычисляемого по формуле(1)

Обучающая выборка была преобразована в ряд  $r_t$  в соответствии с формулой (1). Был выполнен вейвлет-анализ с уровнем вейвлет-разложения 8. Были удалены детализирующие

вейвлет-коэффициенты  $D1, D2$  и  $D3$ , в результате был получен очищенный от шума временной ряд  $r'_i$  (выражение (4)).

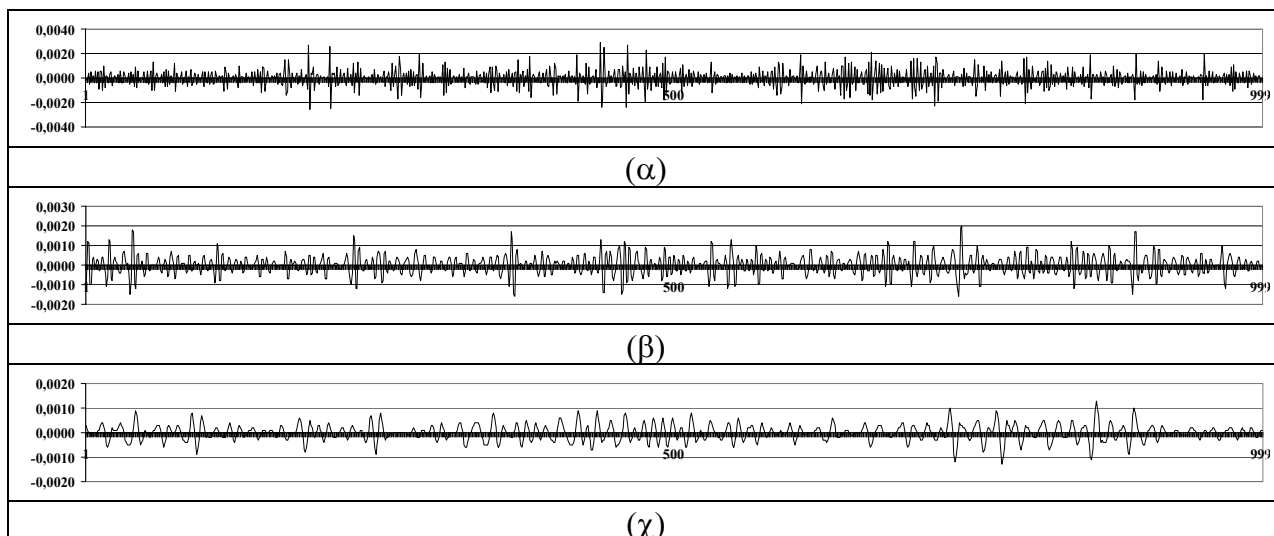


Рис.5 Детализирующие коэффициенты  $D1, D2$  и  $D3$  после обработки высокочастотным фильтром

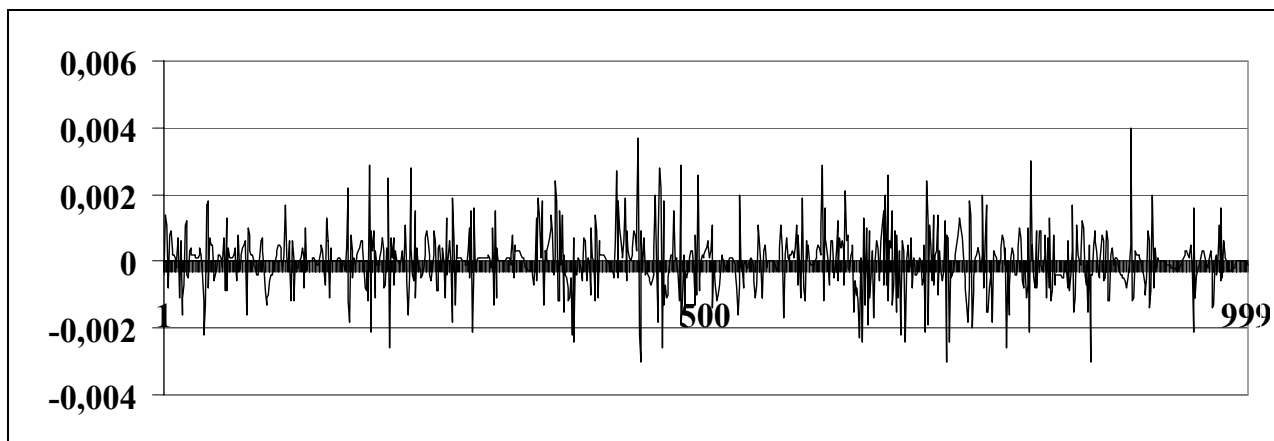


Рис.6 Очищенный от шума временной ряд  $r'_i = r_i - \sum_{i=1}^h D_i$

Для каждого ряда вейвлет-коэффициентов ( $D4 - D8$  и  $A8$ ) была синтезированы нечеткие нейронные сети для одношагового прогноза. При этом, для фазификации использовались сигмовидная (9), треугольная (10) и гауссовая (11) функции, которые использовались для прогноза каждого отдельного вейвлет-коэффициента. Посредством обратного вейвлет-преобразования прогнозы были объединены и в результате был получен одношаговый прогноз исходного временного ряда.

Таблица 1

Сравнительная экспериментальная оценка точности прогноза по СКО

Временные ряды	Функции фазификации нечеткой нейронной сети		
	Сигмовидная	Треугольная	Гауссова
$x_t$ – исходный временной ряд	$9.2 \times 10^{-6}$	$8.9 \times 10^{-6}$	$9.9 \times 10^{-6}$
$r_t$ – преобразованный в ряд волатильности	$8.3 \times 10^{-6}$	$8.5 \times 10^{-6}$	$8.9 \times 10^{-6}$
$r'_t$ – очищенный от шума ряд волатильности	$4.3 \times 10^{-6}$	$5.3 \times 10^{-6}$	$3.6 \times 10^{-6}$

**Заключение.** В работе представлена методология применения и синтеза нечетких нейронных сетей с помощью алгоритма клонального отбора для решения задач прогнозирования нестационарных временных рядов. Мы показали, как можно использовать дискретное вейвлет-преобразование, для предобработки нестационарных временных рядов, таким образом позволяя применить для решения задач прогнозирования неслучайных вейвлет-компонентов нечеткие нейронные сети.

Предложенная методология метрология имеет следующие преимущества:

1. Результаты экспериментов, выполненные на временных рядах с высоким уровнем волатильности 30-минутная интервалы индекса HER SP показали что подход использующий комбинацию: “вейвлеты – клональный алгоритм отбора – нечеткая нейронная сеть” дает более точные результаты на очищенном шума ряде волатильности, чем на непредобработанном исходном ряде и неочищенном от шума волатильном ряде.
2. Свойства кратномасштабного дискретного вейвлет-преобразования позволяет увеличить точность прогноза волатильности нестационарных финансовых временных рядов.
3. Проведенные эксперименты также показали, что наиболее эффективным, с точки зрения точности прогноза, является применение в качестве функции принадлежности (функции фазификации) является Гауссовой функции.

В дальнейших исследованиях мы планируем сосредоточиться на решении следующих проблем:

- очистке нестационарных сигналов от шума;
- применения искусственных иммунных сетей для синтеза нечетких нейронных сетей;
- решении задачи прогнозирования коллективами нечетких нейронных сетей.

In article results of research on application of synthesis of an fuzzy neural network by means of algorithm clonal selection for the decision of a problem of forecasting of non-stationary time series are described. It is offered a technique of a filtration of a time number for removal high-frequency components of a time series. Comparative researches for an estimation of forecasting raw and processed wavelet a time series are carried out at various functions of an accessory. The received results have shown high efficiency of the offered method.

1. Bodyanskiy Ye., Gorshkov Ye., and Kolodyazhniy V.. Combined neural network for non-linear system modeling. In Proc. Int. Conf. on Computational Intelligence for Modeling, Control and Automation CIMCA'2003, Vienna, Austria, pages 692–703, 2003.
2. Bodyanskiy Ye., Gorshkov Ye., and Kolodyazhniy V.. Resource-allocating probabilistic neuro-fuzzy network. In Proc. 3rd Int. Conf. of European Union Society for Fuzzy Logic and Technology (EUSFLAT '2003), Zittau, Germany, pages 392–395, 2003.
3. A.Aussem, and F. Murtagh Comining neural network forecasts on wavelet-transformed time series. Connection Science, vol.9, pages 113-121,1997.
4. B.Kosko Fuzzy systems as universal approximators. In proceedings of the IEEE International Conference on Fuzzy Systems, 1992
5. Добеши И. Десять лекций по вейвлетам. - Ижевск 2001
6. Фефелов А.О., Литвиненко В.І., Бідюк П.І. Формалізація методів побудови штучних імунних систем // Наукові вісті Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”, 2007, № 1, 2007, с. 29-41.

7. Бардачев Ю.Н., Гринавцев О.В., Литвиненко В.И., Шерстюк В.Г. Использование искусственных иммунных сетей для синтеза и обучения нечетких нейронных сетей при решении задач прогнозирования энергопотребления // Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону. – Випуск 3, 2006, с.47-68.

8. Литвиненко В.И. Методология прогнозирования гетероскедастических процессов с применением искусственных иммунных систем // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. Випуск 6(53). – Дніпропетровськ, 2007, с. 139-152.

9. D.E. Rumelhart, G.R. Hinton, and R.J. Williams. Learning internal representation by error propagation. *Parallel Distributed Processing*, 1:318–364, 1986.

10. Ярушкина Н. Г. Нечеткие нейронные сети с генетической настройкой/ Научная сессия МИФИ – 2004. VI Всероссийская научно-техническая конференция «Нейроинформатика–2004»: Лекции по нейроинформатике. Часть 1. – М.: МИФИ, 2004.с151 – 197 с.

УДК 681.3.01:519.67

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ГРАНИЦ СЕГМЕНТА УПОРЯДОЧЕННОЙ ТЕКСТУРЫ НА ИЗОБРАЖЕНИИ С ОДНОРОДНЫМ ФОНОМ С ПОМОЩЬЮ МНОГОКАНАЛЬНОГО ОБНАРУЖЕНИЯ ПАЧКИ ИМПУЛЬСОВ

Полякова М.В.

**Постановка проблемы.** Помеховая ситуация является фактором, существенно ограничивающим область применения автоматизированных систем обработки и распознавания изображений. Повышения помехоустойчивости этих систем можно, в частности, достигнуть путём использования помехоустойчивых методов на одном из этапов решения задачи анализа и распознавания изображений – текстурной сегментации. Тектурная сегментация заключается в разбиении изображения на области с однородной текстурой.

Существующие модели текстур [1] целесообразно разделить на структурные, статистические и спектральные. Статистические модели текстур оценивают наличие или отсутствие пространственного взаимодействия между производными элементами текстуры. Под производными элементами понимаются области изображения с определенным изменением значений интенсивности.

Спектральные модели текстур выражают каждый из фрагментов текстуры в некоторой новой системе координат, базисные векторы которой интерпретируются в терминах пространственной частоты или других параметров описания текстуры.

Структурные модели текстур основаны на предположении, что текстура составлена из регулярно или почти регулярно распределенных по пространству производных элементов [2]. Предполагается, что изображение включает несколько областей, текстурные различия которых обусловлены изменением типа или пространственной организации производных элементов. Структурные модели текстур позволяют представить упорядоченные текстуры, которые по уровню сложности целесообразно разделить на равномерные и неравномерные. Равномерные текстуры характеризуются совокупностью равноотстоящих производных элементов, идентичных по форме и ориентации. Для неравномерных текстур производные элементы в пределах текстурно однородных областей изображения могут содержать случайные изменения координат их пространственного положения, ориентации и искажения формы.



Задача сегментации изображений упорядоченных текстур рассматривается в двух постановках: выделение текстурной области на однородном фоне и выделение границ текстурных областей. Параметры упорядоченной текстуры определяются априорной информацией о форме производных элементов текстуры и расстоянии между ними. Эти параметры полагаются известными или неизвестными. В данной работе рассматривается одна из задач сегментации изображений упорядоченных текстур — выделение текстурной области на однородном фоне с известными параметрами текстуры.

**Анализ последних публикаций. Нерешенные части общей проблемы.** В результате анализа литературы по проблеме сегментации упорядоченных текстур выделим две группы методов сегментации. Методы первой группы [2] осуществляют переход от значений признака сегментации к значениям интенсивности изображения и 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. Согласно второй группе методов текстурной сегментации изображений [3] производится оценка признака сегментации, классификация векторов признака, выделение граничных точек однородных областей и обработка границ.

Процедуры, составляющие содержание методов первой группы текстурной сегментации изображений (детекторных) позволяют достичь высокого быстродействия и просты в реализации. Однако они непомерно устойчивы и дают высокую погрешность определения координат точек границ текстурных областей. Методы текстурной сегментации, использующие классификацию векторов признака, более сложные и не обладают высоким быстродействием. Эти методы помехоустойчивы и позволяют получить низкую погрешность определения координат точек границ текстурных областей. Т. к. согласованная фильтрация — оптимальная процедура по критерию максимума отношения сигнал/шум на выходе линейного фильтра, для повышения помехоустойчивости детекторных методов сегментации упорядоченных текстур целесообразно использовать в составе процедуры сегментации корреляционно-экстремальную обработку на базе многоканального обнаружения пачки импульсов.

Целью работы является повышение помехоустойчивости выделения текстурного сегмента изображения на однородном фоне путём разработки корреляционно-экстремального метода сегментации упорядоченных равномерных текстур. Для достижения поставленной цели решены следующие задачи:

- предложена структурно-статистическая модель изображения текстурной области на однородном фоне;
- на основе теории статистических решений получено оптимальное по критерию максимального правдоподобия решающее правило алгоритма многоканального обнаружения пачки импульсов значений интенсивности изображения на фоне белого гауссовского шума;
- сформулирован корреляционно-экстремальный метод сегментации упорядоченных равномерных текстур изображения и проведены экспериментальные исследования этого метода.

**Структурно-статистическая модель изображения текстурной области на однородном фоне.** Первым этапом создания методов текстурной сегментации изображений, удовлетворяющих требованиям помехоустойчивости, является моделирование изображения. Поэтому сформулируем структурно-статистическую модель изображения текстурной области на однородном фоне.

Пусть полутоновое 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 текстурной области на однородном фоне предположим, что совокупность значений интенсивности  $m$ -й строки изображения  $I(x, y_m)$  включает об-

ласть равномерной текстуры  $i(x, y_m)$ . Равномерная текстура  $i(x, y_m)$ , состоящая из равноотстоящих производных элементов  $t(x, y_m)$ , определяется формулой

$$i(x, y_m) = t(x, y_m) * \sum_{l=1}^{L_m} \delta(x - l\Delta x),$$

где  $\Delta x$  — период следования производных элементов,  $L_m$  — их количество в текстурной области  $m$ -й строки изображения, “\*” — оператор свертки,  $t(x, y_m)$  — детерминированная функция пространственной координаты  $x$ , для которой существует преобразование Фурье. Так как совокупность значений интенсивности  $m$ -й строки изображения  $I(x, y_m)$  содержит текстурную область на однородном фоне, разобьем область определения  $[0, N]$  строки изображения на 3 сегмента точками  $a_0 = 0 < a_1 < a_2 < a_3 = N$  так, чтобы сегмент  $[a_1, a_2]$  представлял текстурную область изображения. Последняя в терминах значений интенсивности  $m$ -й строки изображения определяется фрагментом текстуры  $i(x, y_m)$ :

$$\tilde{i}(x, y_m) = S(x, y_m)i(x, y_m), \text{ где } S(x, y_m) = \begin{cases} 1, & a_1 \leq x \leq a_2, \\ 0, & \text{в противном случае.} \end{cases}$$

При формировании изображений существенно влияние внутренних шумов датчиков различной физической природы, адекватной моделью которых является адитивная гауссовская модель [4]. Тогда представим значения интенсивности  $m$ -й строки изображения текстурной области на однородном фоне в виде разбиения на последовательные непересекающиеся сегменты

$$\begin{aligned} I(x, y_m) = & \{h_1(x, y_m) = c(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_0, a_1]\} \cup \\ & \cup \{h_2(x, y_m) = \tilde{i}(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_1, a_2]\} \cup \\ & \cup \{h_3(x, y_m) = c(x, y_m) + N(x, y_m), x \in [a_2, a_3]\}, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $c(x, y_m)$  — представление фона  $m$ -й строки изображения,  $N(x, y_m)$  — белый гауссовский шум с нулевым средним и дисперсией  $\sigma^2$ . Значение фоновой составляющей изображения изменяется, однако это изменение ограничено:

$$|c(x_1, y_m) - c(x_2, y_m)| \leq \tilde{c}_{\min},$$

где  $x_1, x_2 \in \{1, \dots, N\}$ ,  $\tilde{c}_{\min}$  — параметр модели.

**Последовательности импульсов и их свойства.** Импульсы — это колебания, существующие лишь в пределах конечного пространственного интервала [5].

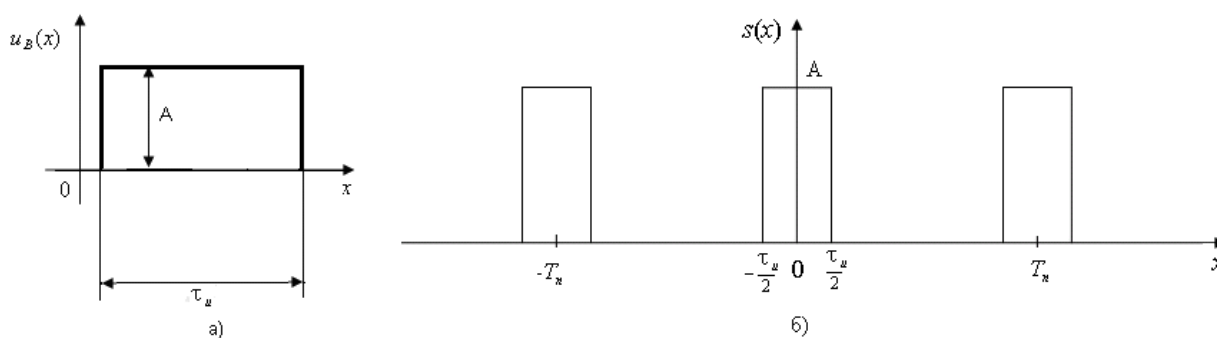


Рис. 1 Импульс (а) и пачка из 3-х импульсов (б).

При решении практических задач часто пользуются числовыми параметрами импульса, дающими упрощённое представление о его форме. Так, для импульса, близкого по форме к прямоугольнику (рис. 1, а) принято определять его амплитуду  $A$  и длительность импульса.

Иногда импульсы удобнее обрабатывать пачками (рис. 1, б). Это производится в случаях, когда учитывается поведение исходной функции не в отдельных мало удалённых одна от другой точках, а в окрестностях этих точек. Для последовательности импульсов вводится понятие периода следования импульсов  $T_n$  — расстояния между соседними импульсами.

**Оптимальное по критерию максимального правдоподобия решающее правило алгоритма многоканального обнаружения пачки импульсов.** Пусть полезный сигнал изображения представлен матрицей нулей и единиц и наблюдается на фоне полутонного аддитивного гауссовского шума. Получим решающее правило для обнаружения пачки импульсов на однородном фоне, оптимальное по критерию максимального правдоподобия. Согласно структурно-статистической модели изображения текстурной области на однородном фоне (1) определим модели эталонных фрагментов  $m$ -й строки изображения как

$$\begin{aligned}
 S_0(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{(n-1)T_n + \tau_u} \right\}, \\
 S_1(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u}, \underbrace{0, \dots, 0}_{(n-1)T_n} \right\}, \\
 S_2(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u}, \underbrace{0, \dots, 0, 1, \dots, 1}_{T_n}, \underbrace{0, \dots, 0}_{(n-2)T_n} \right\}, \\
 &\dots, \\
 S_n(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u}, \underbrace{0, \dots, 0, 1, \dots, 1}_{T_n}, \dots, \underbrace{0, \dots, 0, 1, \dots, 1}_{T_n} \right\}, \\
 S_{n+1}(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{(n-1)T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u} \right\}, \\
 S_{n+2}(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{(n-2)T_n}, \underbrace{1, \dots, 1, 0, \dots, 0}_{T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u} \right\}, \\
 &\dots, \\
 S_{2n-1}(x, y_m) &= \left\{ \underbrace{0, \dots, 0}_{T_n - \tau_u}, \underbrace{1, \dots, 1, 0, \dots, 0}_{T_n}, \dots, \underbrace{1, \dots, 1, 0, \dots, 0}_{T_n}, \underbrace{1, \dots, 1}_{\tau_u} \right\}. \tag{2}
 \end{aligned}$$

Сигналы  $S_0(x, y_m), S_1(x, y_m), \dots, S_{2n-1}(x, y_m)$  содержат  $(n-1)T_n + \tau_u$  отсчетов. Сигналы  $S_1(x, y_m), S_{n+1}(x, y_m)$  соответствуют одиночным импульсам;  $S_2(x, y_m), S_{n+2}(x, y_m)$  — пачкам из 2-х импульсов; сигнал  $S_n(x, y_m)$  — пачке из  $n$  импульсов.

Пусть на входе системы имеется аддитивная смесь сигнала и шума, что соответствует текстурированной области в модели (1):

$$I(x, y_m) = S_k(x, y_m) + N(x, y_m), \tag{3}$$

где  $S_k(x, y_m), k = \overline{0, 2n-1}$ , — значения интенсивности фрагмента  $m$ -й строки незашумленного изображения, определяемые формулой (2),  $N(x, y_m)$  — гауссовский белый шум с дисперсией  $\sigma^2$  и нулевым средним,  $x = (x_1, \dots, x_l)$ , где  $l = (n-1)T_n + \tau_u$  — количество пик-

селей во фрагменте  $m$ -й строки изображения. Значение  $k=0$  в (3) соответствует случаю, когда на входе системы наблюдается только шум, это отвечает области фона в модели (1).

Предположения о том, что фрагмент  $m$ -й строки изображения содержит тот или иной сигнал, реализуются в виде статистических гипотез  $H_0, \dots, H_{2n-1}$ , где  $H_k, k = \overline{0, 2n-1}$ , — гипотеза о том, что фрагмент  $m$ -й строки изображения содержит сигнал  $S_k(x, y_m)$ .

Задача различения сигналов  $S_0(x, y_m), S_1(x, y_m), \dots, S_{2n-1}(x, y_m)$  на фоне помехи представляет многоальтернативный вариант проверки статистических гипотез  $H_0, \dots, H_{2n-1}$ . Решением  $\gamma_k$  в этом случае является принятие гипотезы  $H_k$  и отклонение остальных гипотез  $H_i, i \neq k$  [6].

Фрагмент  $m$ -й строки изображения размера  $l$   $I(x, y_m)$  является элементом выборочного пространства, на котором задана система функций правдоподобия  $P_{СП_k}(x, y_m), k = \overline{0, 2n-1}$ .

Пусть на входе системы имеется только белый шум, тогда совместная плотность вероятности выборки (функция правдоподобия) имеет вид:

$$\begin{aligned} P_{СП_0}(x, y_m) &= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}(I(x, y_m))^T I(x, y_m)\right) = \\ &= \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_0(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_0(x, y_m))\right). \end{aligned}$$

Если на входе системы — аддитивная смесь сигнала и шума, то функция правдоподобия определяется как

$$P_{СП_k}(x, y_m) = \frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_k(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_k(x, y_m))\right), k = \overline{1, \dots, 2n-1}.$$

Т. к. не имеется априорной информации о том, как часто появляется в строке изображения тот или иной сигнал, предположим, что появление сигналов  $S_0(x, y_m), S_1(x, y_m), \dots, S_{2n-1}(x, y_m)$  равновероятно. Частным случаем алгоритма максимальной апостериорной вероятности различения сигналов при равновероятных гипотезах  $H_0, \dots, H_{2n-1}$  является алгоритм максимального правдоподобия. Оптимальный по критерию максимального правдоподобия алгоритм различения сигналов формулируется следующим образом: принимается решение  $\gamma_k$  о том, что фрагмент  $m$ -й строки изображения содержит сигнал  $S_k(x, y_m)$ , если [6]

$$P_{СП_k}(x, y_m) = \max_{0 \leq j \leq 2n-1} P_{СП_j}(x, y_m), k = \overline{0, \dots, 2n-1}. \quad (4)$$

Т. к. логарифм — монотонная функция, то оптимальное решающее правило можно переписать в виде:

$$\ln P_{СП_k}(x, y_m) = \max_{0 \leq j \leq 2n-1} \ln P_{СП_j}(x, y_m), k = \overline{0, \dots, 2n-1}. \quad (5)$$

Преобразуем  $\ln P_{СП_k}(x, y_m), k = \overline{0, \dots, 2n-1}$ ; следующим образом:

$$\begin{aligned} \ln P_{СП_k}(x, y_m) &= \ln\left(\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma} \exp\left(-\frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_k(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_k(x, y_m))\right)\right) = \\ &= \ln\left(\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma}\right) - \frac{1}{2}(I(x, y_m) - S_k(x, y_m))^T (I(x, y_m) - S_k(x, y_m)) = \ln\left(\frac{1}{(\sqrt{2\pi})^l \sigma}\right) - \\ &- \frac{1}{2}(I(x, y_m))^T I(x, y_m) + (I(x, y_m))^T S_k(x, y_m) - \frac{1}{2}(S_k(x, y_m))^T S_k(x, y_m). \end{aligned}$$

Тогда оптимальное решающее правило (5) можно представить в следующем виде:

$$(I(x, y_m))^T S_k(x, y_m) - \frac{1}{2} (S_k(x, y_m))^T S_k(x, y_m) =$$

$$= \max_{0 \leq j \leq 2n-1} \left( (I(x, y_m))^T S_j(x, y_m) - \frac{1}{2} (S_j(x, y_m))^T S_j(x, y_m) \right), k=0, \dots, 2n-1. \quad (6)$$

Приведённые выкладки с незначительными изменениями справедливы для детерминированного сигнала  $a_0 + a_1 S_k(x, y_m), k = 0, \dots, 2n-1$ ; в качестве эталона, где решающее правило определяется (6). Получим оценки неизвестной амплитуды  $a_1$ , детерминированного сигнала  $a_1 S_k(x, y_m)$  и фона  $a_0$ .

По методу наименьших квадратов расстояние между значениями интенсивности фрагмента изображения и эталонного сигнала должно быть минимальным:

$$F = (I(x+i, y_m) - a_0 \eta - a_1 S_k(i, y_m))^T (I(x+i, y_m) - a_0 \eta - a_1 S_k(i, y_m)) \rightarrow \min_{a_0, a_1},$$

где  $\eta = (\underbrace{1, \dots, 1}_l)$ ,  $i = 1, \dots, l$ .

Вычислив частные производные  $\frac{\partial F}{\partial a_0}$ ,  $\frac{\partial F}{\partial a_1}$  и приравняв их к нулю, получаем систему уравнений:

$$\frac{\partial F}{\partial a_0} = 2(I(x+i, y_m) - a_0 \eta - a_1 S_k(i, y_m))^T (-\eta) = 0,$$

$$\frac{\partial F}{\partial a_1} = 2(I(x+i, y_m) - a_0 \eta - a_1 S_k(x, y_m))^T (-S_k(i, y_m)) = 0,$$

Из этой системы уравнений получаем:

$$a_1 = \frac{(I(x+i, y_m))^T S_k(i, y_m) - \frac{1}{l} \left( (I(x+i, y_m))^T \eta \right) \left( S_k(i, y_m) \right)^T \eta}{(S_k(i, y_m))^T S_k(i, y_m) - \frac{1}{l} \left( S_k(i, y_m) \right)^T \eta^2}, \quad (7a)$$

$$a_0 = \frac{1}{l} \left( (I(x+i, y_m))^T \eta - a_1 (S_k(i, y_m))^T \eta \right). \quad (7b)$$

Формулы (6, а, б) можно преобразовать к виду

$$a_1 = \frac{\sum_{i=1}^l I(x+i, y_m) S_k(i, y_m) - \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l I(x+i, y_m) \sum_{i=1}^l S_k(i, y_m)}{\sum_{i=1}^l S_k(i, y_m)^2 - \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^l S_k(i, y_m) \right)^2}, \quad (8a)$$

$$a_0 = \frac{1}{l} \left( \sum_{i=1}^l I(x+i, y_m) - a_1 \sum_{i=1}^l S_k(i, y_m) \right). \quad (8b)$$

**Корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне.** Сформулируем корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне (рис. 2).

Каждая строка исходного изображения подвергается корреляционно-экстремальной обработке согласованными фильтрами  $S\Phi_0, S\Phi_1, \dots, S\Phi_{2n-1}$ , содержащими эталонные фрагменты строки изображения  $S_0(x, y_m), S_1(x, y_m), \dots, S_{2n-1}(x, y_m)$  последовательностей из  $1, 2, \dots, n$  непродуцированных элементов текстуры. В результате этой обработки формируются статистики  $(I(x, y_m))^T S_0(x, y_m), (I(x, y_m))^T S_1(x, y_m), \dots,$

$(I(x, y_m))^T S_{2n-1}(x, y_m)$ . После вычитания из каждой статистики соответственно константы  $c_0 = (S_0(x, y_m))^T S_0(x, y_m)$ ,  $c_1 = (S_1(x, y_m))^T S_1(x, y_m)$ , ...,  $c_{2n-1} = (S_{2n-1}(x, y_m))^T S_{2n-1}(x, y_m)$ , все статистики сравниваются, выбирается максимальное значение, которое и определяет принятие решения  $\gamma_k$ . Если  $k = n$  в (6) для фрагмента строки изображения  $I(x, y_m)$ , то в результирующее бинарное изображение записывается последовательность из  $T_n(n-1) + \tau_u$  единиц, где  $T_n$  — период следования импульсов,  $\tau_u$  — протяженность импульса. После того, как результирующее бинарное изображение сформировано, оно содержит белую область на темном фоне, причем белая область соответствует текстурному фрагменту, темный фон — фону изображения. Бинарное изображение с выделенной областью фрагмента упорядоченной текстуры обрабатывается морфологической системой. Область, соответствующая текстурному фрагменту на бинарном изображении, содержит темные мелкие области площадью около  $(T_n - \tau_u)(T_n - \tau_u)$ . Для удаления этих мелких темных пятен используется метод фильтрации слитных групп или сегментация по признаку равной интенсивности [4] для каждой строки и столбца изображения, заключающийся в следующем. Выделяется последовательность пикселей темного цвета для каждой строки бинарного изображения и рассчитывается длина каждой из этих последовательностей. Если длина последовательности превышает некоторый порог (например,  $T_n - \tau_u$  пикселей), соответствующие пиксели строки изображения заливаются темным цветом. Далее аналогичная корреляционно-экстремальная и морфологическая обработка проводится по столбцам изображения. Бинарные изображения, полученные в результате построчной и по столбцовой обработки, объединяются по схеме логического сложения ИЛИ. Затем производится выделение границ сегмента упорядоченной текстуры методом контурной сегментации бинарного изображения.

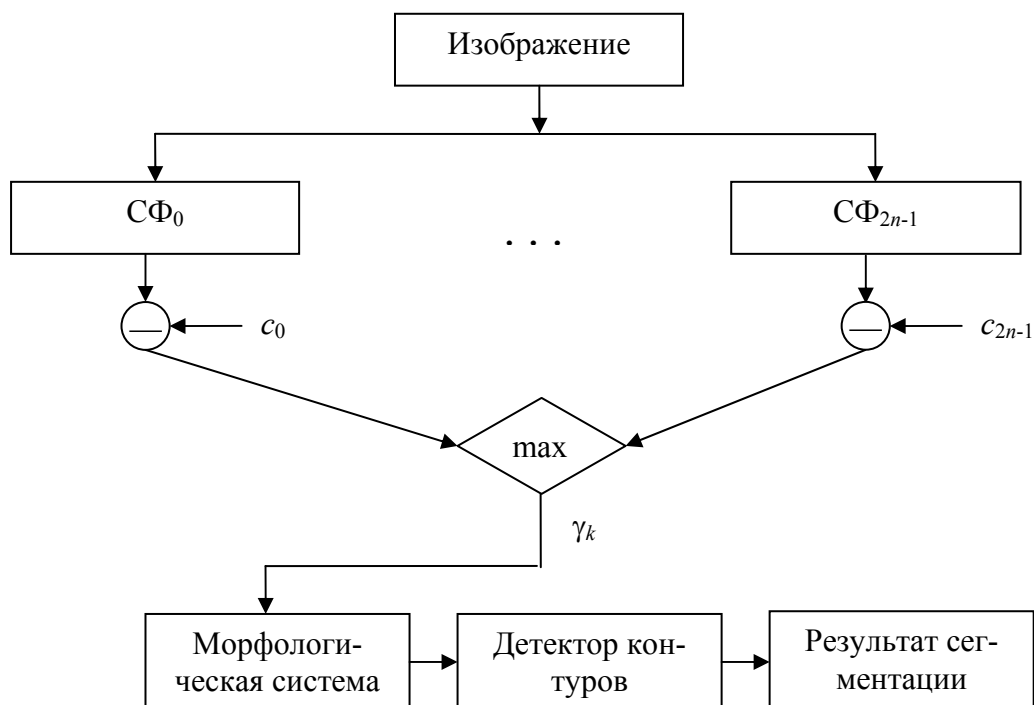


Рис. 2 Структурная схема корреляционно-экстремального метода определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне.

Каждая строка исходного изображения подвергается корреляционно-экстремальной обработке согласованными фильтрами  $S_0, S_1, \dots, S_{2n-1}$ , содержащими эталонные

фрагменты строки изображения  $S_0(x, y_m), S_1(x, y_m), \dots, S_{2n-1}(x, y_m)$  последовательностей из  $1, 2, \dots, n$  неприводимых элементов текстуры. В результате этой обработки формируются статистики  $(I(x, y_m))^T S_0(x, y_m), (I(x, y_m))^T S_1(x, y_m), \dots, (I(x, y_m))^T S_{2n-1}(x, y_m)$ . После вычитания из каждой статистики соответственно константы  $c_0 = (S_0(x, y_m))^T S_0(x, y_m), c_1 = (S_1(x, y_m))^T S_1(x, y_m), \dots, c_{2n-1} = (S_{2n-1}(x, y_m))^T S_{2n-1}(x, y_m)$ , все статистики сравниваются, выбирается максимальное значение, которое и определяет принятие решения  $\gamma_k$ . Если  $k = n$  в (6) для фрагмента строки изображения  $I(x, y_m)$ , то в результирующее бинарное изображение записывается последовательность из  $T_n(n-1) + \tau_u$  единиц, где  $T_n$  — период следования импульсов,  $\tau_u$  — протяженность импульса. После того, как результирующее бинарное изображение сформировано, оно содержит белую область на темном фоне, причем белая область соответствует текстурному фрагменту, темный фон — фону изображения. Бинарное изображение с выделенной областью фрагмента упорядоченной текстуры обрабатывается морфологической системой. Область, соответствующая текстурному фрагменту на бинарном изображении, содержит темные мелкие области площадью около  $(T_n - \tau_u)(T_n - \tau_u)$ . Для удаления этих мелких темных пятен используется метод фильтрации слитных групп или сегментация по признаку равной интенсивности [4] для каждой строки и столбца изображения, заключающийся в следующем. Выделяется последовательность пикселей темного цвета для каждой строки бинарного изображения и рассчитывается длина каждой из этих последовательностей. Если длина последовательности превышает некоторый порог (например,  $T_n - \tau_u$  пикселей), соответствующие пиксели строки изображения заливаются темным цветом. Далее аналогичная корреляционно-экстремальная и морфологическая обработка проводится по столбцам изображения. Бинарные изображения, полученные в результате построчной и постолбцовой обработки, объединяются по схеме логического сложения ИЛИ. Затем производится выделение границ сегмента упорядоченной текстуры методом контурной сегментации бинарного изображения.

**Экспериментальные исследования.** Известно, что согласованные фильтры оптимальны на классе линейных систем по критерию максимума отношения сигнал/шум на выходе линейного фильтра. Поэтому построенный на основе согласованной фильтрации корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне имеет высокую помехоустойчивость. Проиллюстрируем помехоустойчивость предложенного корреляционно-экстремального метода определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне путем сравнения его с методом сегментации упорядоченных текстур с помощью фильтров Габора [2], согласно которому производится:

- обработка значений интенсивности изображения с помощью фильтров Габора с целью преобразования значений признака сегментации упорядоченной текстуры в интенсивность;
- контурная сегментация результирующего изображения путем применения метода Канни.

В качестве экспериментальных исследований предложенного метода оценивалась его помехоустойчивость, погрешность определения координат точек границ текстурной области и эффективность сегментации.

При оценке помехоустойчивости предложенного метода учитывались три основных вида ошибок при определении положения границ текстурных сегментов: пропуск истинных границ сегментов, ошибка в определении положения, принятие шумовых выбросов за границу сегмента. Вероятность выявления действительных границ сегментов можно легко вычислить, сравнивая идеально и реально сегментированные изображения по критерию Прэтта [7].

Показателем качества текстурной сегментации изображения выбран показатель близости между границами тестового идеально сегментированного изображения  $I^{эм}$  и сегментированного  $t$ -м методом обработки  $I^t$  [7]:

$$F = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{эм})^2}}{P}, \quad (9)$$

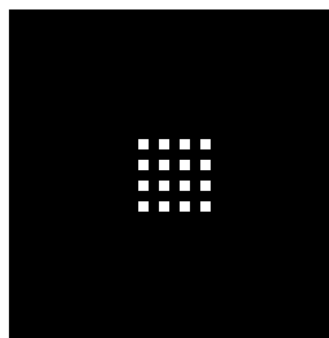
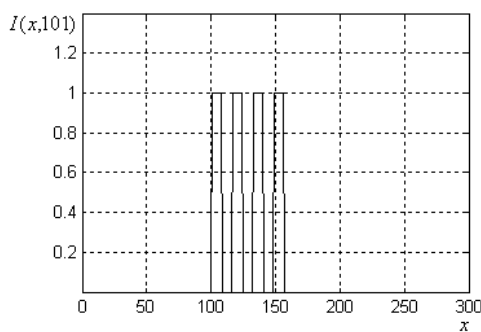
где  $P$  – длина границ выделенных сегментов в пикселях,  $M, N$  – размеры изображения.

Для оценки эффективности сегментации использовался показатель [7]

$$E = \frac{n \log_2 q}{k + 1}, \quad (10)$$

где  $n$  – количество пикселей в обрабатываемом полутоновом изображении,  $q$  – количество градаций интенсивности,  $k$  – количество значащих пикселей результата сегментации.

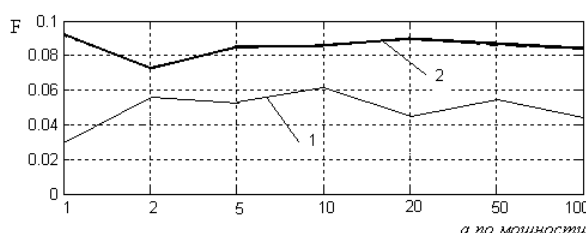
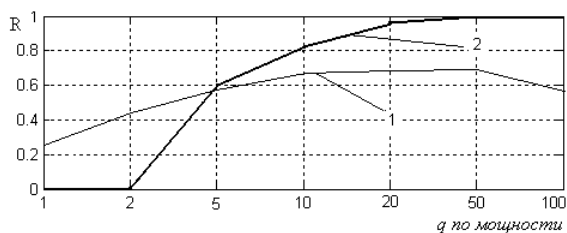
Получены графики зависимости значения критерия Прэтта и показателей (9), (10) от отношения сигнал/шум  $q$  по мощности (рис. 4). При их оценке использовалось тестовое изображение, состоящее из 256x256 элементов, интенсивность которого менялась в диапазоне 0 ... 127. В центре этого изображения находился фрагмент упорядоченной текстуры размера 56x56 пикселей из белых квадратов 8x8 пикселей на расстоянии 8 пикселей по горизонтали и вертикали друг от друга (рис. 3).



а)

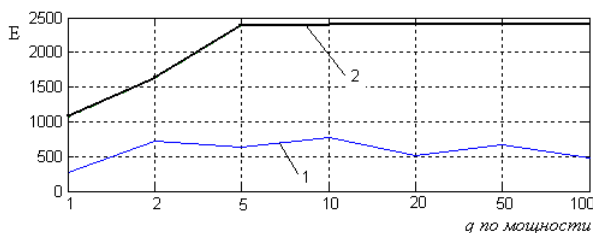
б)

Рис. 3 Тестовое изображение (а) и его строка (б).



а)

б)



в)

Рис. 4 Зависимость критерия Прэтта (а), показателя погрешности определения координат точек границ текстурной области (б) и эффективности сегментации (в) для метода работы [2] (1) и предложенного метода (2)



На изображение фрагмента упорядоченной текстуры был наложен независимый гауссовский шум со среднеквадратическим отклонением  $\sigma_{\text{ex}}$ . Аддитивная смесь сигнала и шума была ограничена по уровню соответственно диапазону интенсивностей 0 ... 255.

Отношение сигнал/шум  $q$  по мощности определялось как  $q = h^2 / \sigma_{\text{ex}}^2$ , где  $h$  – разность интенсивностей непроизводного элемента текстуры и однородного фона.

Анализируя полученные результаты, следует заметить, что предложенный метод сегментации изображений упорядоченных текстур превосходит по помехоустойчивости известный метод в 1,1 — 1,7 раз при отношениях сигнал/шум 5 — 100 по мощности. При низких отношениях сигнал/шум корреляционно-экстремальный метод использовать нецелесообразно, если не изменить морфологическую обработку. По эффективности предложенный метод сегментации изображений упорядоченных текстур превосходит метод работы [2] в 2,7 — 4,8 раза, т. к. недостатком известного метода являются сдвоенные границы сегмента текстуры. По видимому обработке значений интенсивности изображения с помощью фильтров Габора лучше применять в методах текстурной сегментации изображений с помощью классификации. Это связано с тем, что фильтры Габора представляют собой полосовые фильтры, применение которых к последовательности импульсов ведет к утрате части высокочастотной и низкочастотной информации о последовательности импульсов со спектром, покрывающим всю частотную ось.

Сравнительная оценка качества выделения границ текстурных областей показала, что предложенный метод хуже метода работы [2] до 1,8 раз при отношениях сигнал/шум 2 и выше по мощности. При отношениях сигнал/шум 1 и менее по мощности известный метод [2] превосходит предложенный метод сегментации до 3 раз. В этом случае результат сегментации предложенным методом требует дополнительной морфологической обработки. Т. о. предложенный корреляционно-экстремальный метод сегментации изображений упорядоченных текстур можно рекомендовать при отношениях сигнал/шум 5 и выше по мощности в задаче определения границ сегмента упорядоченной текстуры с известными параметрами на однородном фоне, где требуются методы текстурной сегментации с высокой помехоустойчивостью.

Корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной равномерной текстуры на однородном фоне может использоваться для обработки аэрофотоснимков сельскохозяйственных культур. Его можно применять также при контроле качества тканей, а также при решении других задач обработки изображений упорядоченных равномерных текстур.

The multifractal method of images noise recognition is proposed.

1. Харалик Р. Статистический и структурный походы к описанию текстур // ТИИЭР. — 1979. — Т. 67, № 5. — С. 98 — 120.
2. 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.
3. Chaudhuri B.B., Sarkar N. Texture segmentation using fractal dimension // IEEE Trans. on PAMI. — 1995. — Vol.17, № 1. — P. 72 — 77.
4. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с.
5. Баскаков С.И. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Высш. шк., 1988. — 488 с.
6. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. — М.: Радио и связь, 1989. — 656 с.
7. Абакумов В.Г., Крылов В.Н., Антощук С.Г. Повышение эффективности обработки образной информации в автоматизированных системах // Электроника и связь. Тематический выпуск «Проблемы электроники». — 2005. — Ч. 1. — С. 100 — 105.

ИНФОРМАЦІЙНИЙ АСПЕКТ: РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ  
ІНДИВІДУУМА

Шеховцов А.В.

Розпізнавання образів є однією з найбільш фундаментальних проблем теорії інтелектуальних систем. З іншого боку, задача розпізнавання образів має величезне практичне значення. Замість терміну "розпізнавання" часто використовується інший термін - "класифікація". Ці два терміни у багатьох випадках розглядаються як синоніми, але не є повністю взаємозамінюваними. Кожний з цих термінів має свої сфери застосування, і інтерпретація обох термінів часто залежить від специфіки конкретної задачі.

Віднесення об'єкту до того чи іншого класу. Це може бути, наприклад, задача розпізнавання літер або прийняття рішення про наявність дефекту у деякій технічній деталі. Віднесення об'єкта до певного класу відображає найбільш типову проблему класифікації, і, коли говорять про розпізнавання образів, найчастіше мають на увазі саме цю проблему. Саме її буде розглянуто в першу чергу в даній роботі.

Дана стаття присвячена проблемі технічного зору і розпізнавання образів мобільним роботом. Упор робиться не на високу науковість, а на практичне застосування, тобто все описане нижче працює на реальному роботі.

**Постановка задачі:** Мобільний робот по ходу руху повинний розпізнавати образи, розташовані на столі, за допомогою відеокамери. З малим числом образів задача повинна вирішуватися в реальному часі. Алгоритм розпізнавання повинний бути інваріантний щодо розміру образів і їхнього положення (повороту). Усе працює під ОС Windows. [1]

Алгоритми розпізнавання образів. Теорія технічного зору існує не перший день, по цьому в літературі можна знайти досить підходів і рішень. Для початку перелічимо деякі з них:

- **Алгоритм скелетизації.** Коротенько, це якийсь метод розпізнавання одинарних бінарних образів, заснований на побудову кістяків цих образів і виділення з кістяків ребер і вузлів. Далі по співвідношенню ребер, їхньому числу і числу вузлів будується таблиця відповідності образам. Так, наприклад, кістяком кола буде один вузол, кістяком букви П - три ребра і два вузли, причому ребра відносяться як 2:2:1. У програмуванні даний метод має кілька можливих реалізацій.[5]

- **Нейросітєві структури.** Напрямок був дуже модним у 60-70 роки, у наслідку інтерес до них небагато зменшився, тому що солідне число нейронів вимагає солідні обчислювальні потужності, що звичайно відсутні на простеньких мобільних платформах. Однак треба мати на увазі, що нейросітки іноді дають досить цікаві результати, за рахунок своєї нелінійної структури, більш того деякі нейросітки здатні розпізнавати образи інваріантні щодо повороту без якої або зовнішньої пред обробки. Так, наприклад мережі на основі неокогнейтронів здатні виділяти деякі характерні риси образів, і розпізнавати їхній як би образи не були повернені.[6]

- **Інваріантні числа.** З геометрії образів можна виділити деякі числа, інваріантні щодо розміру і повороту образів, далі можна скласти таблицю відповідності цих чисел конкретному образу (майже як в алгоритмі скелетезації). Приклади інваріантних числі: число Ейлера, ексцентриситет, орієнтація (розташування головної осі інерції щодо чогоньбудь теж інваріантного).[7]

- **Поточечне процентне порівняння з еталоном.** Тут повинна бути деяка пред обробка, для одержання інваріантності щодо розміру і положення, потім здійснюється порівняння з заготовленою базою еталонів зображень - якщо збіг більше чим якась оцінка, то вважаємо образ розпізнаним.[7]

Практична частина розпізнавання образів. Проаналізувавши всі алгоритми розпізнавання, описані вище, прийшли до висновку, що: необхідно працювати з растровим зображенням (так швидше одержати реальні результати). При цьому вводяться наступні обмеження: наявність відблисків на зображенні зрушує центр мас і орієнтацію, так само не припустимі розриви в об'єкті. Однак запропонований метод володіє і плюсами (дрібні помилки повороту, неточності бінаризації і т.п. будуть природним образом згладжуватися на стадії стиску в матрицю-іконку). Запропонований метод виконується в наступній послідовності:

- зображення від камери;
- бінаризація;[5]
- сегментація;[5]
- вихоплювання, обчислення ознак;[6]
- поворот, повторне вихоплювання;[6]
- стиск матриці;
- розпізнавання матриці нейросіткою.[8]

**Рішення проблеми.** Одержання зображення з камери в ОС Windows. В ОС Windows усі джерела відео мають один шаблон. Робота з відео проводиться за допомогою DScap. Відеокамера, що може давати відео потік (послідовність Bitmap) далі відео потік потрібно настроїти, для цього запросити драйвер про всі можливі діалоги, що він (драйвер пристрою) може дати. І власне за події захоплення кадру (драйвером, якщо завгодно) буде викликатися функція користувача, на вхід йде хто неї викликав і ще параметр, власне захоплений Bitmap у зазначеній палітрі і з зазначеною яскравістю і т.п., за допомогою Direct. Скачати демо для роботи з відео в Windows під Delphi не представляє особливої праці.

Бінаризація. У розробленій програмі розпізнаються тільки бінарні образи, тому другим етапом після одержання картинки, формуються бінарні образи. При роботі з кольоровою камерою перетворення з кольору в чорно, білий колір йде по стандартній формулі  $Y=0.3*R+0.59*G+0.11*B$ . Далі алгоритм досить простий: є деяка планка, якщо колір відтінку сірого вище - він вважається білим, якщо нижче - вважається чорним. Як видно бінаризація дуже проста, однак для серйозного поліпшення якості роботи розпізнавання, і зменшення часу роботи наступних модулів, на цьому місці краще ввести якийсь фільтр, нехай навіть найпростіший. Для роботи з відео одним з найпростіших фільтрів є фільтр по контрастності. У програмі не використана така конструкція, однак місце де вона може бути включена, позначено, і на тім місці знаходиться програма, що відслідковує кількість пікселів (білих або чорних) ідучи підряд, і виключаючи виникнення послідовності в ряді: 01010101. У режимі DEBUG місця зміни кольору, зафіксовані програмою можна побачити по червоному обрамленню образів, що малюється безпосередньо в модулі бінаризації. Стандартні модулі DELPHI опитування кольору пікселей у bitmap – надзвичайно повільно працюють. Для прискорення процесу використані модулі Qpixels. Після однократного опитування кольорів і їх бінаризації, програма працює тільки зі звичайною бінарною матрицею (динамічним двовимірним масивом), тому далі процес йде швидко.

Сегментація. Всі описані вище алгоритми розпізнавання образів працюють з єдиним видимим образом, у реальній ситуації відеокамера може бачити відразу кілька об'єктів, спеціально розташованих поруч, або ж у полі зору може потрапити який-небудь сторонній об'єкт. Якщо не передбачати деяку розбивку загального зображення на частині, то жоден з описаних вище алгоритмів не зможе коректно працювати. Далі виробляється розбивка зображення на частині, кожна частина з яких містить свій унікальний об'єкт, названий сегментацією. І в розпізнаванні образів, і в сегментації існує досить багато алгоритмів, кожний з яких має свої достоїнства, у пропонованій статті алгоритм працює тільки з чорно-білим зображенням. У сегментації чітко розділяються чорно-білі зображення на бінарні кольори і з відтінками сірого. Тут працюють зовсім різні по швидкості і складності

алгоритми, однак інтуїтивно зрозуміло, що будь-яке зображення з відтінками сірого кольору можна провести бінаризацію за деякими правилами. Нехай з камери надходить чорно-біла, але цілком реальна картинка з 8 бітною палітрою (колір задається від 0 до 255), однак для простоти в запропонованому алгоритмі відразу ж проводив її бінаризацію. Більшість камер і інших пристроїв в ОС Windows кодує кольору в пікселях у 24 бітовому форматі. Оскільки алгоритм працює в основному з чорно-білими камерами, то уміст усіх трьох 8 бітів RGB однакове. Маємо деяке зображення, кожен колір якого змінюється від 0 до 255. На стадії бінаризації необхідно перетворити об'єкт зображення в бінарну матрицю даних.[9] Для прискорення процесу починається робота вже не з об'єктом картини, а з бінарною матрицею, образи в якій виглядають приблизно так:

```

00000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000000
00000000000001110000111000000000000000000000000000000000000000000000
00000000000011100001110000000000000011100000000000000000000000000000
00000000000111000111000000000000001111000000000000000000000000000000
00000000011100011100000000000000011001100000000000000000000000000000
00000000111111000000000000000001100011000000000000000000000000000000
00000001110011000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00000011100111000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00000111000110000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00001110001110000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00011100011110000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000110000000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000111100000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000111100000000000000000000000000000
00000000000000000000000000000000000111100000000000000000000000000000

```

У реальному житті матриця має розмір дорівнює рядкові по 640 елементів 0 або 1 (по числу пікселів із зображення камери), тому приклад представлений вище має не реальну величину. Іноді при використанні точних камер з дозволом 1024x768 розмір матриці буде пропорційно більше. Тому друкувати на сторінці реальні дані досить важко, однак нижче будемо давати посилання на файли з реального DEBUGa програми. Наступним кроком алгоритму повинна бути сегментація.[8] Вона здійснюється шляхом проходу по матриці зображення ліворуч праворуч, зверху вниз. При проході виконуються наступні правила:

L и M це мітки після проходження алгоритму по масиву (однократного) повинні бути привласнені всім пікселям об'єкта (елементам матриці, що до сегментації були одиничними) мітки. Далі якщо вже мічені об'єкти зливаються, то повинне відбуватися і злиття міток. Для коректної роботи алгоритму потрібно перепризначувати мітки у всій матриці зображення щораз, коли виконується останнє правило. Одна з задач алгоритму це поставитися укластися в реально час, тому проходити по масиві елементів 640x480 щораз, коли хочеться пере призначити мітку - це недозволена розкіш. Щоб раціоналізувати цю частину алгоритму, це завести окремо масив міток, у якому треба прописувати яка мітка на яку посилається, і всі операції при проході по матриці зображення проводити тільки з масивом посилань міток. При цьому наприкінці проходу повинний матися масив міток, що посилаються один на одного, і тільки кілька міток повинні бути унікальними - які власне й утворюю об'єкти. Що б одержати унікальні об'єкти, що уже можна направити в модуль розпізнавання потрібно усього лише нормалізувати цей масив посилань і пере призначити всі елементи матриці, на унікальні мітки виходячи з даних нормалізованого масиву посилань. На практиці такий підхід виявився неробочим: на складних об'єктах (наприклад, нитка



ра, ексцентриситет і орієнтація. Як уже було сказано, можна зібрати таблицю 8-ми інваріантних ознак і розпізнавати образи виходячи тільки з цих даних, однак ми підемо другим шляхом. З усієї безлічі інваріантних чисел обчислимо тільки одну орієнтацію, для цього використовуємо алгоритми, схожі на MATLAB (можливо вони там і використовуються).

При обчисленні ряду морфометричних ознак використовуються поняття механіки твердого тіла. Зокрема, це відноситься до довжин осей інерції об'єкта. Напрямку в тілі, що збігаються з півосями еліпсоїда інерції, називають головними осями інерції. Для перебування головних осей інерції, що лежать у площині об'єкта, у функції `imfeature` використовуються наступні співвідношення [1, 2, 5]. Нехай  $N$  - кількість пікселів, що відносяться до об'єкта. Уся безліч пікселів  $p(x, y)$ , що відносяться до об'єкта, позначимо  $\Omega$ . Тоді координати центра мас об'єкта обчислюються як:

$$x_c = \frac{1}{N} \sum_{p(x,y) \in \Omega} x, \quad y_c = \frac{1}{N} \sum_{p(x,y) \in \Omega} y$$

Обчислимо кілька допоміжних величин:

$$U_x = \frac{1}{12} + \frac{1}{N} \sum_{p(x,y) \in \Omega} (x - x_c)^2;$$

$$U_y = \frac{1}{12} + \frac{1}{N} \sum_{p(x,y) \in \Omega} (y - y_c)^2;$$

$$C = \sqrt{(U_x - U_y)^2 + 4 \cdot U_{xy}^2}$$

Тоді довжини максимальної  $A_{\max}$  і мінімальної  $A_{\min}$  осей інерції обчислюються як:

$$A_{\max} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_x + U_y + C};$$

$$A_{\min} = 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{U_x + U_y - C}$$

Довжини головних осей інерції використовуються для обчислення ексцентриситету й орієнтації об'єкта. Ексцентриситет визначається за допомогою співвідношення

$$E = \frac{2 \cdot \sqrt{(0.5 \cdot A_{\max})^2 - (0.5 \cdot A_{\min})^2}}{A_{\max}}$$

Орієнтація визначається як кут у градусах між максимальною віссю інерції і віссю  $X$ . Якщо  $U_y > U_x$ , то орієнтація  $O$  обчислюється за допомогою формули

$$O = \frac{180}{\pi} \cdot \arctg \left( \frac{U_y - U_x + C}{2 \cdot U_{xy}} \right),$$

у протилежному випадку  $O$  обчислюється як

$$O = \frac{180}{\pi} \cdot \arctg \left( \frac{2 \cdot U_{xy}}{U_x - U_y + C} \right)$$

Поворот образу, повторне вихоплювання. Знайдено орієнтацію зображення, що унікальна для кожного образу. Зроблено це для того, що б тепер образ можна було повернути щодо центра мас, так що б його орієнтація була рівнобіжна осі  $X$ . Власне цей прийом і дає інваріантність щодо початкового повороту. Ну і звичайно деяка демонстрація роботи алгоритму обчислення орієнтації і повороту бінарного образу. Орієнтація це ж не вектор, а тільки пряма, т.ч. образ можна повернути і ліворуч і праворуч. Насправді це навіть і не проблема:

- в перших можна навчати нейросітки на двох прикладах образу - покладеного поворотом праворуч і поворотом ліворуч. Це не цілком коректно, але на простих речах працює без утрати якості;
- по-друге, можна створити додатковий тип для кожного образу - там він буде ле-

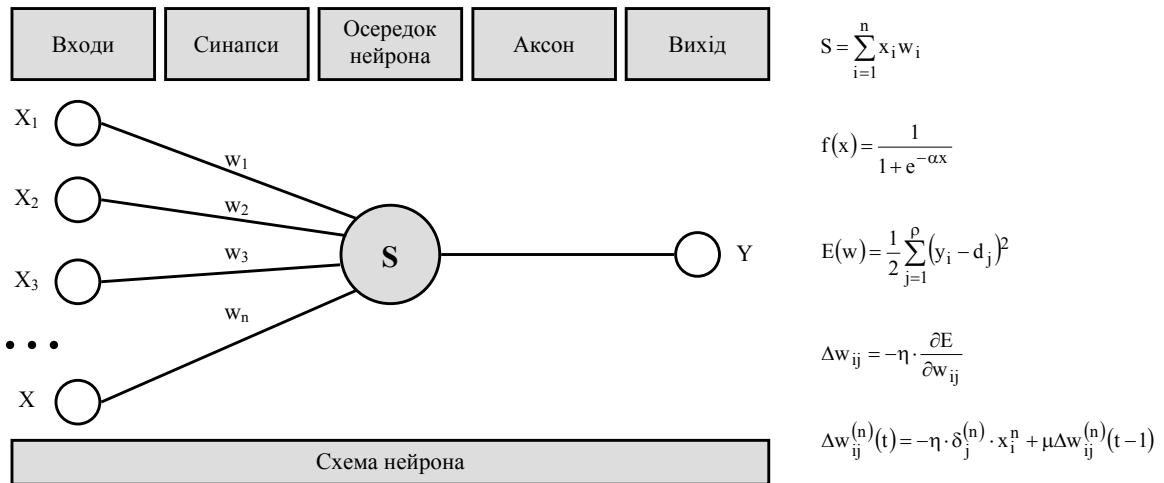
жати розгорнутий у зворотну сторону.

**Стиск образу в матрицю заданого розміру.** В оболонці програми знаходиться якась бінарна матриця, у яку ужимається кожен окремий сегментований образ. Розмір матриці задається по необхідності - тобто, якщо потрібна велика деталізація, то краще використовувати матриці більшого розміру, ніж у поточній версії програми. Це дасть додаткові обчислення на стадії розпізнавання, що і підвищить якість процесу. Однак важливо розуміти, що малий дозвіл розпізнаваної матриці дозволяє виправити деякі можливі помилки при повороті зображення (обчислення орієнтації образу), так як незначне відхилення в 5 градусів, не буде помітно після стиску образу. На практиці такі помилки обов'язково будуть промайнати, коли якусь частину образу закрийє перешкода або відблиск - центр мас зміщається, орієнтація можливо теж - поворот буде не цілком коректний. У реальних умовах при розпізнаванні, образ ніколи не буде видний камерою як повинний бути на 100%. так як в русі хоча б одна точка образу буде гарантовано викривлена камерою, тому, чим менше розпізнавана матриця (тобто чим грубіше стиск до її розмірів), тим більше можливих помилок буде не замчено, але тем менше рівень можливої деталізації. Тут необхідно пояснити, що для кожної задачі розмір матриці треба вибирати відповідний і не завжди чим більше, тим краще.

**Розпізнавання образу нейросіткою [7].** Для перевірки пред обробітки, і всіх описаних вище алгоритмів, як метод розпізнавання був втілений алгоритм процентного порівняння з еталонами. Спочатку програма фотографувала і провела предобробку тими ж алгоритмами тренувальні образи, після чого, коли було потрібно розпізнавати щось нове, вона це нове знову ж таки проводила предобробку до матриці заданого розміру, і потім цю матрицю порівнювала з усім запам'ятованими матрицями.

**Структура нейронної мережі**

Багатошарова мережа, зворотного поширення похибки. 256-6



Багатошарова нейросітка зворотного поширення помилки, займається тим же, що і процентний алгоритм порівняння матриці, однак за рахунок своєї нелінійної структури розпізнає на 10-30% краще порівняння двох матриць [6]. Для перевірки були створені дві сітки - одна 256-6, друга 256-40-6. Перший шар у 256 нейронів це вхід матриці 16x16, останній шар це вхід - розпізнаємо, приміром, 6 букв. На практиці, нейросітка із трьох шарів (з якоюсь внутрішньою обробкою - у 40 нейронів) навчалася з великим трудом, постійно ловлячи локальні мінімуми (висновок зроблений з поводження середньоквадратичної помилки, виведеної в реальному часі при навчанні). Якість же розпізнавання візуально не зросло. Було прийняте рішення зупинитися на простій структурі в 256-X (де X - число заучених образів), що навчається досить нетривалий час, поводить себе стабільно і показує гарні результати. За результат розпізнавання був узятий вихід нейрона, більший 1-K, причому жоден з інших виходів не може бути більше K. У задачі K береться рівне 0.2, тобто можна провести деяку

аналогію з процентним порівнянням (за істину береться більше 80% збігів), з тією лише різницею, що нейросітки "порівнює" нелінійно.

**Висновок.** Отриманий метод розпізнавання не є універсальним, але отримані результати охопили досить великий обсяг задач і відповідають поставленій задачі. Виконуючи досить вузьку проблему вдалось застосувати задачу по ідентифікації фото зображень в пошуках заданого наперед критерію.

The method of recognition of a photo of images is described. Carrying out rather narrow problem it was possible to apply a problem in identification of a photo of images in searches set on before criterion.

1. Головки В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 1. Организация и обучение нейронных сетей с прямыми и обратными связями – Брест:БПИ, 1999, - 260с.
2. Головки В.А. Нейроинтеллект: Теория и применения. Книга 2. Самоорганизация, отказоустойчивость и применение нейронных сетей – Брест:БПИ, 1999, - 228с.
3. Бардачов Ю.М., Ходаков В.Є., Шеховцов А.В., Бараненко Р.В. Аналіз створення та підходи реалізації автоматизованої системи «Реєстр виборців України» // Вісник Херсонського національного технічного університету, 2005 р. – С. 153-167.
4. Бардачов Ю.М., Ходаков В.Є., Шеховцов А.В., Шаганян С.М., Бараненко Р.В. «Вибори» - автоматизоване робоче місце працівників дільничної виборчої комісії // Вісник Херсонського національного технічного університету, 2006 р. – С. 10-15.
5. Уоссермен Ф. Нейрокомпьютерная техника: Теория и практика, 1992 – 184с.
6. Petrou M. Learning in Pattern Recognition. Lecture Notes in Artificial Intelligence – Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, 1999, pp. 1-12.
7. Jacobsen X., Zscherpel U. and Perner P. A Comparison between Neural Networks and Decision Trees. Lecture Notes in Artificial Intelligence – Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, 1999, pp. 144-158.
8. Aizenberg I. N., Aizenberg N. N. and Krivosheev G.A. Multi-valued and Universal Binary Neurons: Learning Algorithms, Applications to Image Processing and Recognition. Lecture Notes in Artificial Intelligence – Machine Learning and Data Mining in Pattern Recognition, 1999, pp. 21-35.
9. Yoon K. S., Ham Y. K. and Park R.-H. Hybrid approaches to frontal view face recognition using the Hidden Markov Model and Neural Network. Pattern Recognition 1998 Vol. 31, pp. 283-293.

УДК 677.05.059:621.3.078.08

## КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ТКАНЕЙ СПЕЦИАЛЬНОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Терновая Т.И., Сумская О.П., Слободянюк И.И., Булка Т.И.

**Введение.** В настоящее время уровень исследований и разработок в области технологии текстильных материалов для чистых производственных помещений (ЧПП) различных классов справедливо считается свидетельством достижений науки и техники государства. Потребителями текстильных материалов для ЧПП является микроэлектронная, полупроводниковая, химико-фармацевтическая промышленности, медицинские учреждения и пищевые предприятия.

Основная функция технологической одежды состоит в защите технологической среды и производственного продукта от загрязнений, которые выделяет человек, и, исходя



из этого, одежда должна быть качественной, эстетической и эргономической. Эти требования максимально отражены в ГОСТ 11518-88, ГОСТ ИСО 14644-1-2000, ГОСТ Р52249, правилах GMP. Мировой рынок предлагает достаточно широкий ассортимент технологической одежды для ЧПП (фирма «Инвар», г. Москва, компания «ЕКМА», г. Киев, холдинг «LAMSYSTEMS» и др.), которая соответствует самым высоким требованиям международного стандарта ISO 9001:2000. На достаточно высоком уровне выполнены научные работы в области разработки специальной одежды для ЧПП в Киевском национальном университете технологий и дизайна [1,2].

Однако анализ научно-технической литературы и мирового рынка текстильных материалов свидетельствует, что необходимо и актуально разрабатывать новые подходы к созданию систем технологической одежды многоразового пользования с учетом конечной цели ее применения. Это предопределяет жесткие, особые требования к выбору текстильных материалов. При большом разнообразии текстильных материалов имеет значение определение значимости показателей качества в конкретных условиях использования. Такое положение вызывает необходимость на современном уровне знаний и техники разрабатывать методы автоматического контроля текстильных материалов для одежды в ЧПП.

**Постановка проблемы.** Наличие дефектов на тканях предназначенных для технологической одежды для работы в чистых помещениях является совершенно не допустимым. Требования и допуски на отклонения параметров, характеризующих качество продукта очень жесткие. Обнаружение участков ткани с минимальным отклонением от нормального состояния является сложной задачей не только для визуальной разбраковки, но так же сложной теоретической и аппаратной задачей [3, 4]. Учитывая, что без решения данной задачи вопросы контроля качества текстильных материалов не могут быть решены, целесообразно использовать новые подходы к контролю, которые базируются на современных информационных технологиях.

**Целью данной статьи** является разработка контроля качества тканей специального назначения с использованием автоматических систем распознавания.

#### **Анализ последних исследований и публикаций.**

Первые попытки автоматизации разбраковки тканей, относящиеся к 50-60 годам [5], потерпели неудачу вследствие отсутствия теоретической и аппаратной базы для решения такой сложной задачи. Реально появление систем автоматической разбраковки за рубежом связано с созданием в 80 годах системы "AVIS" в США и лазерной системы фирмы "SICK" в Германии. Хотя данные системы весьма далеки от совершенства, имеется опыт их промышленного использования, показывающий, что даже при крайне высоких стоимостях, порядка сотен тысяч долларов США [6], системы достаточно эффективны и позволяют резко снизить выход брака за счет устранения пропусков дефектов.

Современная текстильная промышленность для разбраковки тканей использует оборудование, в состав которого включены микропроцессорные контролеры и современные датчики. Наиболее широкое распространение получили системы, использующие цифровые видеокамеры в совокупности с нейронными сетями [7-11]. Так, например, система Cyclops в составе Varco's QualiMaster system [12] использует телевизионную камеру, которая перемещается вдоль утка ткани и таким образом осуществляется контроль перематывающегося полотна ткани. Существенным преимуществом системы VarcoVision's Cyclops является то, что она может устанавливаться непосредственно на ткацком оборудовании, что в свою очередь позволяет прекратить процесс ткачества при появлении грубого дефекта и устранить причину его вызвавшую.

Широкое применение на зарубежных ткацких фабриках получила система Elbit Vision System's I-Tex [12]. I-Tex система способна работать со скоростью 300 м/мин и с широкими тканями до 5 метров. Система фиксирует координаты и размер обнаруженного дефекта и сохраняет его изображение для последующего предоставления оператору. Стоимость системы от \$ 100000 до \$ 650000.

Система Zellweger Uster's Fabriscan может контролировать ткань со скоростью до 120 м/мин и работать с тканью шириной от 110 до 440 сантиметров [12]. Система использует базу данных дефектов, которая может обновляться и изменяться. Контролируется контрастность и длина дефекта, что позволяет, по утверждению компании-производителя, игнорировать изменения в ткани, не являющиеся дефектами. Стоимость системы Fabriscan от \$ 200000.

По эксплуатационным характеристикам данные системы близки между собой, однако наилучшими метрологическими характеристиками обладают лазерные системы, обеспечивающие инструментальную точность в спектральном диапазоне и свободные от погрешностей, возникающих за счет изменения угла зрения.

Однако, несмотря на значительное число существующих разработок, системы обеспечивающей требуемое производством качество разбраковки при многообразии показателей качества и разбросе их количественных значений, не имеется. Для создания таких систем необходимо разработать новые методы выявления и контроля отклонений качественных показателей, которые базируются на современных информационных технологиях. Такие методы должны позволять автоматическим системам работать в реальном масштабе времени и должны обладать исключительно высокой степенью надежности и достоверности.

**Предметом исследования** являются ткани на технологической операции заключительной отделки и последующей их разбраковки.

**Контроль качественных показателей тканей специального назначения.**

Современные автоматические системы распознавания дефектов должны обладать высокой степенью надежности при работе на больших скоростях. Поэтому целесообразно использовать подход к контролю, который базируется на модифицированном преобразовании Радона [13]. Достоинством данного подхода является согласование алгоритма фильтрации со структурой ткани. Действительно данное преобразование выполняется по ортогональным направлениям, что позволяет выделять дефекты, ориентированные по утку и основе ткани. С другой стороны данное преобразование основано на операции интегрирования, что повышает чувствительность к распределенным дефектам, в частности, к дефектам аппретирования.

На рис. 1,а приведен телевизионный кадр, содержащий дефектный участок ткани и отклик преобразования на данный кадр, рис. 1,б.

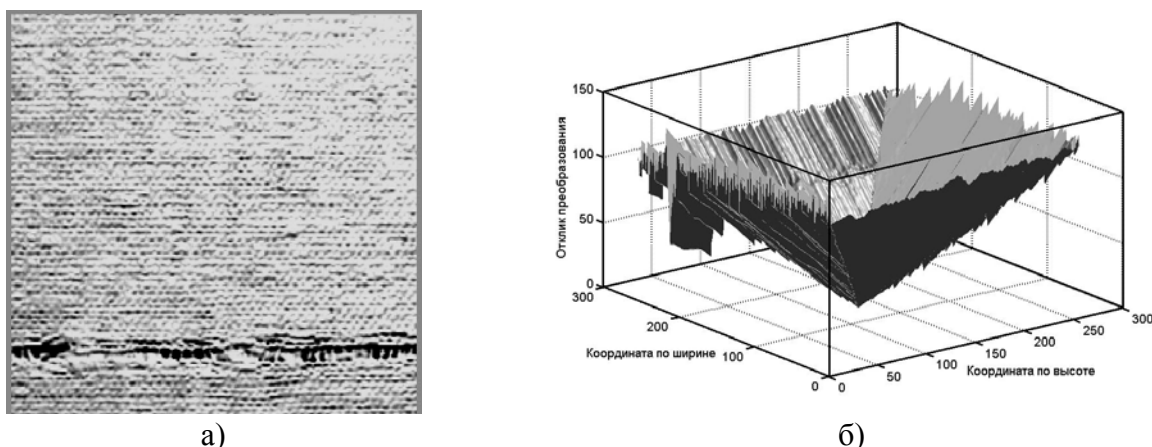


Рис.1 Дефект ткани:

- а) фрагмент отсканированного изображения ткани с дефектом;
- б) преобразование Радона для данного фрагмента.

Формирование ненормированного преобразования Радона в программном пакете Matlab выполнено согласно следующему фрагменту:

```

function D=pprd(D1,nim);
D4(1:nim,1:nim)=0;% Очистка рабочего массива
D4(1:nim/2,1:nim)=1;
D4=tril(D4);
D=D4;
D11=tril(flipud(tril(D1*D4,-1)),-1);
D12=tril(rot90(tril(D1*D4)),-1);
D21=rot90(tril(rot90(tril(fliplr(D1)*D4)),-1));
D22=triu(rot90(tril(rot90(fliplr(D1),-1)*D4),-1));
D=flipud(D11+D12+D21+D22);

```

Собственно алгоритм преобразования сводится к проективному преобразованию по направлениям.

Существенным достоинством использованного преобразования является его высокое быстродействие, поскольку для определения каждой точки поверхности отклика выполняется только одна операция сложения. Так как среднее значение отклика постоянно по всему участку ткани, целесообразно перейти к центрированию на среднее значение отклика (рис. 2).

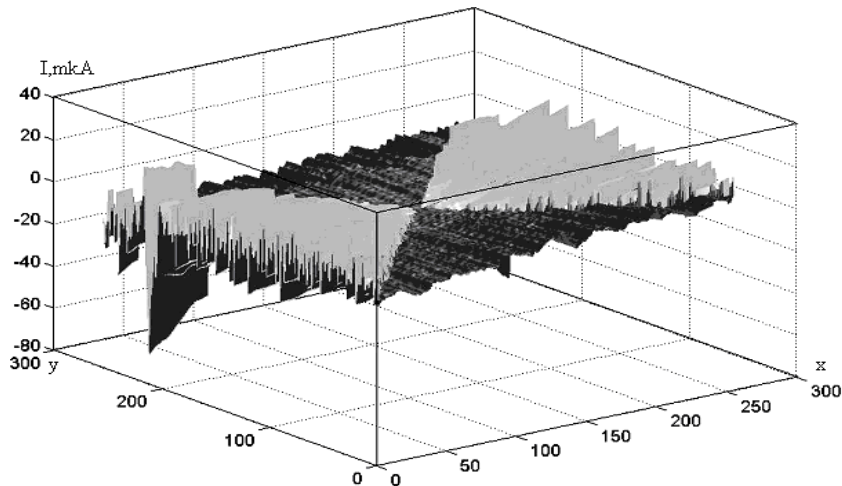


Рис. 2 Преобразование Радона с центрированием на среднее значение отклика [14]

Как видно из рис. 2 отклик сохраняет информацию о структуре ткани и одновременно обеспечивает резкое увеличение сигналов дефектных участков. Следует отметить, что при анализе кадра с использованием данного преобразования нет необходимости анализировать все поле отклика, так как вся информация о состоянии участка ткани содержится в граничных сечениях отклика (рис. 3).

Так как в системе использовано телевизионное сканирование, является возможным выделить строку, проходящую через дефектную область (рис.4).

В сигнале строки сканирования наблюдается значительная неравномерность, которая может служить признаком дефекта, однако выделить локализацию дефекта достаточно сложно из-за прерывистого характера сигнала. С другой стороны преобразованный сигнал сканирования четко выделяет дефектную область. На рис. 5 приведено граничное сечение отклика преобразования и в тех же координатах приведен сигнал сканирования строки содержащей дефект.

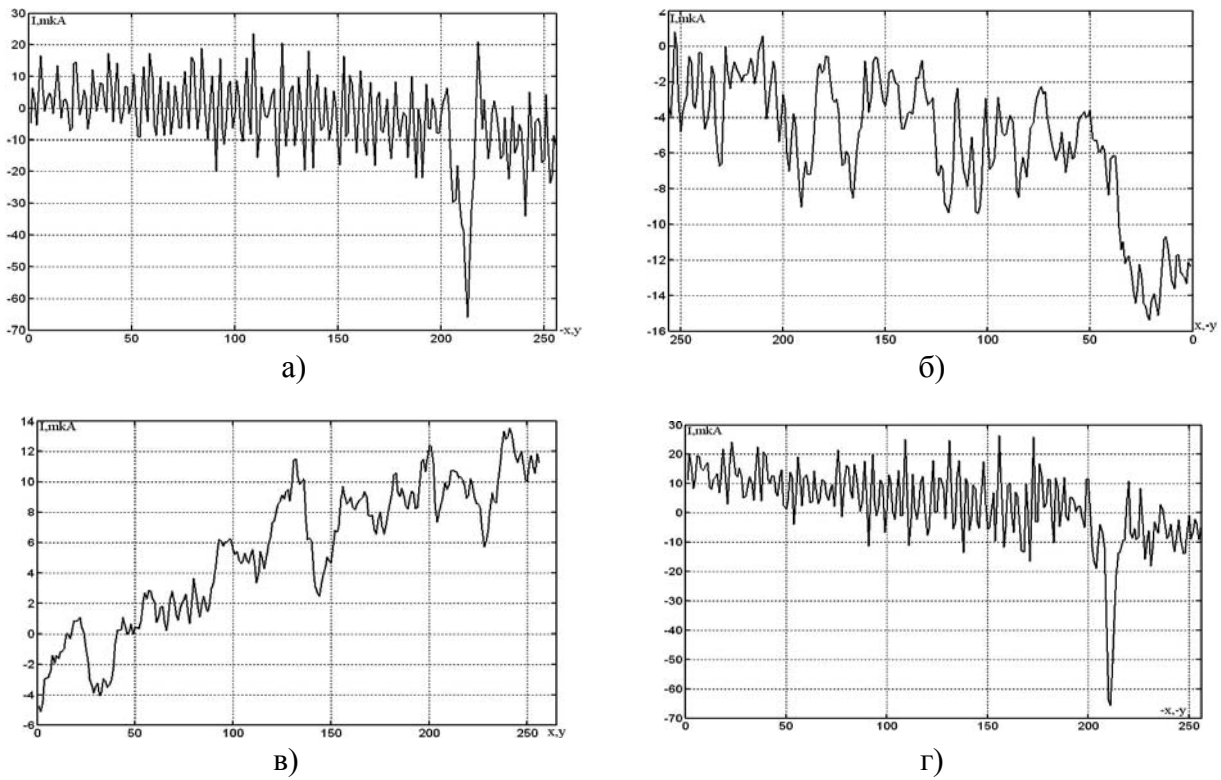


Рис.3 Граничные сечения отклика по периметру в проекции на оси  $-X, Y$  (а); на оси  $X, -Y$  (б); на оси  $X, Y$  (в) и на оси  $-X, -Y$  (г)

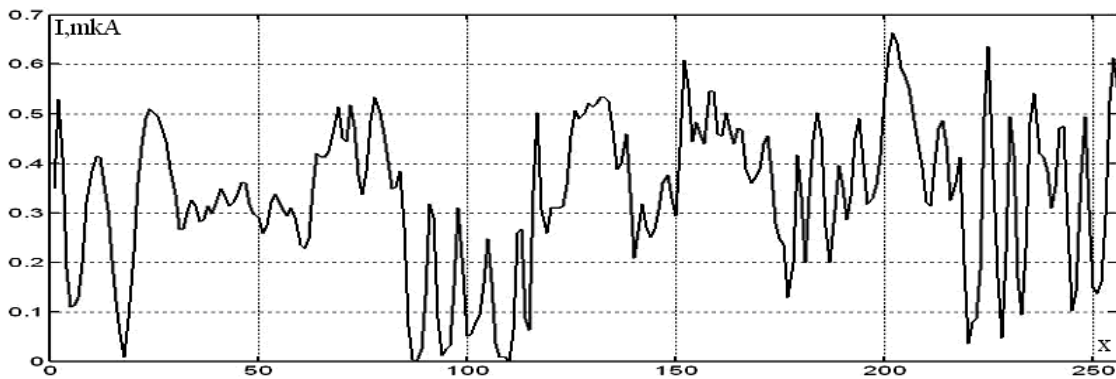


Рис.4 Растр сканирования, проходящий через середину дефекта

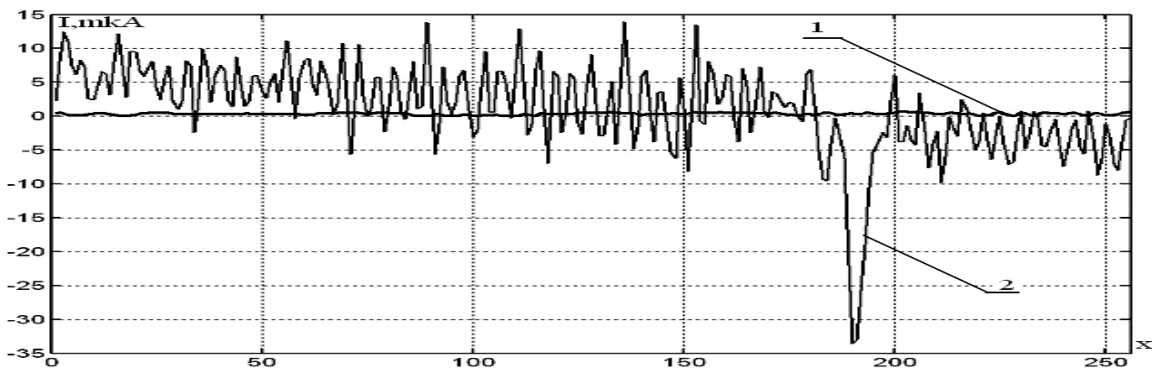


Рис. 5 Нормированные сигналы: 1- одиночного растра, проходящего через дефект, и 2 – преобразование Радона телевизионного кадра, который содержит дефект

Как видно из сравнения результатов, полученных при выделении одиночной строки и результата от преобразования выделенной дефектной области, анализировать преобразованный сигнал гораздо более целесообразно, так как отношение уровня сигнала дефектной области в преобразованном сигнале к сигналу дефекта в строке более 100.

**Контроль распределенных характеристик.**

Как известно [15-17] наиболее сложно обнаруживать распространенные дефекты, связанные с отклонением плотности цвета, изменением плотности ткани и т.д. С целью анализа применимости рассматриваемого метода к задаче обнаружения распространенных дефектов проведены экспериментальные исследования на образцах ткани с реальными дефектами. Так, на рис. 6 приведен кадр ткани, имеющей пятно.

На рис. 7 приведен отклик данного кадра после преобразования Радона.

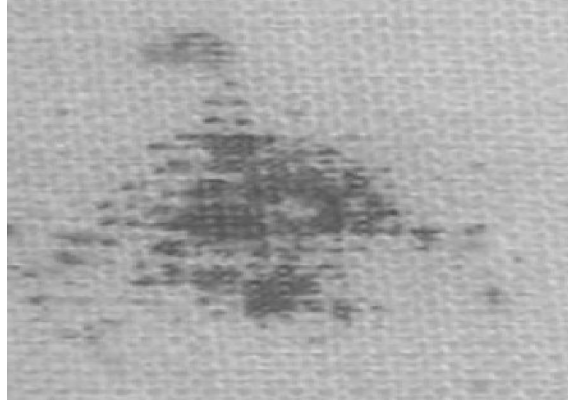


Рис. 6 Ткань с дефектом пятна

Как видно из анализа рис. 7, наличие распределенного по ткани изменения свойств вызывает резкую деформацию отклика. Данное свойство использованного преобразования вызвано тем, что в точках границы отклик определяется как интеграл, а, следовательно, незначительные отклонения от нормального состояния накапливаются. Так же, как и в предыдущем случае, выделение области дефекта с использованием преобразованного сигнала дает многократный выигрыш. На рис. 8 приведен сигнал сканирования дефектной области и граничное сечение преобразования.

Для задачи оценки сортности тканей с распределенными дефектами значительную роль играет выделение дефектной области. Так как преобразованный сигнал имеет ярко выраженные участки, связанные с дефектом, выделение дефектной области выполняется достаточно легко на основе заданных пороговых отношений. Результат выделения дефектной области приведен на рис. 9.

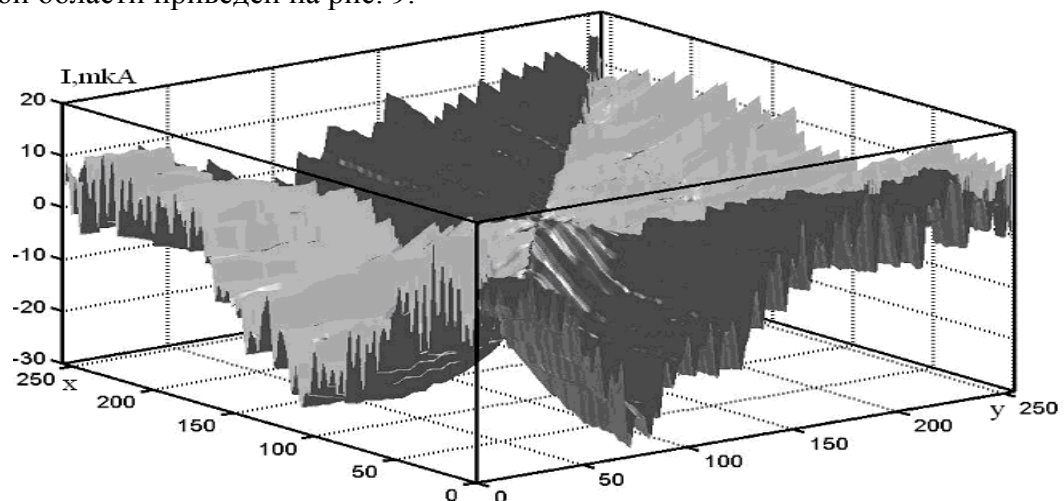


Рис. 7 Преобразование Радона для дефекта фрагментированного пятна

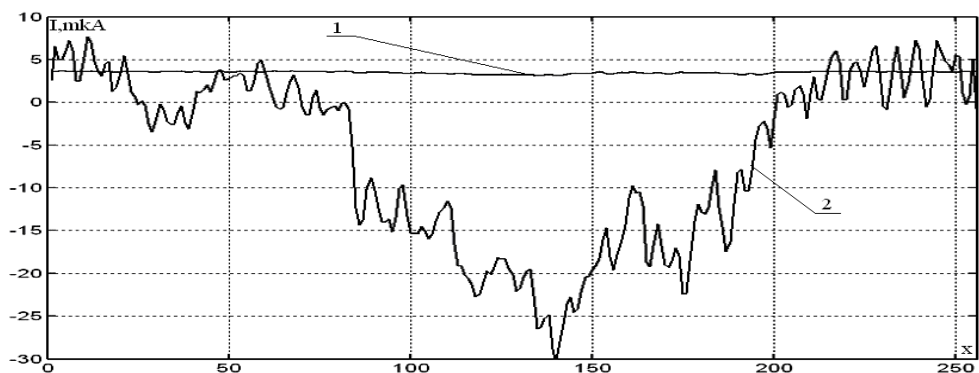


Рис. 8 Сигналы в одних координатах: 1- одиночного растра, проходящего через дефект, и 2 - граничное сечение преобразования Радона

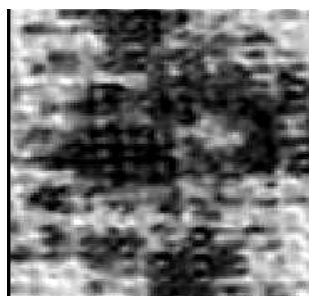


Рис. 9 Выделенный дефект в отсканированном кадре

Аналогичные результаты предварительной обработки для распознавания получены для дефектов типа: нарушение целостности ткани (рис. 10), непроряд, отсутствие нитей, подплет, загрязнение маслом, разный текст утка и других типичных дефектов тканей [14], абсолютно недопустимыми для изготовления одежды для ЧПП.

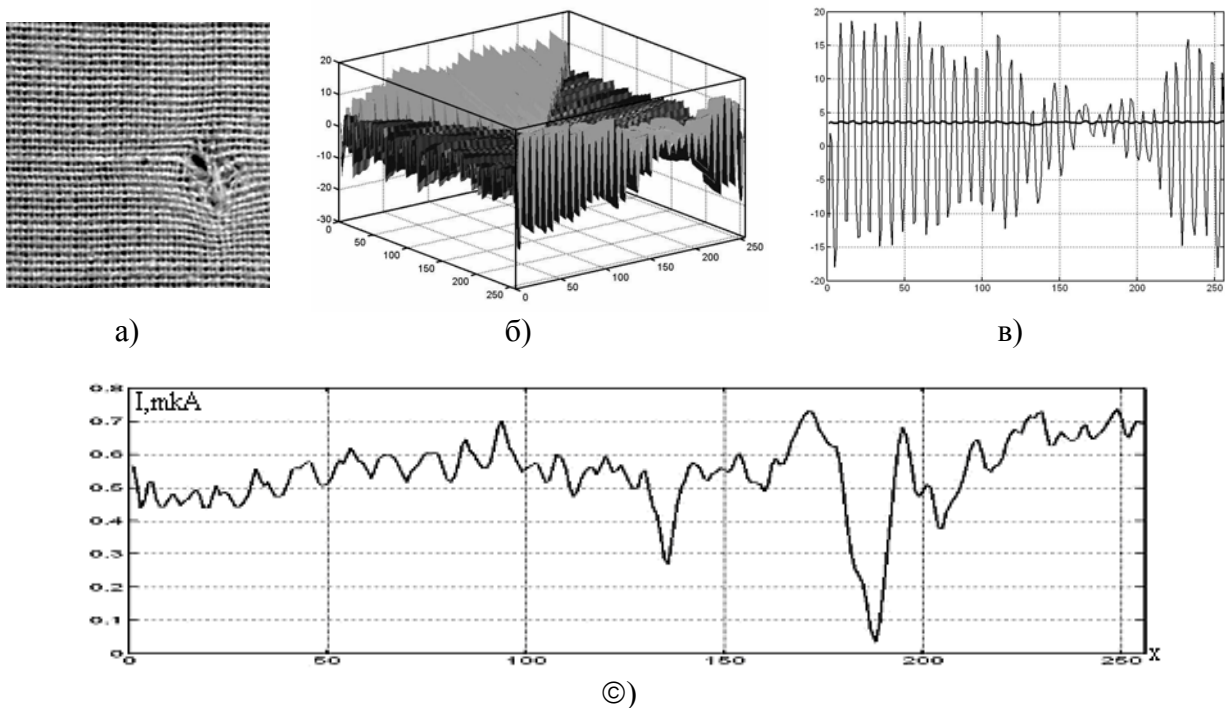


Рис. 10 Дефект нарушения целостности ткани [14]:

- а) телевизионный кадр; б) преобразование Радона для выделенного кадра с дефектом;
- в) граничное сечение преобразования; г) растр сканирования кадра, проходящий через середину дефекта

Анализ полученных результатов подтверждает высокую эффективность применения модифицированного преобразования Радона в задачах обнаружения и предварительной обработки результатов для распознавания дефектов, что позволяет применять данный подход в автоматических системах контроля и разбраковки.

**Выводы:**

1. Современный уровень развития телевизионных датчиков позволяет использовать более эффективные алгоритмы обнаружения дефектных состояний текстильных материалов, которые соответствуют современным требованиям, предъявляемым к контролю качества тканей специального назначения.
2. Применение преобразования Радона существенно снижает объем вычислений при обнаружении и предварительной обработке дефекта.

In given article are considered problems of checking a quality of fabric of special assigning. The method of finding and recognitions of defects of textile materials for cloths of pure premises is offered. The results of simulation modelling are received, which confirm efficiency of its use.

1. Власенко В.И., Супрун Н.П. Современный технологический текстиль для одежды чистых помещений: особенности свойств и области применения // Технический текстиль. – 2005. – №12.
2. Супрун Н.П. Наукові основи визначення властивостей пакетів бар'єрного одягу з урахуванням особливостей експлуатації: Дис. ... докт. техн. наук: 05.02.01. – Київ, 2006. – 317 с.
3. Храпливый А.П., Папченко А.И., Бражник А.М. Терновая Т.И. Проблемы автоматизации технологических процессов текстильных производств // Автоматика, Автоматизация, Электротехнические комплексы и системы. – 1999. – №2. – С.99-110.
4. Parker J.R., "Algorithms for Image Processing and Computer Vision", Wiley Computer Publishing, New York, 1997; pp.155-160.
5. Автоматизированные системы контроля качества готовых тканей в отделочном производстве: Монография/ Ю.А. Павлов, Г.Я. Иезуитова, Я.М. Ребарбар, В.Н. Романов. –М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. –264с.
6. Автоматизация производственных процессов текстильной промышленности / Петелин Д.П., Ромаш Э.М., Козлов А.Б. и др. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 240 с.
7. Using a neural network to identify fabric defects in dynamic cloth inspection Textile Research Journal, Mar 2003 by Kuo, Chung-Feng Jeffrey, Lee, Ching-Jeng, Tsai, Cheng-Chih.
8. Vangheluwe, L., Sette, S., and Pynckels, F., Assessment of Set Marks by Means of Neural Nets, Textile Res. J. 63 (4), 244-246 (1993).
9. Sanby, C., Wayne, L. M., and Harwood, R., The Automated Inspection of Lace Using Machine Vision, Mechatronics 5 (2), 215-231 (1995).
10. Barrett, G. R., Clapp, T. G., and Titus, K., An On-Line Fabric Classification Technique Using a Wavelet-Based Neural Network Approach, Textile Res. J. 66 (8), 521-528 (1996).
11. Chen, P. W., Liang, T. C., and Yau, H. F., Classifying Textile Faults with a Back-Propagation Neural Network Using Power Spectra, Textile Res. J. 68 (2), 121-126 (1998).
12. Alfred Dockery Automated Fabric Inspection: Assessing The Current State of the Art. July 2001., techexchange.com.
13. Математическая энциклопедия/ Гл.ред. И.М. Виноградов. – М.: Советская Энциклопедия, 1984. – Т.4. – С.809.
14. Тернова Т.І. Розробка та застосування методів аналізу та контролю якості текстильних матеріалів: Дис. ... канд. техн. наук: 05.19.03. – Херсон, 2007. – 179 с.

15. Севостьянов А.Г. Методы и средства исследования механико-технологических процессов текстильной промышленности. - М.: Легкая индустрия, 1980. – 392 с.

16. Anagnostopoulos C. et al., “High Performance Computing Application for the Textile Quality Control”, to be appeared in the International Conference on Intelligent Information Processing (IIP 2000) proceedings, Federated Conference of the World Computer Congress (WCC 2000), 21-25 August 2000, Beijing, China.

17. Ibarra-Pico, F.; Garcia-Crespi, F.; Cuenca-Asensi, S.A.; Morales-Benavente, J.J. A DSP Implementation of an AOM and its Application to Defects Detection in Textile Material. Signal/Image Processing and Pattern Recognition. Proceedings, Kyjiv, 2000 UkrOBRAZ'2000, pp.129-132.



## ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 629.734; 681.142.5

### РАЗРАБОТКА НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО НАВЕДЕНИЯ НА ЦЕЛЬ СИСТЕМЫ ГРУЗ-УПРАВЛЯЕМЫЙ ПАРАШЮТ

Абрамов Г.С., Иванов П.И., Купавский И.С., Павленко И.Г.

**Постановка проблемы.** Автоматическое наведение системы груз-управляемый парашют на цель, как показали предварительные исследования, является важной народнохозяйственной задачей. Этим решаются вопросы экстренной и точной доставки грузов в районы бедствия, в труднодоступные районы местности на площадки ограниченных размеров и т.д. Проблема создания системы автоматического наведения состоит, прежде всего, в разработке основных принципов построения навигационного комплекса.

#### **Анализ публикаций по теме исследования.**

В настоящее время уже начаты проработки основных способов автоматического наведения системы груз-управляемая парашютная система (УПС) на цель, в частности, исследуются возможности создания недорогой системы автоматического наведения с использованием данных системы глобального позиционирования GPS, что отражено в работах [1]-[5].

#### **Цель работы.**

Целью настоящей работы является выбор концепций, анализ и определение состава аппаратуры для автоматического наведения системы (АНС) объект-планирующий парашют на цель и исследование вопроса разработки соответствующего программного обеспечения.

#### **Основная часть.**

Решение задачи разработки навигационного комплекса начинается с выбора основных концепций, используемых в дальнейшем при разработке аппаратуры автоматического наведения на цель системы груз-планирующий парашют.

В качестве базовых, используются следующие три основные концепции наведения:

- минимально возможное удаление точки посадки от цели при любых координатах точки сбрасывания системы груз-УПС с самолета-носителя;
- посадка против ветра;
- минимизация энергозатрат в процессе наведения системы на цель.

Первая концепция должна выполняться для следующих двух возможных случаев.

1. Система груз-УПС (в дальнейшем просто система) в результате ошибки в определении оптимальных координат точки сбрасывания, или в результате неблагоприятного интенсивного ветрового воздействия приходит в район цели с недолетом. В этом случае, как правило, при достижении критической (минимально допустимой) высоты, управление автоматически передается программе аварийной посадки, основной задачей которой является экстренный перевод системы на глиссаду предпосадочного планирования строго против ветра и осуществление мягкой посадки. При этом удаление точки посадки от цели должно быть минимально возможным.

2. Система приходит в район цели с избытком высоты. В этом случае выполняется специальный маневр с целью потери избытка высоты и разворот против ветра для осуществления мягкой посадки. При этом удаление точки посадки от цели, также должно быть минимально возможным.

Реализация первой концепции требует выбора оптимальной стратегии управления системой, как при неблагоприятных, так и при благоприятных условиях ветрового воздействия на систему, что должно быть заложено в программное обеспечение навигационного комплекса. Это, в свою очередь, требует разработки максимально надежной, достаточно простой программы навигации системы объект-УПС. Минимум используемых параметров необходимых для навигации, что требует использования последних научно-технических достижений и внедрения новых наукоемких технологий. Это диктует в свою очередь выбор максимально простого и надежного состава аппаратуры АНС.

Вторая концепция имеет более высокий приоритет по сравнению с первой, поскольку должна выполняться при любых условиях и всегда являться логическим завершением первой концепции. Игнорирование ее может привести к протаскиванию при наличии ветра, опрокидыванию и большим ударным перегрузкам в момент приземления объекта.

Важным моментом управления системой груз-УППС является также минимизация управляющих воздействий в процессе подхода к цели, выхода на глиссаду предпосадочного планирования и осуществления мягкой посадки при минимизации энергозатрат [1].

Это третья концепция – минимизация энергозатрат, которая в свою очередь требует точного определения состава аппаратуры для автоматического наведения системы (АНС) на цель объект-планирующий парашют и разработки соответствующего программного обеспечения.

После выбора и формулировки основных концепций, выполняются исследования в направлениях [1]:

- определение состава аппаратуры автоматического наведения системы груз-УПС. Формирование требований к аппаратуре.
- разработка системного программного обеспечения для реализации надежной работы аппаратуры АНС, бесперебойного взаимодействия ее блоков и элементов.
- разработка навигационного программного обеспечения наведения системы на цель (программы автоматического наведения) для бортового компьютера (БК) аппаратуры АНС.

Рассмотрим первое направление, связанное с определением минимально-возможного состава и объема аппаратуры и формирования требований к ней.

Практика летных исследований и испытаний предъявляет следующие требования к аппаратуре АНС:

- предельно допустимое значение линейной (ударной перегрузки)  $n = \pm 20g$ , время воздействия которой не должно превышать значения, определяемого специальными дополнительными исследованиями;
- предельно допустимый интервал изменения температур  $+50^{\circ} \div -50^{\circ}C$ ;
- рабочая повышенная влажность 95% для предельно допустимого интервала изменения температур;
- предельно допустимое значение виброперегрузки  $n = \pm 20g$  с частотой  $f \leq 1000$  гц и предельно допустимыми значениями амплитуды, определяемыми специальными дополнительными исследованиями;
- высокая степень помехозащищенности радиоканалов и защиты от электромагнитного воздействия.

### **Описание структурной схемы аппаратуры АНС.**

Структурная схема аппаратуры АНС, в соответствии с работой [1], представлена на рис.1.

Датчик координат принимает сигналы от орбитальных спутников систем GPS или ГЛОНАСС и определяет точное время, пространственные координаты положения системы в пространстве, величины путевой скорости и путевого угла системы в реальном времени.

Первая специальная управляющая программа БК с определенным временным шагом запрашивает информацию у датчика координат. Вторая программа отвечает за полу-

чение информации от датчиков курса и высоты, причем предварительно должна быть выполнена оцифровка аналоговых сигналов.

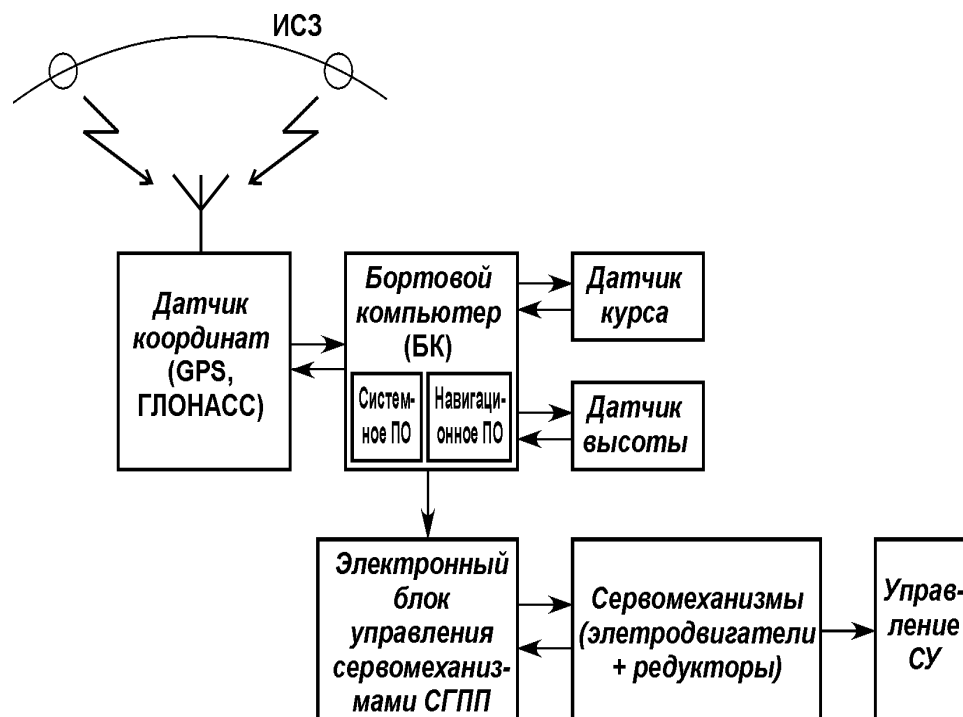


Рис.1 Структура аппаратуры для автоматического наведения

Реализация обеих программ предполагает их предварительную синхронизацию между собой по времени.

Информация с управляющих программ, составляющих часть программного обеспечения для реализации надежной работы аппаратуры АНС, поступает в навигационную программу, которая выполняет основную вычислительную работу по автоматическому наведению, управлению, и осуществляет посадку системы в цель.

Анализируя поступающую навигационную информацию, программа автоматического наведения системы на цель вырабатывает управляющие команды, которые обрабатывает третья специальная программа и передает их в электронный блок управления сервомеханизмами системы груз-УПС.

Состав управляющих команд: направление разворота системы; величина хода соответствующей стропы управления (СУ); скорость хода СУ (при необходимости); время разворота (удержания СУ).

Электронный блок управления сервомеханизмами системы груз-УПС, согласованный по электрическим параметрам с одной стороны с БК, а с другой с блоком сервомеханизмов, реализует весь состав управляющих команд и выдает на своих электрических выходах управляющие напряжения для сервомеханизмов системы управления.

Сервомеханизмы системы управления выполняют работу по отклонению рулевых поверхностей и переводу системы в требуемый режим полета. Работу всей аппаратуры АНС обеспечивает специальный блок питания.

Рассмотрим особенности функционирования некоторых из составляющих аппаратуры АНС.

#### Система GPS.

Спутниковая радионавигационная система (GPS – Global Position System) – глобальная система определения местоположения обеспечивает высокоточное определение координат и скорости объектов в любой точке земной поверхности, в любое время суток, в любую погоду, а также точное определения времени.

Принцип работы GPS-системы заключается в следующем.

В околоземном пространстве развернута сеть ИСЗ, равномерно покрывающих всю земную поверхность. Орбиты ИСЗ вычисляются с очень высокой точностью, поэтому в любой момент времени известны координаты каждого спутника. Радиопередатчики спутников непрерывно излучают сигналы в направлении Земли. Эти сигналы принимаются приемником, находящемся в некоторой точке земной поверхности, координаты которой нужно определить. В приемнике измеряется время распространения сигнала от ИСЗ и вычисляется дальность «спутник-приемник», т.к. радиосигнал распространяется со скоростью света. В приемнике необходимо выполнять синхронизацию временных шкал спутника и приемника. Поэтому в состав аппаратуры ИСЗ и приемника входят эталонные часы (стандарты частоты), причем точность спутникового эталона времени исключительно высока (долговременная относительная стабильность частоты  $10^{-13}$ – $10^{-15}$  за сутки). Бортовые часы всех ИСЗ синхронизированы и привязаны к «системному времени». Эталон времени GPS -приемника менее точен, чтобы чрезмерно не повышать его стоимость. Этот эталон должен обеспечивать только кратковременную стабильность частоты – в течение процедуры измерений.

На практике в измерениях времени всегда присутствует ошибка, обусловленная несовпадением шкал времени ИСЗ и приемника. Поэтому в приемнике вычисляется искаженное значение дальности до спутника или «псевдодальность».

Измерения расстояний до всех ИСЗ, которыми в данный момент работает приемник, происходит одновременно. Следовательно, для всех измерений величину временного несоответствия можно считать постоянной. С математической точки зрения это эквивалентно тому, что неизвестными являются не только координаты приемника, но и поправка часов приемника. Для их определения необходимо выполнить измерения псевдодальностей не до трех, а до четырех спутников. В результате обработки этих измерений в приемнике вычисляются точные координаты и точное время. Если приемник установлен на движущемся объекте и наряду с псевдодальностями измеряет доплеровские сдвиги частот радиосигналов, то может быть вычислена и скорость движения объекта. Таким образом, для выполнения необходимых навигационных измерений надо обеспечить приемнику постоянную видимость, как минимум, четырех спутников. После полного развертывания созвездия ИСЗ в любой точке Земли могут быть видны от 5 до 12 спутников в произвольный момент времени.

Современные GPS –приемники имеют от 5 до 12 каналов, т.е. могут одновременно принимать сигналы от такого количества ИСЗ. Избыточные измерения (сверх четырех) позволяют повысить точность определения координат и обеспечить непрерывность решения навигационной задачи.

В состав системы входят:

- созвездие ИСЗ (космический сегмент);
- сеть наземных станций слежения и управления (сегмент управления);
- собственно GPS-приемники (аппаратура потребителей).

#### Космический сегмент

Состоит из 26 спутников (21 основной и 5 запасных), которые обращаются на 6 орбитах. Плоскости орбит наклонены на угол около  $55^{\circ}$  к плоскости экватора и сдвинуты между собой на  $60^{\circ}$  по долготе. Радиусы орбит – около 26000км, а период обращения – половина звездных суток (11ч 58мин).

На борту каждого спутника имеется 4 стандарта частоты (два цезиевых и два рубидиевых –для целей резервирования), солнечные батареи, двигатели корректировки орбит, приемо-передающая аппаратура, бортовой компьютер.

Передающая аппаратура спутника генерирует синусоидальные сигналы двух несущих частот  $L_1=1575,42$ МГц и  $L_2=1227,6$ МГц, которые модулируются псевдослучайными числовыми последовательностями. Причем частота  $L_1$  модулируется двумя видами кодов: C/A -кодом и P -кодом, а частота  $L_2$  только P-кодом. Кроме того, обе несущие частоты

модулируются навигационным сигналом (параметры орбит, параметры атмосферы, поправки системного времени и др.).

Кодирование излучаемого спутником радиосигнала делается в целях:

- обеспечения возможности синхронизации сигналов ИСЗ и приемника;
- создание наилучших условий выделения сигнала в аппаратуре приемника на фоне шумов (доказано, что псевдослучайные коды обладают такими свойствами);
- реализация режима ограниченного доступа к GPS, когда высокоточные измерения возможны лишь при санкционированном использовании системы.

Код свободного доступа (C/A Coarse Acquisition) имеет частоту следования импульсов (чипов) 1,023 МГц и период повторения 0,001с, поэтому его декодирование в приемнике осуществляется достаточно просто. Однако точность автономных измерений расстояний с его помощью невысока.

Защищенный код P (Protected) характеризуется частотой следования импульсов 10,23 МГц и периодом повторения 7 суток. Кроме того, раз в неделю происходит смена этого кода на всех спутниках. Поэтому до недавнего времени измерения по P-коду могли выполнять только пользователи, получившие разрешение Министерства обороны США.

Поскольку P-код передается на двух частотах (L1, L2), а C/A код – на одной (L1), в GPS -приемниках, работающих по P-коду, частично компенсируется ошибка задержки сигнала в ионосфере, которая зависит от частоты сигнала. Точность автономного определения расстояния по P-коду примерно на порядок выше, чем по C/A -коду.

#### Сегмент управления

Содержит главную станцию управления, пять станций слежения, расположенных на американских военных базах, и три станции на островах. Кроме того имеется сеть государственных и частных станций слежения за ИСЗ, которые выполняют наблюдения для уточнения параметров атмосферы и траекторий движения спутников. Собираемая информация обрабатывается в суперкомпьютерах и периодически передается на спутники для корректировки орбит и обновления навигационной информации.

#### Аппаратура потребителей

В GPS -приемнике принимаемый сигнал декодируется и из него выделяются кодовые последовательности C/A либо C/A и P, а также служебная информация. Полученный код сравнивается с аналогичным кодом, который генерирует сам GPS –приемник, что позволяет определить задержку распространения сигнала от спутника и таким образом вычислить псевдодальность. После захвата сигнала спутника аппаратура приемника переводится в режим слежения, т.е. в БПС поддерживается синхронизм между принимаемым и опорным сигналами.

Процедура синхронизации может выполняться по:

- C/A-коду (одночастотный кодовый приемник);
- P-коду (двухчастотный кодовый приемник);
- C/A-коду и фазе несущего сигнала (одночастотный фазовый приемник);
- P-коду и фазе несущего сигнала (двухчастотный фазовый приемник).

Используемый в GPS –приемнике способ синхронизации сигналов является одной из важнейших его характеристик.

#### Источники ошибок

На точность определения координат существенное влияние оказывают ошибки, возникающие при выполнении процедуры измерений. Природа этих ошибок различна.

1. Неточное определение времени. Оно приводит к систематической ошибке определения координат ~0,6м.

2. Ошибки вычисления орбит. Приводит к систематической ошибке определения координат ~0,6м.

3. Инструментальная ошибка приемника. От отношения сигнал/шум приемника зависит точность процедуры сравнения принятого от ИСЗ и опорного сигналов, т.е. погрешность определения псевдодальности. Это приводит к координатной ошибке ~1,2м.

4. Многопутность распространения сигнала. Получается в результате вторичных отражений сигнала спутника от крупных препятствий, расположенных вблизи приемника. Возникает явление интерференции и измеренное расстояние оказывается больше действительного. Ошибка определения псевдодальности может составить  $\sim 2,0$  м.

5. Ионосферные задержки сигнала. Ионизированный атмосферный слой, содержащий свободные электроны, вызывает задержку распространения сигнала спутника, которая прямо пропорциональна концентрации электронов и обратно пропорциональна квадрату частоты радиосигнала. Для компенсации ошибки определения псевдодальности используется метод двухчастотных измерений на частотах L1 и L2 (в двухчастотных приемниках). Линейные комбинации двухчастотных измерений не содержат ионосферных погрешностей первого порядка. Ошибка определения псевдодальности может составить  $\sim 10$  м.

6. Тропосферные задержки сигнала. Зависят от метеопараметров (давления, температуры, влажности), а также от высоты спутника над горизонтом. Компенсация тропосферных задержек производится путем расчета математической модели этого слоя атмосферы. Необходимые для этого коэффициенты содержатся в навигационном сообщении. Ошибка определения псевдодальности может составить  $\sim 1$  м.

7. Геометрия расположения спутников рабочего созвездия в пространстве. Вводится специальный коэффициент геометрического ухудшения точности PDOP (Position Dilution Of Precision) на который необходимо умножить все перечисленные выше ошибки, чтобы получить результирующую ошибку. Величина коэффициента PDOP зависит от взаимного расположения спутников и приемника. Она обратно пропорциональна объему фигуры, образованной единичными векторами направленными от приемника к спутникам. Большое значение PDOP говорит о неудачном расположении ИСЗ и большой величине ошибки. Среднее значение PDOP  $\sim 4 \div 6$ .

Наиболее эффективным способом исключения ошибок является дифференциальный способ наблюдений DGPS (Differential GPS). Сущность его состоит в выполнении измерений двумя приемниками: один устанавливается в определяемой точке, другой в точке с известными координатами (базовой или контрольной станции).

В режиме DGPS измеряют не абсолютные координаты первого приемника, а его положение относительно контрольного (вектор базы). Использование дифференциального режима позволяет довести точность кодовых измерений до десятков сантиметров, а фазовых – до нескольких миллиметров.

Датчик координат GPS принимают от спутников космического сегмента два вида данных – альманах и эфимерис, содержащие параметры орбит всех спутников и их точные корректировки, а также время. Современные GPS-приемники 12-канальные, т.е. позволяют отслеживать до 12 спутников одновременно. Чем больше спутников приемник имеет возможность опросить и чем больше разнесены эти спутники на небесной полусфере, тем точнее будут его показания. Как правило, GPS-приемник имеет серийный порт для связи с бортовым компьютером. Приемник принимает и отдает бортовому компьютеру данные, используя протоколы различных типов: NMEA-0182, -0183, BINR и др. Итак, процесс функционирования GPS-системы основан на определении координат местоположения по расстояниям до спутников. Спутники выполняют роль точно координированных точек отсчета. Для определения местоположения необходимо провести 4 измерения от 4-х спутников.

#### Датчики определения курса и высоты системы

Для программы навигации необходимо определять курс (положение продольной оси системы груз-УПС) в полете с целью определения параметров ветра и точного выхода на глиссаду предпосадочного планирования. Возможно использование датчика курса гироскопического типа, либо применение электронного компаса. В настоящее время существуют схемы достаточно простых электронных компасов, построенных, например, на магниторезистивных чувствительных элементах типа KMZ52 (magnetic Field Sensor), ко-

торые, в совокупности с датчиками крена и тангажа, могут хорошо работать до углов, практически не превышаемых в реальных условиях. Погрешность их не более 5%, что вполне удовлетворительно для решения задач дальнего наведения.

Необходимость в датчике высоты связана с тем, что в системах GPS/ ГЛОНАСС определение высоты выполняется с большими погрешностями. При подходе к поверхности для выполнения мягкой посадки необходимо весьма точно определять высоту на последнем этапе. Здесь, вероятнее всего, наиболее применимы датчики высоты с различного рода излучателями.

Датчики барометрического типа имеют достаточно большую погрешность для того, чтобы их можно было бы использовать при посадке, где ошибка определения высоты в 1 метр уже может иметь катастрофические последствия для приземляемого объекта. Поэтому их использование целесообразно лишь на этапе дальнего наведения при решении задач, где важным условием является соблюдение режима радиомолчания.

#### Бортовой компьютер.

В качестве БК для решения задач ближней и дальней навигации системы груз-УПС хорошо подходит, например, бортовой процессорный модуль CPU 188 (Central Processing Unit). В основе CPU 188 лежит микропроцессор Am 188ES с рабочей частотой 40 МГц. Его вычислительных способностей практически достаточно для решения задач навигации и управления системой груз-УПС. Микропроцессор содержит достаточную для задач управления систему команд и внутренних функций. Имеется возможность связи микропроцессора с персональным компьютером, т.к. микропроцессор поддерживает операционную систему DOS 6.22. Микропроцессор содержит в себе три системных таймера, что облегчает работу по написанию программ реального времени. Микропроцессор поддерживает возможность подключения часов реального времени (Smart Watch), что также может быть использовано при написании программ реального времени. Имеется также сторожевой таймер, обеспечивающий защиту CPU 188 от сбоя и зависания системного программного обеспечения. Микропроцессор поддерживает возможность подключения независимого оперативного запоминающего устройства (128 кбайт), что дает возможность использования внешней системы BIOS. Модуль микропроцессора имеет в своем составе два асинхронных последовательных порта COM1 и COM2. Они могут использоваться с протоколами передачи данных в сети RS232 и RS422/485. Максимальная скорость обмена данными по протоколу RS232 достигает 200Кбит/с, а по RS422/485 – 255Кбит/с. Оба этих последовательных порта могут быть использованы для связи с периферийным оборудованием или компьютером. Процессорный модуль поддерживает подключение клавиатуры, а также ЖКИ, что дает возможность оператору работать напрямую с CPU 188, минуя персональный компьютер.

Процессорный модуль имеет универсальный 48-канальный порт ввода-вывода UNIO-48, контакты которого могут быть использованы для счета импульсов, измерения и формирования частоты, формирования временных диаграмм. Данный порт совместим с режимом SPP (стандартного параллельного порта). Его можно использовать и для связи с периферийным оборудованием.

В настоящее время исследуется возможность использования микроконтроллера MSP430 фирмы Texas Instrumental для целей навигации и управления системой груз-УПС.

Кратко рассмотрим вопросы, связанные с разработкой программы автоматического наведения системы на цель для бортового компьютера.

Процесс наведения включает в себя два этапа – дальнего и ближнего наведения. Этап дальнего наведения начинается с момента выхода системы на установившийся режим движения после сбрасывания с самолета-носителя. В этот момент по данным системы GPS определяются пространственные координаты (в одной из геоцентрических систем WGS-84, ПЗ-90, СК-42, СК-95), путевая скорость и путевой угол. Кроме того, датчик курса установленный на борту, дает возможность определить угол курса системы.

По предварительно введенным в БК данным, известны координаты цели. Программа на этапе дальнего наведения определяет и выбирает наименьший (из двух возможных) угол разворота на цель, определяет направление разворота, рассчитывает требуемый ход СУ и время разворота (при минимально допустимом радиусе), т.е. время удержания СУ для перевода системы на курс к цели. Дальнейшая стратегия на этапе дальнего наведения заключается в периодической корректировке курса при движении к цели.

С целью минимизации энергозатрат на траектории движения системы корректировка выполняется либо по времени с определенным интервалом, либо по определенной величине угла отклонения вектора путевой скорости от направления на цель.

Стратегия дальнего наведения имеет своей целью приведение системы объект-УПС в область входа в зону ближнего наведения, из которой возможен перевод системы одним управляющим воздействием на глиссаду предпосадочного планирования (ГПП). Геометрия (конфигурация) области входа в зону ближнего наведения рассчитывается и известна уже заранее. При входе системы в вертикальную плоскость прогнозирования, отстоящую на определенном расстоянии от зоны ближнего наведения, выполняются расчеты и определяются действия по выбору маневра для перевода системы на ГПП. После выхода на ГПП (против ветра) на строго определенной высоте от посадочной поверхности выполняется динамический подрыв, целью которого является максимально возможное уменьшение вектора полной скорости (относительно поверхности) в момент посадки системы. Учитывая относительно большую погрешность по высоте присущую системе GPS, перед самым последним этапом – динамического подрыва необходимо переключиться на автономный датчик контроля высоты (ультразвуковой или другого типа, с погрешностью не превышающей  $y < 0,2\text{м}$ ).

#### **Выводы и перспективы дальнейших исследований.**

Анализ и предварительные исследования позволили выбрать конкретное направление по разработке и созданию навигационного комплекса для автоматического наведения систем груз-УПС на цель.

In work are considered questions of choice of concepts prescribed in the base of operation, determinations of composition of equipment, its particularities, as well as buildings of navigational complex for acquisition systems a cargo-operated parachute on the target.

1. Иванов П.И. Выбор концепций и состава аппаратуры для навигационного комплекса автоматического наведения на цель системы груз-управляемый планирующий парашют // Сб. Материалы XIII международной научной конференции МЗММ-2005. Севастополь: Сев.НТУ, 2005, -С.88-92.

2. Иванов П.И. Техническая справка № 16518.52-04ТС Стратегия ближнего наведения управляемой планирующей парашютной системы на цель при минимизации управляющих воздействий. – Феодосия: НИИ АУС, 2004.- 62с.

3. Гимадиева Т.З. К вопросу оптимального управления планирующей парашютной системой // Сб. Динамические системы. Симферополь: СГУ, 1998, –№14.- С. 71-77.

4. Иванов П.И. Выбор оптимальных стратегий наведения управляемой планирующей парашютной системы на цель //Сб. Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ, 2004, –№2(10). - С. 49-53.

5. Иванов П.И. Математическая модель стратегии ближнего наведения управляемой планирующей парашютной системы на цель при попутном ветре //Сб. Авиационно-космическая техника и технология. Харьков: ХАИ, 2004, –№6(14). - С. 28-31.



## АЛГОРИТМ СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ САХАРА В ВАКУУМ-АППАРАТЕ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ С МЕХАНИЧЕСКИМ ЦИРКУЛЯТОРОМ

Кравчук А. Ф., Ладанюк А.П., Прокопенко Ю.В.

До настоящего времени невозможно формализовать решение задачи управления процессом кристаллизации сахара в аппарате периодического действия, хотя имеется ряд математических моделей процесса и описаний кинетики кристаллизации сахара [1, 2, 3]. Кроме того, отсутствие технических средств для измерения пересыщения нечистых сахарных растворов еще более усложняет задачу. Такая ответственная стадия как заводка кристаллов до сих пор практически не совершенствуется. Заводка кристаллов с использованием «сахарной пудры» приводит к использованию водных или соковых «расчисток» кристаллов для достижения необходимого количества кристаллов в начальном объеме сиропа. Применение суспензии кристаллов в изопропаноловом или этиловом спирте несколько стабилизирует этот процесс, однако не обеспечивает необходимого количества кристаллов в объеме начального набора аппарата, что также ведет к необходимости водной (соковой) расчистки кристаллов. С целью ввода необходимого количества кристаллов в начальный объем набора сиропа в аппарат и их сохранения разработана твердопластическая паста с размером кристаллов, которые не растворяются при вводе их в аппарат [4]. Пастообразная форма композиции кристаллов позволяет стабильно прогнозировать количество кристаллов в единице массы пасты. Это количество определяется объемом сиропа начального набора аппарата. Паста позволяет более эффективно вести процесс варки утфелей с использованием автомата варки, функционирующего по стадиям: стабилизация объема начального набора аппарата, сгущение до ввода пасты, ввод пасты, «закрепление кристаллов», рост кристаллов с подкачкой сиропа, рост кристаллов с подкачкой белого оттека, отварка утфеля.

Кроме того, переход от стадии к стадии носит «размытый» характер в виду отсутствия точных значений пересыщения раствора. В этих условиях, когда нет уверенности в результатах последствий автомата или оператора, более точным является автомат, построенный на основе метода группового учета аргументов по стадиям процесса.

В качестве модели хода процесса варки утфеля используется сетевой граф (автомат) с размытыми функциями перехода. Этот граф должен соответствовать образу мышления человека-оператора, контролирующего ход процесса при условии, что следующее состояние процесса указывает ребро графа с большей размытой функцией перехода. При условии, когда возможен ряд управляющих воздействий (подкачка раствора или повышение температуры раствора), используют сетевую модель для выбора такого исходного состояния, при котором большая функция перехода приводит в состояние с наименьшей функцией потерь. Генерация эвристик при этом определяет процесс поиска оптимального решения при помощи перебора ходов. При этом сумма вероятностей всех возможных альтернатив не равна единице. Переход из одного состояния в другое определен нечетко, размыто. Для решения задачи ход процесса моделируется по стадиям на основе моделей стадий в виде размытого автомата с функцией членства, заданной на размытом множестве  $Q \times J \times Q$ .

$$f(Q \times J \times Q) \rightarrow [0,1], \quad (1)$$

где  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_n\}$  - алфавит внутренних состояний.

Каждому состоянию соответствует фиксированный набор информации, получаемой от датчиков, установленных на объекте. Среди информации выделяют данные с наивысшим приоритетом (вязкость, электропроводность или температура).

Пусть  $J = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$  - входной алфавит или алфавит управляющих воздействий,  $f$  - размытая функция перехода, принимающая значения в интервале 0, 1.

Вид размытой функции:

$$f(q_e, i_j, q_m) = f\{q(k)\} = q_e, \text{ при } i(k) = i_j \quad (2)$$

$$q(k+1) = q_m = f_{em}^j \rightarrow [0, 1],$$

где  $q_e, q_m \in Q$  - состояния размытого автомата в  $k$ -й и  $k+1$  моменты времени.

Для решения задачи перехода введем два порога  $\beta$  и  $\rho$  так, чтобы  $Q < \rho < \beta < 1$ .

Если  $f(q_e, i_j, q_m) \geq \beta$ , то  $q_e \rightarrow q_m$  существует при  $i_j \in J$ .

Если  $f(q_e, i_j, q_m) \leq \rho$ , то перехода не существует.

В основу функционирования модели, построенной на размытом автомате, положена формула Заде о композиции двух отношений, заданных на данном размытом множестве

$$fA_0 A(x, y) = \max_v \min[fA(x, v), (v, y)] \quad (3)$$

т. е., чтобы найти композицию двух отношений размытого множества  $A$  нужно выбрать минимальную функцию членства между  $f(x, v)$  и  $f(v, y)$  и найти то значение для  $v$ , для которого выбранная функция членства достигает максимума.

Формулой (3) можно пользоваться, если задана входная последовательность длиной  $\ell = 2$ .

Если число допустимых состояний автомата  $i_1(k), i_2(k+1), i_3(k+2)$  определяют последовательность  $J_3(k)$  длиной 3, а  $q_e$  и  $q_s$  - начальное и конечное состояние автомата, то имеем:

$$\begin{aligned} f(q_e, i_1^3, q_s) &= f(q_e, i_1, i_2, i_3, q_s) = f(q_e, i_1, i_2, q_r; q_r, i_3, q_s) = f(q_e, i_1, q_m; q_m, i_2, q_r; q_r, i_3, q_s) = \\ &= \max q_r \min \{ \max q_m \min \{ f(q_e, i_1, q_m), f(q_m, i_2, q_r), f(q_r, i_3, q_s) \} = \\ &= \max q_m, q_r \min \{ f(q_e, i_1, q_m), f(q_m, i_2, q_r), f(q_r, i_3, q_s) \}, \end{aligned} \quad (4)$$

где  $m, r = 1, 2, \dots, n$ .

Пример: Пусть дан входной алфавит

$$J_3 = \{i_1\}, m \cdot c \cdot i_1(k) = i_1(k+1) = i_1(k+2)$$

и число состояний автомата  $n = 3$  при  $q_1, q_3$  - начальном и конечном состоянии автомата.

Матрица размытого перехода для  $i_1$  имеет вид:

q (k+1) →	1	2	3
↓ q (k)			
1	$f_{11}$	$f_{12}$	$f_{13}$
2	$f_{21}$	$f_{22}$	$f_{23}$
3	$f_{31}$	$f_{32}$	$f_{33}$

Тогда уравнение (4) преобразуется к виду:

$$\begin{aligned} f(q_1, i_1^3, q_3) &= \max q_m, q_r \min [f(q_1, i_1, q_m), f(q_m, i_1, q_r), f(q_r, i_1, q_3)] = \\ &= \max \{ \min (f_{11}, f_{11}, f_{13}), \min (f_{11}, f_{12}, f_{23}), \min (f_{11}, f_{13}, f_{33}), \min (f_{13}, f_{31}, f_{13}), \\ &= \min (f_{13}, f_{32}, f_{23}), \min (f_{13}, f_{33}, f_{33}) \}, \end{aligned} \quad (5)$$

где  $m, r = 1, 2, 3$ .

Пусть автомат описывается размытым множеством  $F$ . Обозначим начальное состояние автомата  $q_e$  и конечное -  $q_s$ . Разобьем автомат  $F$  на ряд подавтоматов  $F_n$ , каждый из которых является моделью стадии процесса. Следование подавтоматов  $F_n$  соответствует естественному следованию стадий процесса. Каждый подавтомат функционирует на более высоком уровне, чем предыдущий по пути к конечному состоянию. Следовательно, модель многорядная. На каждом ряду конструируется новый подавтомат. Переход из одного состояния в другое из последовательности внутренних состояний подавтоматов  $Q_n$  - задается, кроме функций членства  $f_{ij}(i, j \in Q_n)$ , матрицей потерь  $G_n$ . При этом на каждом шаге модели определяется последовательность управляющих воздействий из входного алфавита полуавтомата, которая приводит к размытому переходу с наибольшей функцией членства ( $\max f_{ij}$ ) и наименьшим значением функции потерь ( $\min f_{ij}$ ) и формируется генерация эвристик вида:

$$J'_n = \max_{J_n}^{-1} [f(q_0, J_n^{l_1}, q_1), f(q_0, J_n^{l_2}, q_2), \dots, f(q_0, J_n^{l_k}, q_m)] =$$

$$= \min^{-1} [q(q_0, J_n^{l_1}, q_1), q(q_0, J_n^{l_2}, q_2), \dots, q(q_0, J_n^{l_k}, q_m)] \quad (6)$$

при  $q_0, q_1, \dots, q_m \in Q_n$ ,

где  $q_0$  - начальное состояние подавтомата  $F_n$ ;

$l_1, l_2, \dots, l_k$  - длина входной последовательности  $J_n$ .

Заполнение матрицы размытого перехода, элементами которой являются размытые функции перехода  $\{f_{ij}\}$  производится назначением субъективных вероятностей. Определение функций членства базируется на информации реализуемости перехода, которая определяет знания о переходе. Матрица потерь заполняется с учетом последствий выполнения ряда управляющих воздействий. Таким образом, модель реализует метод группового учета аргументов, т. е. это многорядная система с генерацией комбинаций на каждом ряду с последующим отбором по максимуму функций членства и минимуму функций потерь.

Рассмотрим пример автомата кристаллизации сахара, базирующийся на диффузионно-кинетической модели процесса, предусматривающей в качестве движущей силы процесса параметры диффузионной кинетики процесса и параметры термокинетической теории процессов.

Автомат варки утфеля имеет ограниченное количество стадий процесса:

- сгущение раствора до заводки кристаллов;
- заводка кристаллов;
- рост кристаллов;
- отварка утфеля.

Исходными данными для моделирования процессов являются:

- **температурный режим в аппарате:**  $T\{P_1, P_2, t\}$  - набор измеряемых данных, где  $P_1$  - абсолютное давление греющего пара;  $P_2$  - абсолютное давление в аппарате;  $t$  - температура раствора в аппарате;

- **уровень раствора в аппарате –  $h$ ;**

- **параметр (комплекс параметров), характеризующий свойства раствора  $C_n$ ,** оцениваемый коэффициентом пересыщения  $\alpha$ , измеряется косвенным способом по физико-химической температурной депрессии или по электропроводности и вязкости сиропа.

Условия:  $\alpha = 1,00$  - насыщенный раствор сахарозы (кристалл не растет и не растворяется);

$1,0 < \alpha \leq 1,15$  - метастабильный раствор (кристаллы сахара растут, новые кристаллы не образуются);

$\alpha \geq 1,2$  - лабильное состояние раствора (кристаллы сахара растут, образуются новые кристаллы).

В наборе показаний  $\{T, h, C_n\}$  приоритет в определении состояний и этапов имеет параметр  $C_n$ .

Граф модели процесса, состоящей из четырех стадий, приведен на рис. 1 (для случая уваривания утфеля из сиропа при  $СВ_{сир} \leq 65\%$ ).

**Стадия 1 - сгущение сиропа характеризуется состояниями:**  $q_0$  - начальное состояние - ненасыщенный раствор;  $q_1$  - стабильное или метастабильное состояние раствора ( $1,00 < \alpha \leq 1,20$ );  $q_2$  - пересыщенный лабильный раствор ( $\alpha = 1,25$ );  $q_3$  - сильно пересыщенный раствор ( $\alpha > 1,25$ ).

Входной алфавит для первого этапа состоит из одного элемента  $J_{12} = \{i_1\}$ , где  $i_1$  - подача пара в аппарат.

**Стадия 2 – кристаллообразование, состояния:**  $q_1, q_2, q_3$  - возможные начальные состояния;  $q_4$  - сироп в аппарате с готовыми кристаллами;  $q_5$  - сироп в аппарате с зародившимися кристаллами или с кристаллами пасты затравки.

Входной алфавит для второй стадии состоит из трех элементов  $J_{II} = \{i_1, i_2, i_3\}$ , где  $i_2$  - ввод затравки (пудры, или суспензии кристаллов, или пасты);  $i_3$  - подкачка сиропа, закрепление кристаллов (рост до среднего размера 0,3 мм).

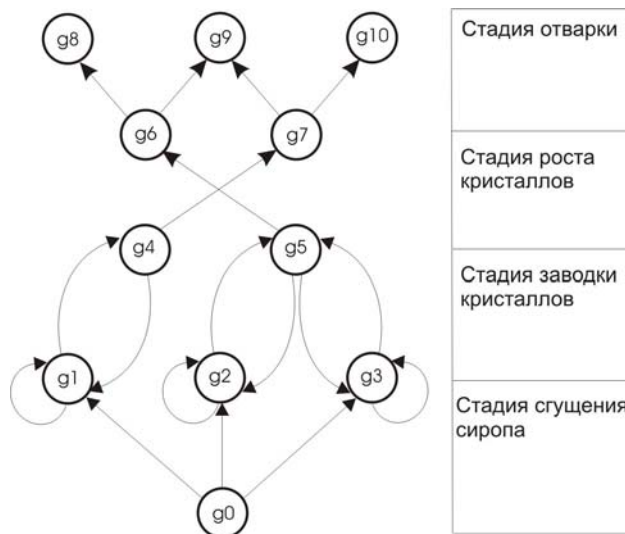


Рис. 1 Сетевой граф хода процесса варки утфеля

**Стадия 3 - рост кристаллов, состояния:**  $q_4, q_5$  - возможные начальные состояния;  $q_6$  - возможное возникновение вторичных кристаллов;  $q_7$  - кристаллизация без возникновения вторичных кристаллов.

Входной алфавит для третьей стадии варки утфеля:  $J_{III} = \{i_1, i_3, i_4\}$ , где  $i_4$  - подкачка белого оттека в аппарат.

**Стадия 4 - сгущение утфеля (отварка) до заданного содержания сухих веществ, состояния:**  $q_6, q_7$  - возможные начальные состояния;  $q_8$  - сгущенный утфель с неравномерными кристаллами ( $CB_y > 92,5\%$ );  $q_9$  - сгущенный утфель с заниженным содержанием сухих веществ ( $CB_y = 92,0\%$ );  $q_{10}$  - сгущенный утфель с равномерными кристаллами.

Входной алфавит для четвертой стадии варки утфеля состоит из одного элемента:  $J_{IV} = \{i_1\}$

**Реализация стадий:**

**Стадия 1. Подавтомат 1.**

Граф показан на рис. 2.

На графе первое из двух чисел над стрелкой указывает на значение размытой функции перехода, второе - на потерю при переходе.

Функции членства и потерь переходов даны в таблице 1.

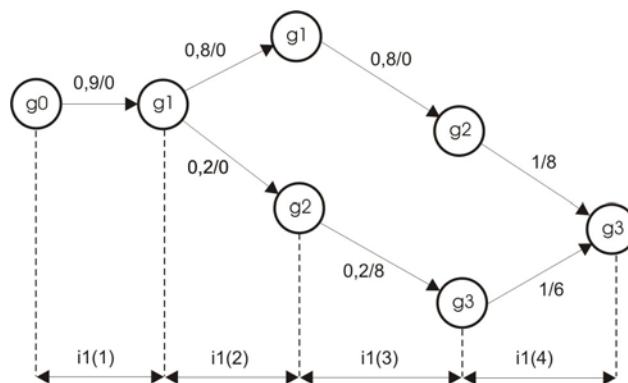


Рис. 2 Граф стадии 1

Таблица 1

Шаг к	1		2		3		4	
$f$ - функция членства → q - потери →	f	q	f	q	f	q	f	q
↓ Переход $q_0, i^k, q_m$								
$q_0, i^k, q_1$	0,9	0	0,8	6	-	-	-	-
$q_0, i^k, q_2$	-	-	0,2	0	0,8	6	-	-
$q_0, i^k, q_3$	-	-	-	-	0,2	8	0,8	14

Пример заполнения таблицы для  $k = 3$  и перехода в состояния  $q_2$ :

$$f(q_0, i^3, q_2) = \max \{ \min [f_{01}, f_{11}, f_{12}], \min [f_{01}, f_{12}, f_{22}] \} = \max \{ \min [0,9, 0,8, 0,8], \min [0,9, 0,2, 0,8] \} = \max \{0,8, 0,2\} = 0,8$$

$$q(q_0, i^3, q_2) = \max [q(0-1-1-2); q(0-1-2-2)] = \max [q_{01} + q_{11} + q_{12}; q_{01} + q_{12} + q_{22}] = \max [6, 6] = 6$$

Алгоритм функционирования:

1. Максимальна функция членства для  $k$ -го момента

$$f(q_0, i^k, q_p) = \max [f(q_0, i^k, q_1), \dots, f(q_0, i^k, q_m)]$$

2. Проверка  $f(q_0, i^k, q_p) \geq \beta$  - «Да» - перейти к пункту 3, «Нет» - перейти к пункту 1 для  $k+1$  момента времени

3. Определить состояние  $q_p$ :

$$q_p = f^{-1}(q_0, i^k, q_p)$$

4. Найти состояние, переход в которое для  $k$ -го момента времени имеет

минимальную потерю

$$q_{сп} = \min [q(q_{01}, i^k, q_1), \dots, f(q_0, i^k, q_m)]$$

5. Сравнить  $q_p$  с  $q_{сп}$ .  $q_p = q_{сп}$  - «Да» - переход к пункту 6;

«Нет» - переход к пунктам 1, 4 для  $k + 1$  момента

времени.

6. Выполнить генерацию эвристик в вербальной форме:

- реализовать управление  $i^k$ , приводящее к переходу в состояние  $q_p$  с наибольшим значением размытой функции перехода, но с минимальными потерями.

Алгоритм реализует условие: чтобы довести сгущение сиропа до пересыщенного лабильного состояния ( $q_2$ ), наиболее благоприятного для образования кристаллов, необходимо остановиться на третьем шаге от начала подачи пара ( $i^3$ ).

При этом:

$$f(q_0, i^3, q_2) = 0,8 > f(q_0, i^3, q_3) = 0,2$$

$$q(q_0, i^3, q_2) = 6 < q(q_0, i^3, q_3) = 8$$

$$\beta = 0,8; k = 5 \text{ мин.}$$

Если сделать четвертый шаг, то пересыщение сильно возрастет, кристаллов образуется слишком много. При этом потеря равна:  $q(q_0, i^4, q_3) = 14$ .

На первом или втором шаге пересыщение  $C_n$  недостаточно, и время образования кристаллов (при заводке „пудрой“) увеличилось бы. При этом

$$f(q_0, i^2, q_1) = 0,8 > f(q_0, i^2, q_2) = 0,2$$

При вводе готовых кристаллов с пастой фирмы «Магмас»:

$$q(q_0, i^2, q_1) = 6 > q(q_0, i^2, q_2) = 0,$$

т. е. наступает реализация пунктов 5, 6 алгоритма функционирования генератора эвристик.

Для остальных стадий процедуры моделирования и синтеза алгоритмов функционирования аналогичны.

Таким образом, предлагаемый подход к решению задач управления процессом на основе моделей стадий процесса варки утфеля решается как в плане выбора управляющих

воздействий, так и в плане реализации перехода от стадии к стадии при неполной информации о состоянии объекта.

При групповом учете аргументов данная стохастическая модель управления ходом процесса кристаллизации сахара является более точной, чем другие модели. Реализация управлений в зоне стадий процесса выполняется в системах фирмы ТМА на основе кинетики и динамики, базирующихся на диффузионной теории, молекулярно-кинетической теории с учетом гидратации молекул сахарозы и флуктуационного механизма роста кристаллов.

При этом необходимо перейти на СВЧ-методы контроля пересыщения сахарных растворов или, как минимум, правильно измерять электропроводность и вязкость сахарных растворов, а не сопротивление и момент на валу электродвигателя, как это делают многие фирмы Украины.

**Выводы:**

1. Предложены стохастическая модель и алгоритмы управления ходом процесса кристаллизации сахара на основе метода группового учета параметров по стадиям процесса, позволяющая осуществлять эффективное управление в соответствии со сложившихся ситуаций.

2. Определены принципы перехода от стадии к стадии при различных состояниях объекта, в том числе и неоптимальных.

In the entry are rated the questions of the system analysis of the sugar crystallization process, offered an approach for the vacuum pan management taking into account an object's condition, current situation and stages of the process's development. Are giving graph models of the stages of the crystallization process which are used for the management algorithm working up.

1. С.М. Петров Кинетическая модель скорости кристаллизации сахарозы из чистых растворов.// Сахар №1 2004 г. с.47-49.

2. С.М. Петров Кинетическая модель скорости роста кристаллов сахарозы из чистых и нечистых растворов.// Сахар №6 2004 г. с. 26-29.

3. А.А. Славянский Моделирование роста кристаллов сахарозы из ее растворов.// Сахар №4 2004 г. с. 37-40.

4. А.В. Власенко О применении затравочной пасты «МАГМАС» на сахарных заводах Украины.// Цукор України №5 2001 г. с. 14-17.

5. Д.А. Поспелов Ситуационное управление. –М.: Наука, 1989. 357 с.

6. Н.П. Деменков Нечеткое управление в технических системах. –М.: издательство МГТУ им. Баумана, 2005. 199 с.

РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРОБКИ МЕТОДУ ЕКВІВАЛЕНТУВАННЯ  
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ FUZZY-КОНТРОЛЕРІВ

Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Сушенцев О.О.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Розробка методології синтезу інтелектуальних АСУ ТП виконувалась в рамках держбюджетної наукової теми № ДЗ/30-2004 5.04.3 - Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережових структур та методів нечіткої логіки.

Проведений аналіз принципів синтезу і результатів функціонування традиційних і інтелектуальних АСУ ТП [1] дозволив зробити висновки про перспективні напрямки та актуальні науково-технічні задачі в області синтезу сучасних інформаційних АСУ ТП: розробка інтелектуальних систем управління, структура представлення знань в яких, базується на основі ситуаційно-фреймових мереж; розробка гібридних інтелектуальних систем управління котрі використовують динамічну базу знань для перетворення концептуальних понять; розробка адаптивних структур систем автоматичного керування складними технологічними процесами на основі нечіткої логіки, нейромережових структур і генетичних алгоритмів; розробка методів аналітичного дослідження інтелектуальних систем автоматичного керування; розробка ефективних алгоритмів чисельного моделювання і дослідження систем керування які базуються на нечітких технологіях; розробка методології синтезу інтелектуальних гібридних систем автоматичного керування складними технологічними процесами.

В статті наведено результати розробки методу еквівалентування fuzzy контролера для подальшого застосування при аналізі якості та стійкості інтелектуальних систем автоматичного керування (ІнСАК) складними технологічними об'єктами.

В якості об'єкту дослідження обрана математична модель системи автоматичного регулювання двигуном постійного струму ЭТ6-Р-11-25 ( $U_n = 220$  В,  $P_n = 11$  кВт,  $I_{ном} = 56.2$  А,  $n_n = 1500$  об/хв,  $L_{я} = 3.7$  мГн,  $J = 0.3$  кг·м<sup>2</sup>) зі змінним навантаженням на валу (рис.1).

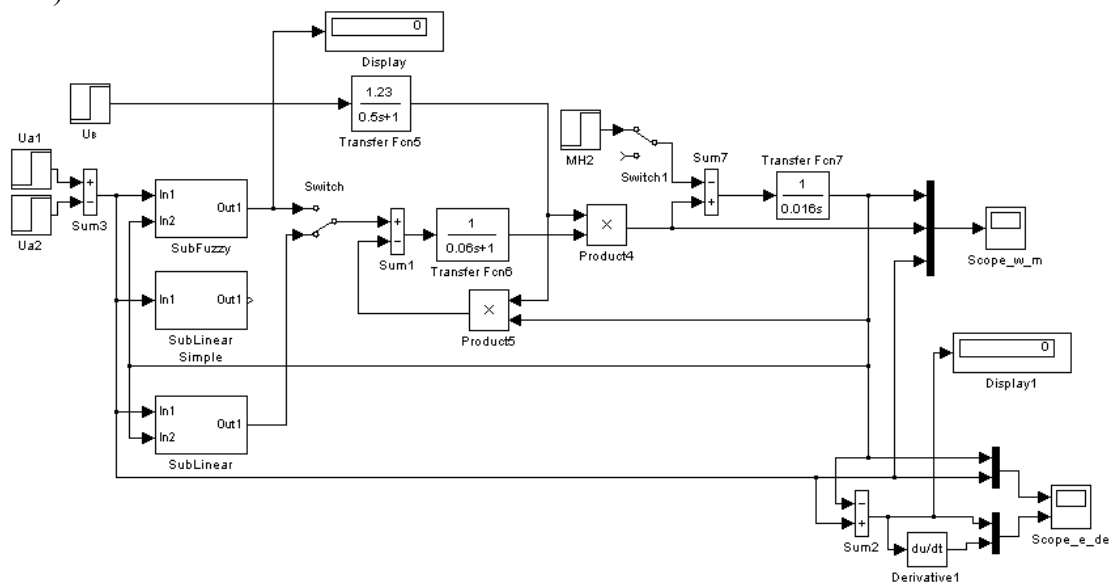


Рис.1 Математична модель ІнСАК ДПС в програмному пакеті MatLab

**Предмет дослідження** – інтелектуальна САР двигуном постійного струму ЭТ6-Р-11-25.

**Методи дослідження** – системний, структурний та функціональний аналіз для розробки алгоритму функціонування і математичної реалізації методу еквівалентування САК на базі fuzzy контролерів з метою подальшого комплексного аналізу ІнСАК.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій за даною проблемою.**

Задачам аналізу характеристик розроблених інтелектуальних САК присвячена значна кількість наукових робіт, однак питання розробки узагальненої методики аналізу стійкості автоматичних систем керування з блоками нечіткого висновку (БНВ) детально розглянуто лише в роботі [2]. Слід зазначити, що розроблена методика [2] ґрунтується на лінійному наближенні функціонального зв'язку вхід/вихід БНВ, отже може бути застосована лише для грубої оцінки діапазону зміни вхідних параметрів при якому система знаходиться в межах стійкості.

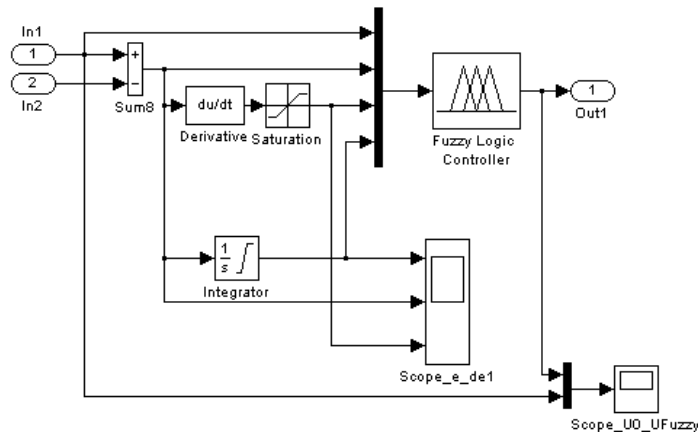


Рис.2 Структура блоку SubFuzzy

Питання аналітичного дослідження інтелектуальних САК з умовою еквівалентування блоків нечіткого логічного висновку в сучасній науковій літературі не розглядалося.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми.**

В результаті аналізу останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання проблеми аналітичного дослідження інтелектуальних САК виділені наступні невирішені питання загальної проблеми:

- відсутній системний підхід до аналізу інтелектуальних САК в структурі яких використовуються блоки нечіткої логіки, нейромережеві технології та генетичні алгоритми;
- відсутні ефективні методики еквівалентування інтелектуальних блоків САК з метою проведення комплексного аналітичного аналізу роботи.

**Формулювання цілей статті.**

При розробці алгоритму та методу еквівалентування нечіткого контролера повинні бути вирішені наступні задачі:

- розробка еквівалентної моделі на базі інформації про параметри fuzzy контролера (вид та параметри функцій приналежності, параметри фазифікації, набір і структура правил);
- розробка векторно-матричної моделі з урахуванням багатовимірного векторного входу.

Розглянемо нечіткий контролер, який побудований за принципом розгрупування вхідних впливів з метою створення ієрархічної структури дерева висновку [3].

Загальний вид елементарного об'єкта:

$$y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n), \tag{1}$$

де  $x_i, i = \overline{1, n}$  - n-мірний вектор  $\underline{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$  котрим представлені параметри об'єкта, що контролюються; y - вихідний параметр об'єкта.

Для даної системи вважається відомим:

- траєкторії варіації параметрів стану системи:  $\forall x_i \in [\underline{x}_i, \overline{x}_i], x_i \in \mathfrak{R}$  та  $\forall y \in [\underline{y}_i, \overline{y}_i]$ ;



- базовий об'єм нечітких продукційних правил  $R^j, j = \overline{1, m}$ , які пов'язують лінгвістичні оцінки факторів впливу  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  та цільовий вихід  $y$ ;
- багаторівневий формат нечітких продукційних правил - "IF-AND -OR-THEN";
- масив ( $t = \overline{1, s}$ ) навчальних кортежів:  $\text{teach}^t : \langle x, d \rangle$ .

Для ефективного функціонування нечіткої системи запропоновано [1] метод динамічного настроювання параметрів функцій приналежності. Даний метод ґрунтується на застосуванні модифікації генетичного алгоритму для проведення параметричного синтезу асимптотично-стійких, інтелектуальних систем керування технологічними процесами. Дана модифікація включає обґрунтований перехід до схеми простого кодування дискретного діапазону параметрів функцій приналежності зі штучним динамічним зменшенням бітності коду.

При використанні в якості контролера, блоку нечіткого логічного висновку з алгоритмом Такагі-Сугено-Канга (TSK) значення вихідної змінної розраховується згідно формули:

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^M \alpha_i \cdot c_i}{\sum_{i=1}^M \alpha_i} \quad (2)$$

В загальному випадку вихідний сигнал нечіткого контролера визначається співвідношенням:

$$u = \underline{\lambda}^T \zeta(x) \quad (3)$$

де  $\underline{\lambda}$  - вектор параметрів нечіткого контролера.

Для того, щоб синтезувати модель еквівалентного контролера, спочатку розглянемо математичний апарат нечіткого висновку та алгоритми роботи контролера.

Сигнал кожного параметра, який поступає на вхід контролера, фазифікується, тобто знаходиться нечіткий аналог величини сигналу. Еквівалент визначається шляхом математичного обчислення при використанні інформації про форму відповідних функцій приналежності і параметрів, якими вони описуються. Форми функцій приналежності в нечіткому контролері мають трикутну форму і описуються наступною формою:

$$\text{trimf}(x) = \begin{cases} 0 & \text{if } x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & \text{if } a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b} & \text{if } b < x < c \\ 0 & \text{if } c < x \end{cases} \quad (4)$$

де  $a, b, c$  - параметри трикутної функції приналежності.

Вид функцій приналежності для трьох вхідних величин (сигналу завдання, інтегралу помилки, похідної помилки) показані на рис.3,4,5.

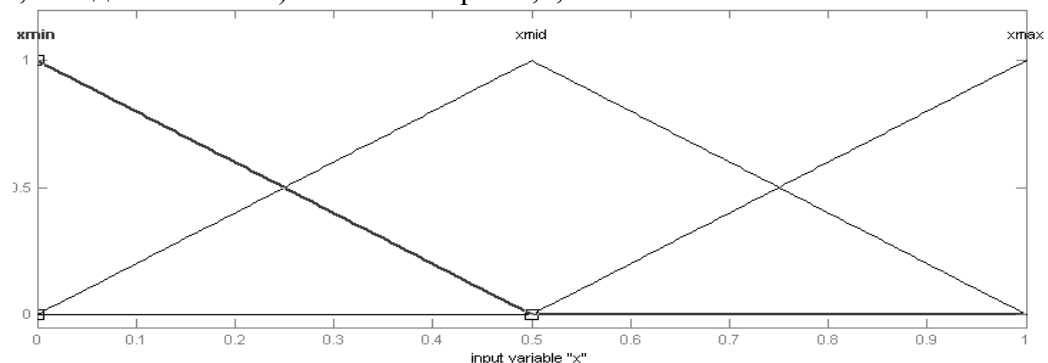


Рис.3 Функції приналежності сигналу завдання  $x$

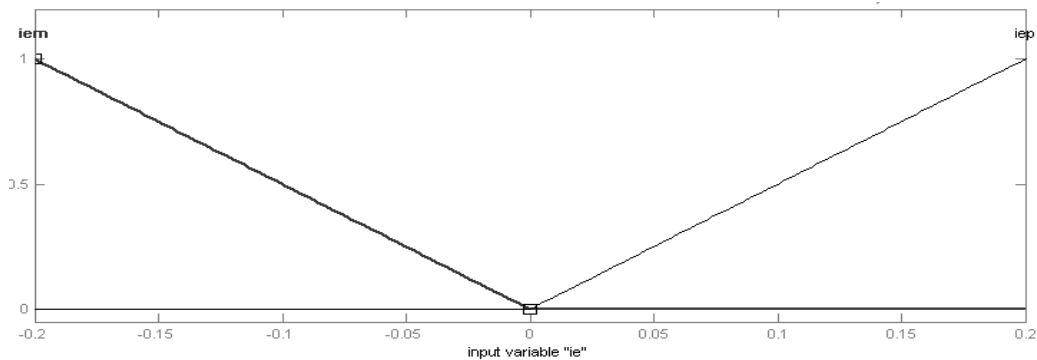


Рис.4 Функції приналежності інтегралу похибки  $ie$

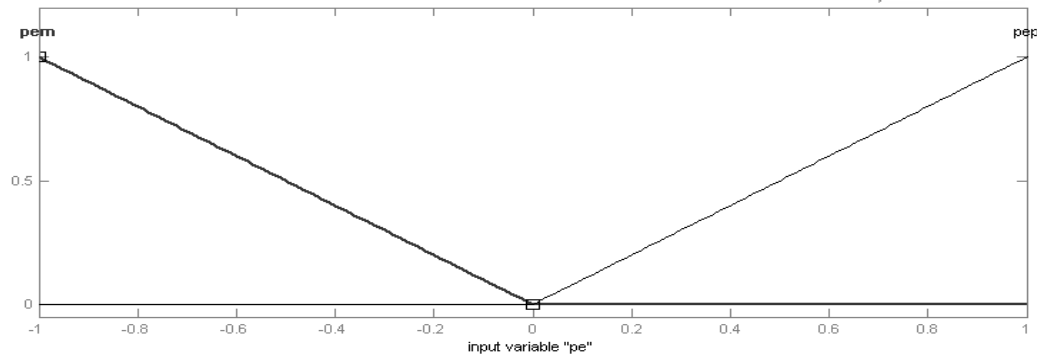


Рис.5 Функції приналежності похідної похибки  $pe$

Згідно правилам відбувається дефазифікація величини, тобто знаходиться реальна величина вихідного сигналу за його нечітким значенням. Причому на цьому етапі дефазифікація відбувається для кожного правила окремо.

База правил контролера має наступний вигляд:

$$\left. \begin{aligned}
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\min}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\text{mid}}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\text{mid}}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (x \text{ is } x_{\max}) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 0.8 \\
 &\text{if } (ie \text{ is } iem) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 1 \\
 &\text{if } (ie \text{ is } iep) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 1 \\
 &\text{if } (pe \text{ is } pem) \text{ then } (y \text{ is } y_{\min}) \quad w = 0.3 \\
 &\text{if } (pe \text{ is } per) \text{ then } (y \text{ is } y_{\max}) \quad w = 0.3
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

де  $x$ ,  $ie$ ,  $pe$  - вхідні величини (сигнал завдання, інтеграл помилки, похідна помилки),  $x_{\min}$ ,  $x_{\text{mid}}$ ,  $x_{\max}$  - нечіткі числа, які описують сигнал завдання (мінімальний сигнал, середній сигнал, максимальний сигнал);  $iem$ ,  $iep$  - нечіткі числа, які описують інтеграл помилки (негативне значення, позитивне значення);  $pem$ ,  $per$  - нечіткі числа, які описують похідну помилки (негативне значення, позитивне значення);  $w$  - вага відповідного правила.

На наступному кроці знайдемо середньозважене (залежно від вибору формули дефазифікації) значення вихідного сигналу з урахуванням ваги кожного правила.

#### Алгоритм синтезу еквівалентного контролера

1. Знаючи вид функції приналежності вхідного сигналу, його параметри і правило згідно якого визначається залежність вихідного сигналу від вхідного ( $f(x)$ ,  $f(ie)$ ,  $f(pe)$ ), проведемо наближення кожного правила в базі знань використовуючи метод найменших квадратів.

В результаті апроксимації і групування правил по вхідному сигналу отримуємо наступні залежності для fuzzy-контролера:

Залежність вихідної величини від сигналу завдання:

$$f_{xline}(x) = 1.248x + 0.16 \quad (6)$$

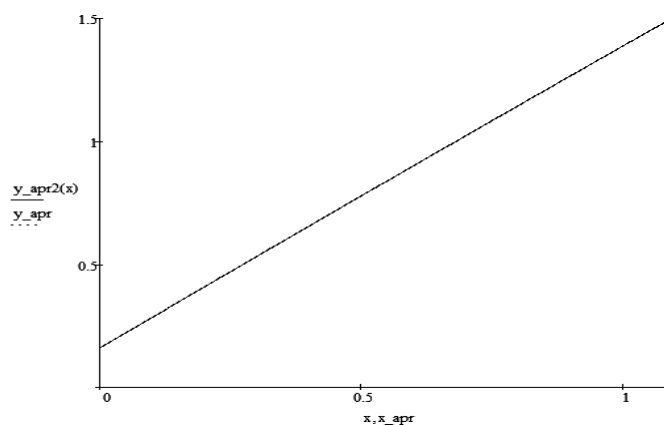


Рис.6 Залежність вихідної величини від сигналу завдання

Залежність вихідної величини від сигналу похідної похибки:

$$fpe_{line}(pe) = -9.85 \cdot pe^7 + 19.85 \cdot pe^5 - 12.9 \cdot pe^3 + 3.6 \cdot pe + 0.88 \quad (7)$$

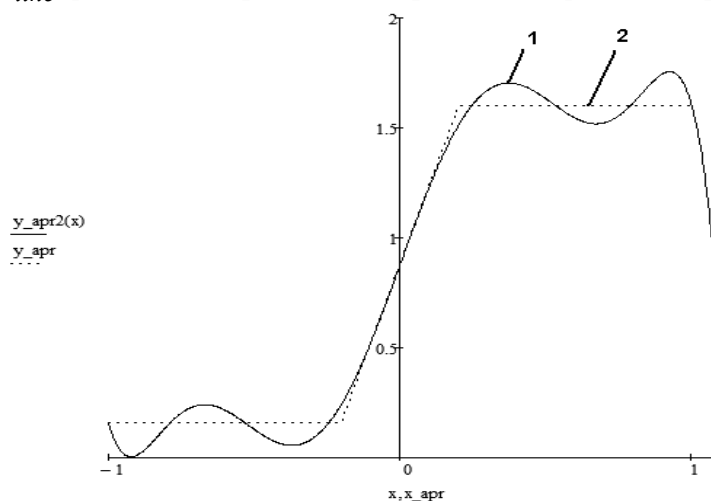


Рис.7 Залежність вихідної величини від сигналу похідної похибки

1 – апроксимаційна функція; 2 – залежність визначена правилами та формою функції приналежності

Залежність вихідної величини від сигналу інтеграла похибки:

$$fie_{line}(ie) = -769400 \cdot ie^7 + 62040 \cdot ie^5 - 1617 \cdot ie^3 + 18.25 \cdot ie + 0.88 \quad (8)$$

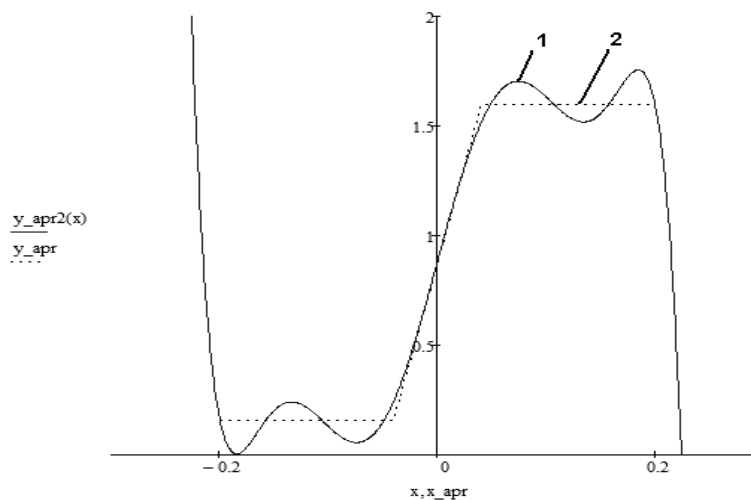


Рис.8 Залежність вихідної величини від сигналу інтеграла похибки

1 – апроксимаційна функція; 2 – залежність визначена правилами та формою функції приналежності

Висока ступінь поліномів, які описують залежність вихідного сигналу від похідної та інтеграла похибки обумовлена складним видом залежності відповідних величин. При зменшенні ступені апроксимації знижується точність еквівалентної моделі.

2. Знаючи еквівалентну модель кожного правила знайдемо середньозважене значення вихідної величини за формулою:

$$y(x, ie, pe) = \frac{fx(x) \cdot w_x + fie(ie) \cdot w_{ie} + fpe(pe) \cdot w_{pe}}{w_x + w_{ie} + w_{pe}} \quad (9)$$

Реалізувавши дані залежності у вигляді функціональних блоків у системі моделювання Matlab отримаємо еквівалентну модель нечіткого контролера, яка може бути проаналізована відомими методами [4].

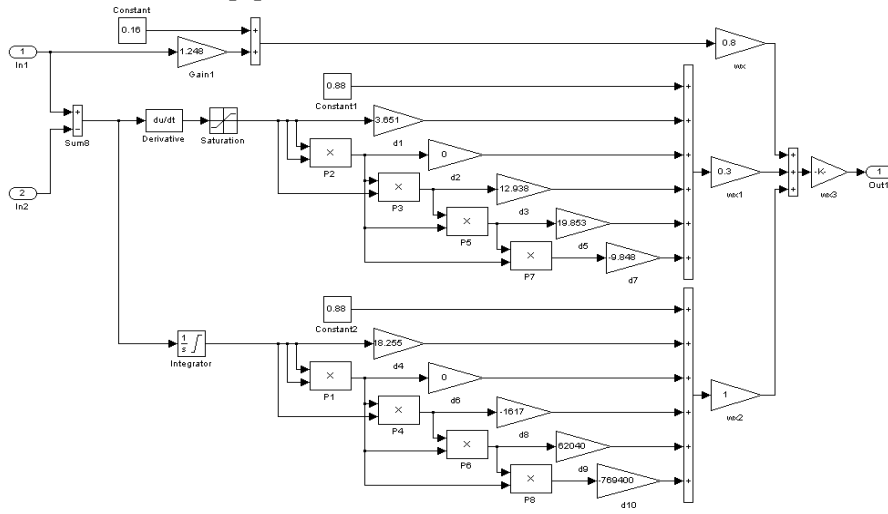


Рис.9 Структура еквівалентної моделі нечіткого контролера

Результати моделювання еквівалентної САЕП наведено на рис.10-11. На рис.10 наведена перехідна функція сигналу завдання, вихідного сигналу при управлінні нечітким контролером і вихідного сигналу при управлінні синтезованим еквівалентним контролером.

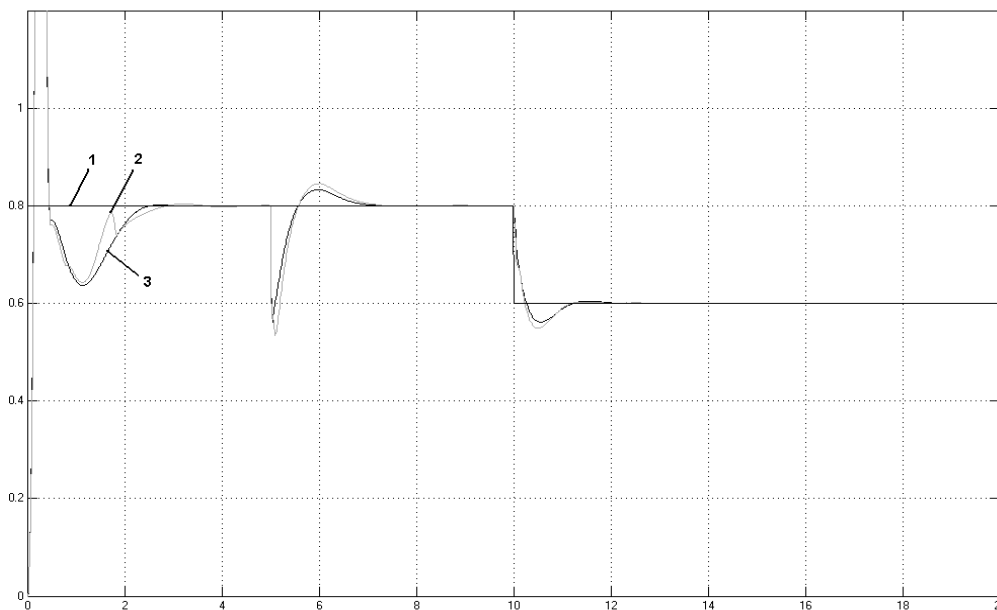


Рис.10 Результати моделювання

1 – сигнал завдання; 2 - вихідний сигнал при управлінні синтезованим еквівалентним контролером; 3 – вихідний сигнал при управлінні нечітким контролером

Похибка управління САЕП з нечітким контролером та еквівалентним контролером показана на рис. 11.

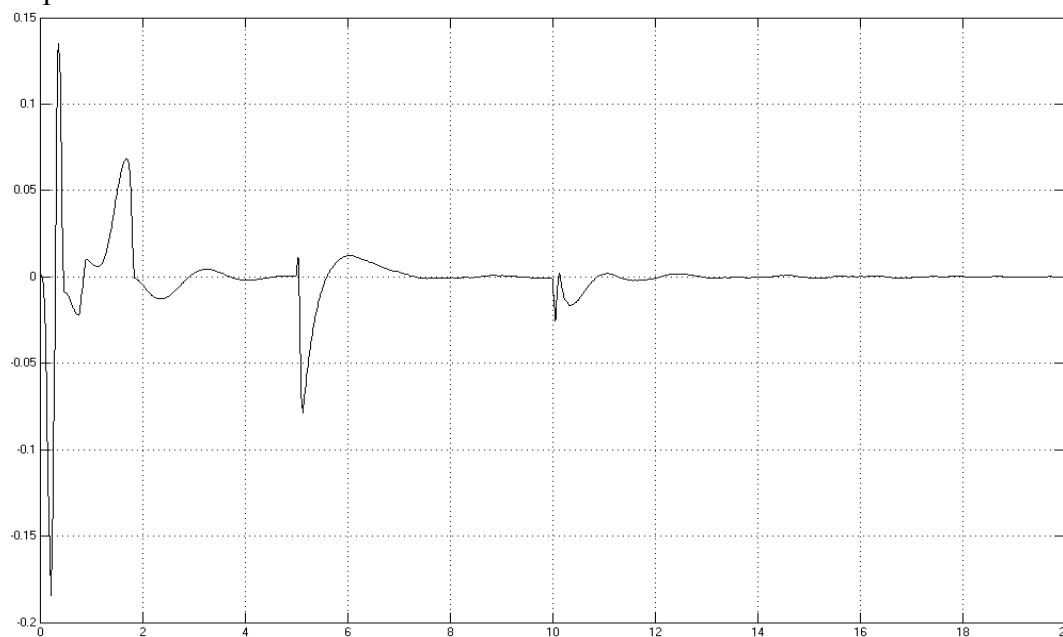


Рис.11 Похибка управління (в.о) САЕП еквівалентного контролеру в порівнянні з fuzzy-контролером

**Висновки з даного дослідження та перспективи подальших робіт.** Розглянута методика еквівалентування блоків нечіткого логічного висновку дозволяє проводити комплексний аналіз якості автоматичних систем керування відомими методами класичної теорії автоматичного управління, що в свою чергу дозволяє аргументовано стверджувати про ефективність застосування варіантів досліджуваних систем, а також уникнути грубих помилок, які можуть виникнути на етапі чисельного аналізу.

Подальша робота в даному напрямку буде спрямована на експериментальне підтвердження ефективності аналітичного дослідження ІнСАК з використанням розробленої методики еквівалентування.

Results of method design of fuzzy-controller functional features equivalent.

The synthesis of fuzzy controller equivalent structure is considered on the base of information about his structure and setting of defuzzification. An equivalent is use for the complex analysis of intellectual control the system quality.

1. Розроблення методології синтезу та обґрунтування доцільності впровадження інтелектуальних гібридних систем автоматичного управління технологічними процесами на основі нейромережових структур та методів нечіткої логіки: Звіт з НДДКР/ Криворізький техн. університет. – 5.04.3 № ДР0104U004720. – Кривий Ріг, 2005.-250 с.

2. Усков А.А., Круглов В.В. Интеллектуальные системы управления на основе методов нечеткой логики. – Смоленск: Смоленская городская типография, 2003.

3. Ротштейн О.П. Интеллектуальні технології ідентифікації: нечіткі множини, генетичні алгоритми, нейронні мережі. - Вінниця: "УНІВЕСУМ-Вінниця", 1999 - 320с

4. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы. -М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. -464с.

## ВЫСОКОТОЧНОЕ УПРАВЛЕНИЕ УПРУГОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ С НЕЛИНЕЙНЫМ ТРЕНИЕМ

Потапенко Е.М., Казурова А.Е.

**Введение.** Под электромеханической системой (ЭМС) понимается механизм, состоящий из последовательно соединенных электродвигателя (для конкретности постоянного тока), редуктора, муфты и объекта управления. Сопротивление якорной цепи двигателя вследствие изменения температуры может меняться в 1,5 раза вверх и вниз по отношению к его номинальному значению. Редуктор и (или) муфта обладают ограниченной жесткостью, вследствие чего в них при работе возникают упругие деформации. Объект управления (ОУ) представляет собой твердое тело с неизвестным моментом инерции, к которому приложены ступенчато изменяющиеся воздействия. Работа двигателя с редуктором и движение объекта управления сопровождаются нелинейным трением. Система предназначена для позиционного управления объектом. Описанная ЭМС является универсальной и может входить в состав обрабатывающих станков, роботов, телескопов, радиолокаторов, систем автоматического прицеливания стрелкового оружия, в том числе установленных на движущихся объектах, и тому подобное.

**Анализ литературных источников.** Традиционным методом управления такими системами является использование ПИ- и ПИД-регуляторов. Однако этот метод управления обладает недостаточной робастностью, плохо противодействует ступенчато изменяющимся внешним воздействиям и нелинейному трению. Этих недостатков лишены системы со скользящими режимами (ССР). К сожалению, скользящие режимы сопровождаются вибрациями, которые ухудшают надежность системы, повышают ее электропотребление, вызывают появление акустических шумов. Вибрации еще больше усиливаются при наличии высокочастотных помех. Кроме того, ССР могут возбуждать высокочастотную паразитную динамику (упругие колебания) вплоть до потери устойчивости. Хорошей робастностью к неопределенностям, быстрым реагированием на ступенчато изменяющиеся воздействия и одновременно при “мягком” управлении без скользящих режимов обладают комбинированные системы управления с оценкой и компенсацией неопределенностей динамики [1-3]. Поскольку в неопределенности включены и внешние воздействия, то указанные системы, помимо обеспечения робастности, обеспечивают высокую точность управления. Благодаря отсутствию скользящих режимов, эти системы в меньшей степени возбуждают паразитную высокочастотную динамику.

**Постановка задачи.** ЭМС описывается следующей системой дифференциальных уравнений:

$$I_c \ddot{\varphi}_c = c(n^{-1}\varphi_m - \varphi_c) + f_c - f_l, \quad (1)$$

$$I_m \ddot{\varphi}_m = -n^{-1}c(n^{-1}\varphi_m - \varphi_c) + c_m i + f_m, \quad (2)$$

$$Li + Ri = u - c_e \dot{\varphi}_m, \quad (3)$$

где  $\varphi_c, \varphi_m$  – углы поворота ОУ и ротора двигателя;  $i, u$  – ток и напряжение якорной цепи;  $I_c, I_m$  – моменты инерции ОУ и ротора двигателя;  $R, L$  – активное сопротивление и индуктивность якорной цепи;  $c_m, c_e$  – моментный и скоростной коэффициенты двигателя постоянного тока (ДПТ);  $n$  – передаточное число редуктора;  $c$  – коэффициент жесткости упругой части;  $f_c, f_m$  – моменты нелинейного трения в ОУ и в двигателе соответственно;  $f_l$  – момент нагрузки. В системе (1)-(3) неизвестными являются  $I_c, f_c, f_l, f_m, R$ . В состав

ЭМС входят следующие измерители: датчик тока якорной цепи ДПТ, инкрементный датчик приращений угла поворота ротора двигателя, позволяющий оценивать угол поворота ротора двигателя  $\varphi_m$  с погрешностью  $\varphi_{m0}$ , и датчик положения ОУ. Таким образом, в системе пятого порядка измеряются 3 координаты:  $i$ ,  $(\varphi_m + \varphi_{m0})$ ,  $\varphi_c$ . Для обеспечения высокого качества управления необходимо оценить с помощью наблюдателей недостающие координаты вектора состояния: скорости ОУ и ротора двигателя и сопротивление. Кроме того, неизвестной является погрешность  $\varphi_{m0}$ .

В качестве модели трения использовалась модель LuGre [4], соответствующая ей зависимость трения от скорости представлена на рис. 1.

Указанная модель описывается следующим образом:

$$f = -m \text{ при } \dot{x} = 0, \quad \forall |m| \leq f_0, \quad (4)$$

$$f = -f_0 \text{sign } m \text{ при } \dot{x} = 0, \quad \forall |m| > f_0, \quad (5)$$

$$f = -\varphi(|\dot{x}|) \text{sign } \dot{x} \text{ при } |\dot{x}| > 0, \quad (6)$$

где  $m$  – сумма всех внешних воздействий на объект, подверженный трению,  $f_0$  – максимальный момент трения покоя,  $\dot{x}$  – относительная скорость трущихся поверхностей. Поскольку точно функция трения  $|f| = \varphi(\dot{x})$  не известна, то принято

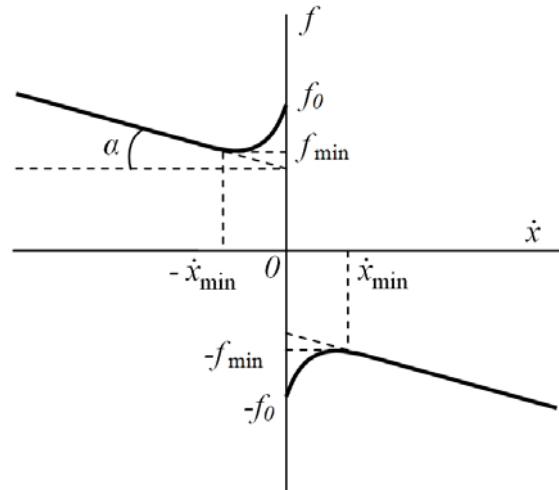


Рис.1 Зависимость трения от скорости

$$\begin{aligned} f &= f_0 + a|\dot{x}| & |\dot{x}| \leq |\dot{x}_{\min}|, \\ f &= b + k|\dot{x}|, \quad k = \text{tg } \alpha & |\dot{x}| > |\dot{x}_{\min}|, \end{aligned} \quad (7)$$

где  $a, b$  – коэффициенты аппроксимации функции трения.

Целью данной работы является обеспечение высокой точности и быстродействия управления объектом с помощью компенсатора, состоящего из наблюдателей координат вектора состояния и неопределенностей и комбинированного регулятора.

**Материал исследования.** Управляющее напряжение ограничено (что всегда имеет место на практике) и представлено в виде

$$u = \text{sat}(u_i + u_m + u_c), \quad (8)$$

где  $u_i, u_m, u_c$  – управляющие напряжения соответственно для контуров тока, двигателя и объекта управления, синтезированные в виде

$$u_i = -Rk_i i, \quad (9)$$

$$u_m = -k_m \dot{\varphi}_m - kn^{-1}c(n^{-1}\varphi_m - \varphi_c)Rc_m^{-1}, \quad (10)$$

$$u_c = u_{cs} + u_{cc}, \quad (11)$$

$$u_{cs} = -k_{c1}(\varphi_c - \varphi_{cp}) - k_{c2}(\dot{\varphi}_c - \dot{\varphi}_{cp}), \quad (12)$$

$$u_{cc} = -(1+k)(nc_{m1})^{-1} R f_{c\Sigma}, \quad (13)$$

$$c_{m1} = c_m(1+k_i)^{-1}, \quad (14)$$

где  $k_i, k_m, k, k_{c1}, k_{c2}$  – постоянные коэффициенты; символом “^” обозначены оценки соответствующих переменных;  $u_{cs}, u_{cc}$  – управляющие напряжения стабилизации и компенсации неопределенности  $f_{c\Sigma}$ , которая имеет вид

$$f_{c\Sigma} = -f_c - f_l - n f_m - I_{c\delta} \ddot{\varphi}_c. \quad (15)$$

При формировании неопределенности предполагалось, что  $I_c = I_{c0} + I_{c\delta}$ , где  $I_{c0}$  – известное номинальное значение момента инерции ОУ,  $I_{c\delta}$  – его неизвестное отклонение.

Оценка неопределенности получена с помощью быстродействующего наблюдателя в виде

$$f_{c\Sigma} = z - l_f(I_{c0}\dot{\varphi}_c + nI_m\dot{\varphi}_m + nc_mLR^{-1}i), \quad (16)$$

$$\dot{z} = l_f(f_{c\Sigma} + nc_mR^{-1}(u - c_e\dot{\varphi}_m)), \quad (17)$$

где  $l_f$  – коэффициент передачи наблюдателя. Измерением для наблюдателя (16), (17) является выражение (15).

Алгоритм оценки скорости ОУ получен в виде асимптотического дифференциатора [5]:

$$\dot{r} = Ar + L_r(r_1 - \varphi_c), \quad (18)$$

где

$$r = \begin{bmatrix} r_1 \\ r_2 \\ r_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_c \\ \dot{\varphi}_c \\ \ddot{\varphi}_c \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, L_r = \begin{bmatrix} l_{r1} \\ l_{r2} \\ l_{r3} \end{bmatrix}, \quad (19)$$

$L_r$  – матрица коэффициентов передачи дифференциатора.

Наблюдатель вектора состояния двигателя синтезирован в виде

$$\dot{x} = Ax + L(x_1 + x_3 - (\varphi_m + \varphi_{m0})) + Bu, \quad (20)$$

где

$$x = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \varphi_m \\ \dot{\varphi}_m \\ \varphi_{m0} \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -I_m^{-1}n^{-2}c & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, Bu = \begin{bmatrix} 0 \\ I_m^{-1}(n^{-1}c\varphi_c + c_m i) \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (21)$$

$L = [l_1 \quad l_2 \quad l_3]^T$  – матрица коэффициентов наблюдателя. Следует обратить внимание на то, что размерность наблюдателя увеличена за счет введения в рассмотрение неизвестной координаты  $x_3 = \varphi_{m0}$ .

Соппротивление представляется в виде  $R = R_0 + R_\delta$ , где  $R_0$  – известное из паспорта двигателя номинальное значение сопротивления,  $R_\delta$  – не известное отклонение сопротивления от его номинального значения. Для оценки фактического сопротивления в реальном времени разработан следующий алгоритм идентификации:

$$R_\delta = z + l_R \frac{1}{2} Li^2, \quad (22)$$

$$\dot{z} = l_R \left[ i^2 (z + l_R \frac{1}{2} Li^2) - i(u - c_e \dot{\varphi}_m) + R_0 i^2 \right], \quad (23)$$

$$R = R_0 + R_\delta, \quad (24)$$



где  $I_R$  – коэффициент передачи идентификатора.

При моделировании принимались следующие параметры:  $I_{c0} = 250 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ , момент инерции считается неизвестным и находится в диапазоне  $I_c = (0,83...1,5)I_{c0}$ ,  $I_m = 27 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ,  $R_0 = 0,075 \text{ Ом}$ , аналогично, сопротивление принимается равным  $R = (0,67...1,5)R_0$ ,  $L = 3,375 \cdot 10^{-4} \text{ Гн}$ ,  $n = 377$ ,  $c = 3 \cdot 10^5 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{рад}^{-1}$ ,  $c_m = 0,062 \text{ Н} \cdot \text{м} \cdot \text{А}^{-1}$ ,  $c_e = 0,062 \text{ В} \cdot \text{с} \cdot \text{рад}^{-1}$ ,  $f_l = 0...500 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $f_c = 200 \text{ Н} \cdot \text{м}$ ,  $f_m = 0,15 \text{ Н} \cdot \text{м}$ , пусковой ток 360 А, напряжение питания двигателя 27 В. Для модели трения брались следующие значения:  $f_{\min} = 0,67f_0$ ,  $\dot{x}_{\min} = 0,4 \text{ рад/с}$ .

Расчет коэффициентов законов управления и наблюдателей осуществлялся по стандартным полиномам с биномиальным распределением корней.

На рис. 2-12 показаны переходные процессы, возникающие при подаче ступенчатого программного сигнала величиной  $3^\circ$  ( $\varphi_{cp} = 0,05236 \text{ рад}$ ) при номинальном моменте инерции ОУ. Нагрузка  $f_l = 500 \text{ Н} \cdot \text{м}$  в виде ступенчатого сигнала прикладывалась на 0,5 с и снималась на 0,8 с. На рис. 2 показан весь переходный процесс, а на рис. 3, 4 – его фрагменты. На рис. 3 пунктирными линиями ограничена зона  $\pm 30 \text{ угл. с}$ , на рис. 4 – зона  $\pm 0,1 \text{ угл. с}$ .

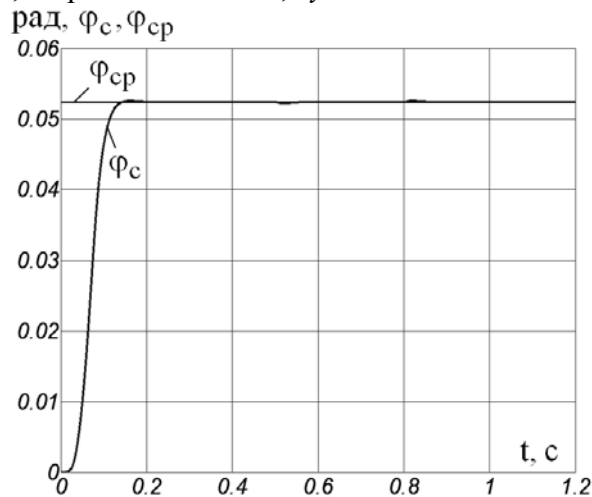


Рис. 2

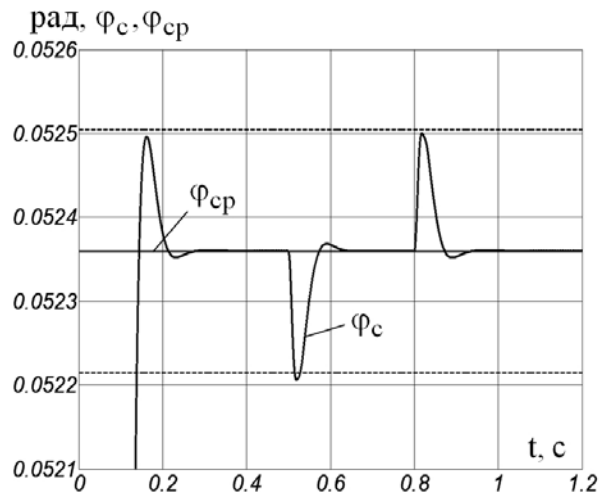


Рис. 3

Анализ графиков показывает, что синтезированный алгоритм управления обеспечивает входение в зону  $\pm 30 \text{ угл. с}$  за 0,14 с, а в зону  $\pm 0,1 \text{ угл. с}$  – за 0,28 с, установившаяся ошибка составляет  $10^{-3} \text{ угл. с}$ . Следует отметить, что на длительность переходного процесса оказывает отрицательное влияние ограничение напряжения. Рис. 3 показывает, что система является астатической по отношению к нагрузке. На рис. 4 видно, что указанная точность в установившемся режиме  $\pm 10^{-3} \text{ угл. с}$  обеспечивается как при наличии нагрузки, так и без нее. На рис. 5, 6 показана скорость ОУ. Рис. 6 является фрагментом рисунка 5. Скорость в установившемся режиме не превышает  $5 \cdot 10^{-6} \text{ рад/с}$  ( $0,00028 \text{ }^\circ/\text{с}$ ). Графики напряжения и тока изображены на рис. 7, 8. На рис. 9 даны графики неопределенности и её оценки при номинальном моменте инерции ОУ, на рис. 10 – фрагмент рисунка 9. На рис. 11, 12 изображены графики угла и скорости поворота ротора двигателя и их оценки с помощью наблюдателя. На рис. 13 показаны фрагменты переходных процессов при значениях момента инерции ОУ 1)  $0,83I_{c0}$ , 2)  $I_{c0}$ , 3)  $1,5I_{c0}$  подтверждающие работоспособность системы при неизвестных отклонениях момента инерции от его номинального значения в указанном пределе.

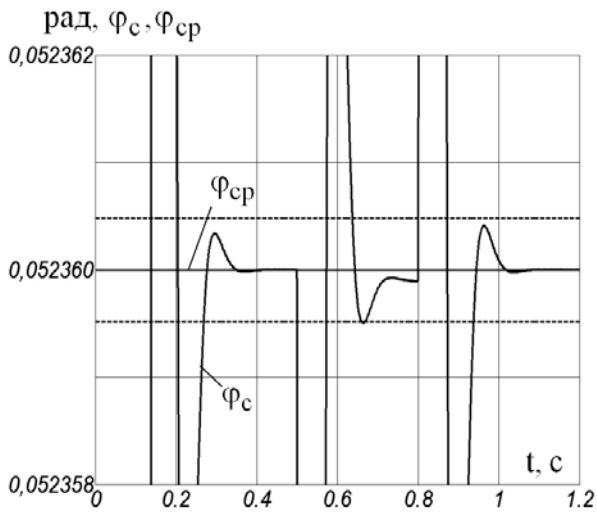


Рис. 4

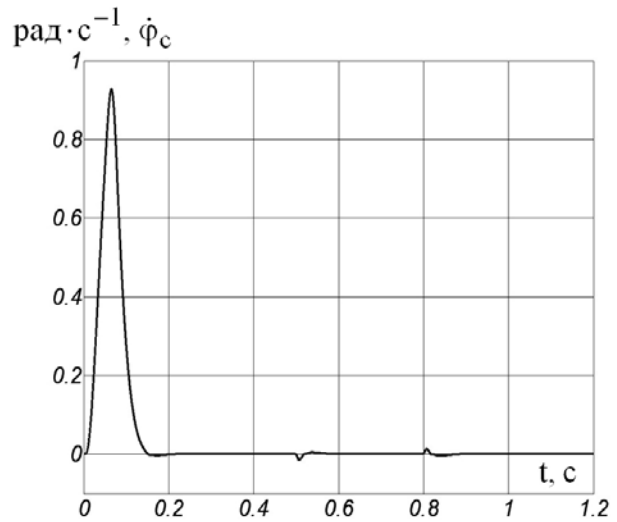


Рис. 5

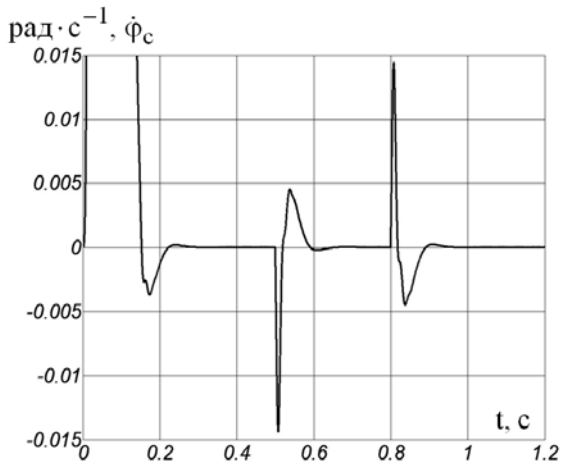


Рис. 6

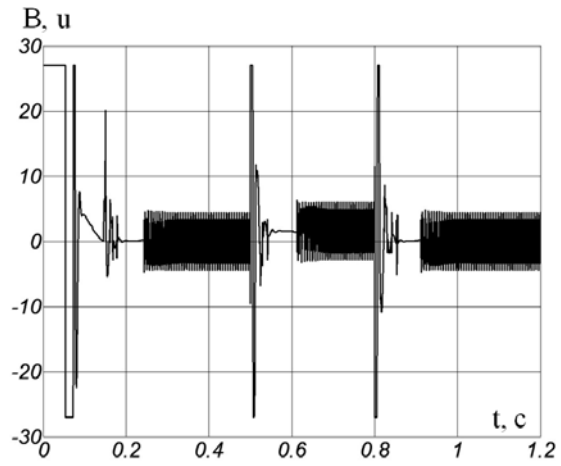


Рис. 7

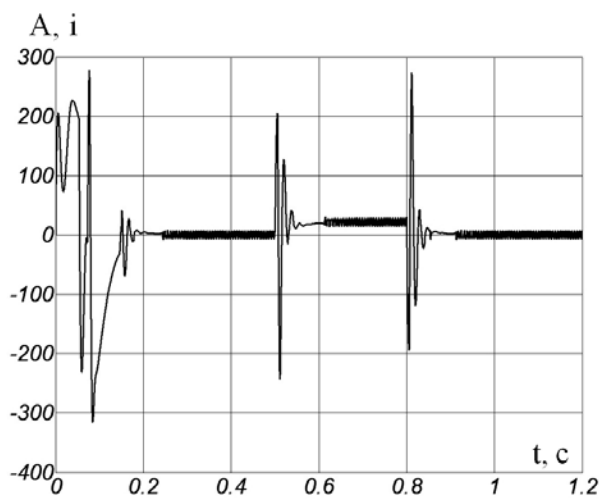


Рис. 8

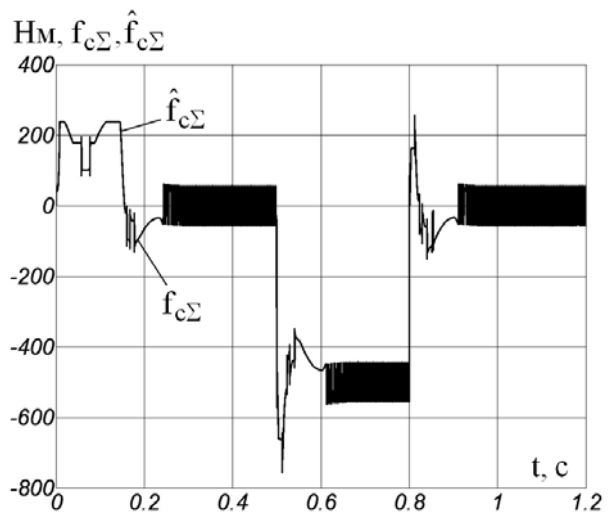


Рис. 9

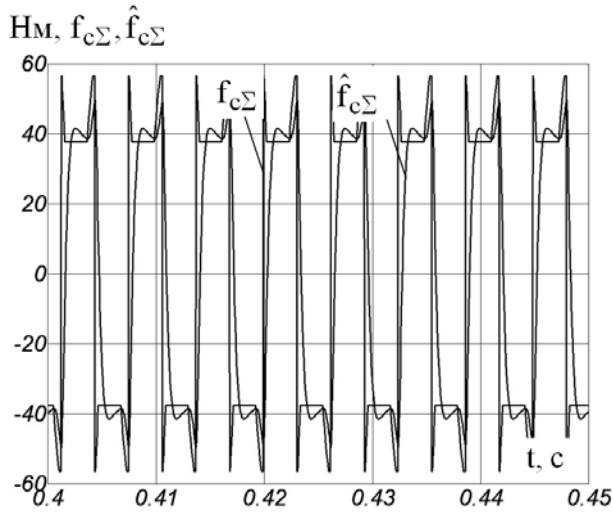


Рис. 10

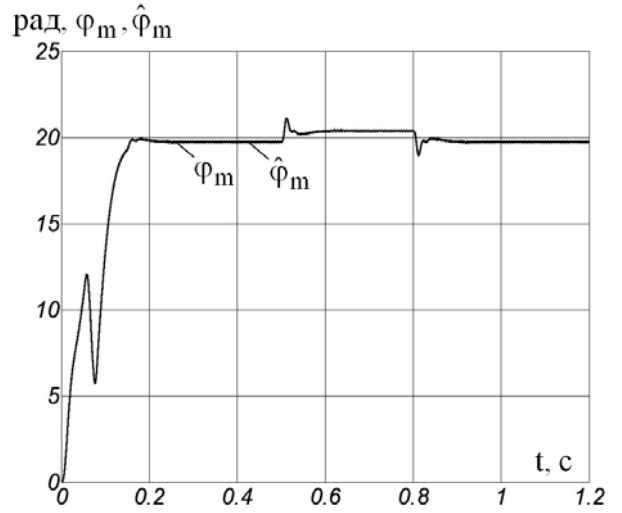


Рис. 11

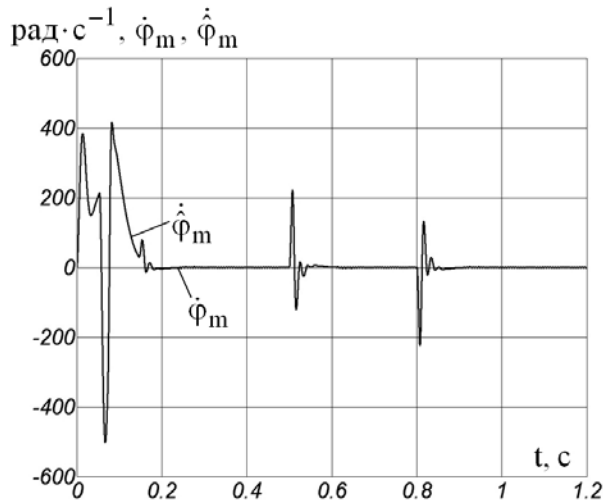


Рис.12

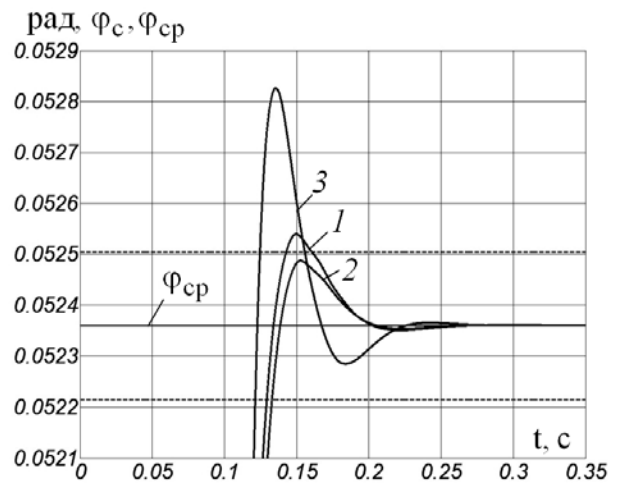


Рис.13

На рис. 14, 15 приведены фрагменты графиков неопределенностей и их оценок при значениях моментов инерции  $0,83I_{c0}$  (рис. 14) и  $1,5I_{c0}$  (рис. 15). Графики идентификации активного сопротивления при его отклонении в 1,5 раза вниз и вверх от номинального значения представлены на рис. 16, 17 соответственно. Причем идентификация осуществлялась одновременно с оценкой координат вектора состояния двигателя.

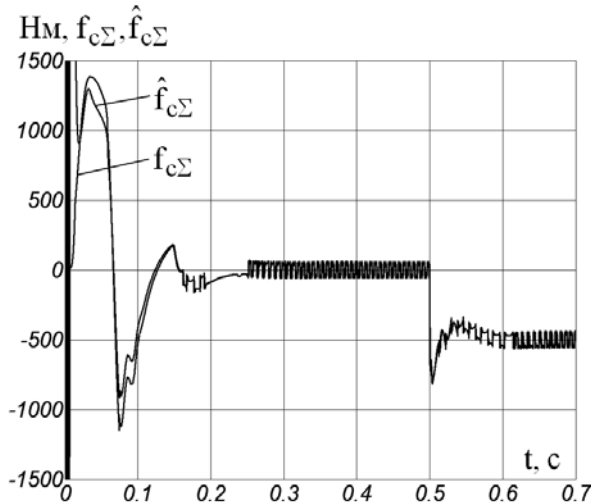


Рис. 14

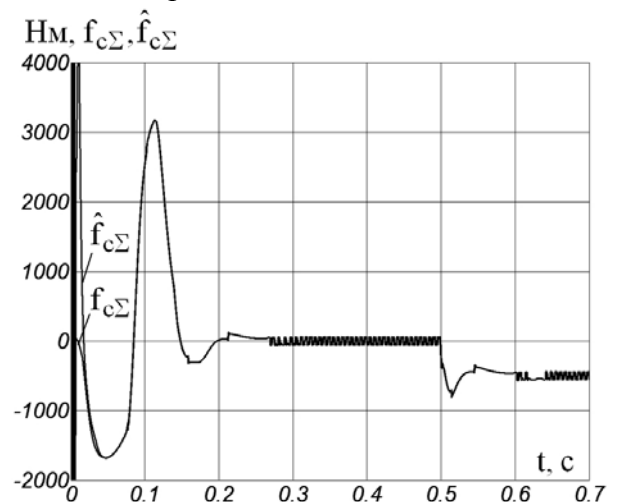


Рис.15

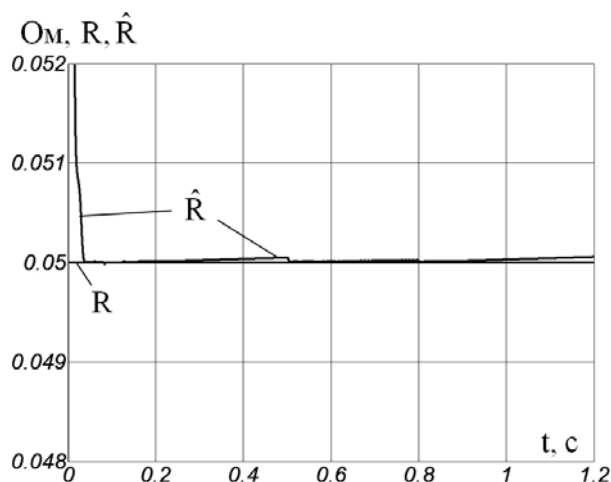


Рис. 16

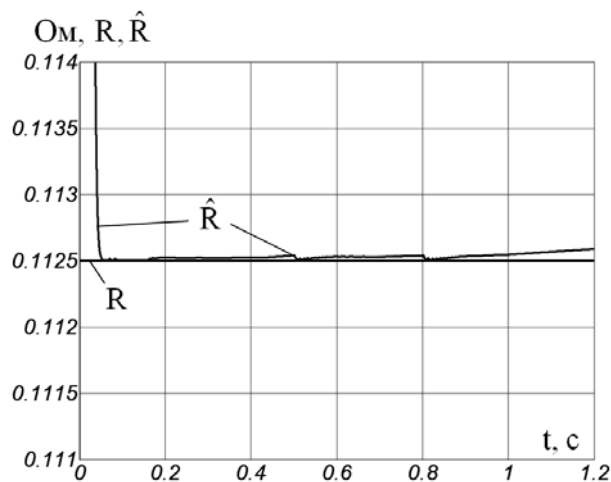


Рис. 17

**Выводы.** Рассмотрено управление электромеханической системой (ЭМС) со следующим составом измерителей: датчик тока якорной цепи, инкрементный датчик угла поворота ротора двигателя и датчик положения ОУ. Недостающая информация получена с помощью наблюдателей. Особенностью данной ЭМС является наличие значительного нелинейного трения как на объекте управления, так и на двигателе. Примененное комбинированное управление практически устраняет совместное влияние нелинейного трения и упругости передачи. Как показали результаты моделирования, синтезированный алгоритм управления обеспечивает вхождение в зону  $\pm 30$  угл. с за 0,14 с, а в зону  $\pm 0,1$  угл. с – за 0,28 с. Установившаяся ошибка находится в диапазоне  $\pm 10^{-3}$  угл. с как без нагрузки, так и при ее наличии. Скорость в установившемся режиме не превышает  $5 \cdot 10^{-6}$  рад/с (0,00028 %/с). Включение в неопределенность внешних воздействий делает систему астатической по отношению к нагрузке. Система работоспособна при отклонениях момента инерции ОУ в пределах 0,83...1,5 от его номинального значения. Ограниченность диапазона обусловлена ограниченностью напряжения. Следует отметить, что разработанный алгоритм идентификации сопротивления обеспечивает робастность системы к изменению активного сопротивления якорной цепи. Идентификация активного сопротивления осуществлялась одновременно с оценкой координат вектора состояния в реальном времени.

Высокое качество управления при наличии упругости, нелинейного трения и нагрузки достигнуто за счет применения робастного комбинированного управления с наблюдателем неопределенности [1-3]. В дальнейшем планируется исследование данного метода управления в цифровом исполнении при наличии в системе, помимо рассмотренных в статье возмущений и неидеальностей, люфта.

The flexible electromechanical system control, the specificity of which is the presence of significant nonlinear friction on both control object and motor, is considered. Motor armature current, motor rotor and control object rotation angles are measured. For this system the robust combined regulator minimizing the transient time with the state vector coordinate and uncertainty observers is designed. The on-line identification algorithm of motor armature resistance is synthesized. Computer simulation confirms the dynamic characteristics of the synthesized control system.

1. Потапенко, Е.М. Сравнительная оценка робастных систем управления с различными типами наблюдателей / Е.М. Потапенко // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 1995. – №1. – С. 109-116.

2. Потапенко, Е.М. Робастные комбинированные системы управления с наблюдателями / Е.М. Потапенко // Проблемы управления и информатики (Киев, НАНУ). – 1995. – №2. – С. 36-44.

3. Потапенко, Е.М. Исследование робастности систем управления с наблюдателями / Е.М. Потапенко // Изв. РАН. Теория и системы управления. (Москва) – 1996. – №2. – С. 104-108.
4. Hirschorn, R.M. Control of Nonlinear Systems with Friction / R.M. Hirschorn, G. Miller // IEEE Trans. on Control Systems Technology. – 1999. – Vol. 7, N 5. – Pp. 588-595.
5. Дылевский, А.В. Применение метода пространства состояний для синтеза дифференциаторов / А.В. Дылевский, Г.И. Лозгачёв // Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 9. – С. 13-20.

УДК 681.527.2

## РАЗРАБОТКА МЕТОДА УПРЕЖДАЮЩЕЙ КОМПЕНСАЦИИ ИСКАЖЕНИЙ СТАТОРНОГО НАПРЯЖЕНИЯ АД, ВНОСИМЫХ ВЫХОДНЫМИ СИЛОВЫМИ ФИЛЬТРАМИ

Соломаха А.В.

**Введение.** Для питания АД в настоящее время используются инверторы напряжения с ШИМ. Выходные напряжения ПЧ с ШИМ представляют собой последовательность прямоугольных импульсов малой длительности. Крутые фронты напряжения с ШИМ (порядка 10 кВ/мкс) вызывают старение изоляции двигателя, питающих кабелей и ухудшение их диэлектрических свойств. Это также приводит к дополнительному нагреву обмоток двигателя и появлению высокочастотного акустического шума.

Устранение вышеназванных проблем особенно актуально для мощных приводов [1, 2]. Поэтому на выходе преобразователя частоты для сглаживания выходного напряжения устанавливают силовые LC-фильтры [3]. Пассивные фильтры улучшают гармонический состав тока и напряжения (скорость фронта импульса становится менее 500 В/мкс), уменьшают акустический шум, имеют простую конструкцию и относительно дешевы в изготовлении. Ограничение скорости изменения напряжения и снижение перенапряжений позволяет отказаться от увеличения номиналов напряжений инверторов за счет учета явления обратной волны в кабелях. Без фильтра, ограничивающего производную напряжения, срок службы двигателя уменьшается на 10% по отношению к его декларированному сроку работы [4]. В основном, пассивные фильтры используются в потребителях мощности более 1 мегавольтампера. Пассивные фильтры не требуют технического обслуживания, экономичны, при условии, что сопротивление фильтра должно быть меньше, чем сопротивление системы [1]. Но, наряду с перечисленными положительными эффектами, пассивные фильтры искажают амплитуды и фазы главных гармоник выходных напряжений и токов, что приводит к ухудшению динамики электропривода, особенно с векторным управлением. В работе [3] проблема решается методом, построенным с помощью фильтра Калмана, которому присуща большая вычислительная сложность. Для восстановления динамики привода можно построить алгоритмически простой компенсатор введением перекрестных связей, что было сделано в работе [5], но без учета параметров нагрузки.

Целью данной статьи является разработка метода упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых силовыми фильтрами, учитывающей параметры нагрузки.

**Постановка задачи.** На рис. 1 представлена функциональная схема автономного инвертора с силовым фильтром, где СУ – система управления автономным инвертором с ШИМ (АИН с ШИМ); ПСФ – пассивный силовой LC-фильтр; АД – двигатель переменного тока;  $u_{\alpha p}$ ,  $u_{\beta p}$  – управляющие (программные) сигналы системы управления АИН,

$u_{\alpha k}, u_{\beta k}$  – программные сигналы с учетом компенсации,  $u_{Ak}, u_{Bk}, u_{Ck}$  – фазовые управляющие сигналы.

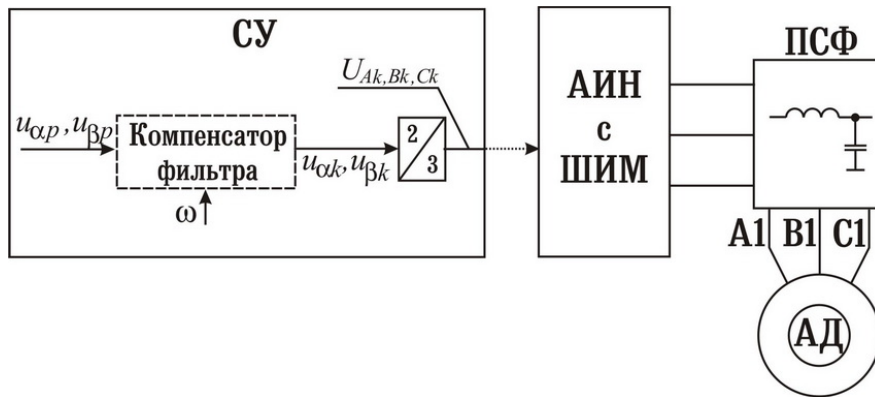


Рис. 1 Функциональная схема цепи компенсации неидеальностей ПСФ

Параметры ПСФ выбираются из условия устранения на их выходах высокочастотных помех, обусловленных ШИМ. Поэтому они являются известными, т.е. можно считать известными искажения амплитуды и фазы напряжения на выходах ПСФ. Задача состоит в упреждающем изменении программных сигналов по амплитуде и фазе таким образом, чтобы они компенсировали искажения, вносимые ПСФ. Таким образом, коэффициент передачи системы компенсатор – пассивный фильтр будет равен 1. Такая возможность имеется за счет введения перекрестных связей между фазами многофазных сигналов. Это удобнее делать с двухфазными сигналами.

**Синтез упреждающего компенсатора фильтра.** Программный двухфазный сигнал имеет вид

$$u_{\alpha p} = |u| \cos \omega t, \quad u_{\beta p} = |u| \sin \omega t, \quad |u| = \sqrt{u_{\alpha p}^2 + u_{\beta p}^2}, \quad (1)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вектора напряжения  $u$ , которая обычно используется в методах управления двигателями переменного тока и считается известной.

После пропускания двухфазного сигнала (1) или эквивалентного ему трехфазного сигнала через фильтр, эквивалентный двухфазный сигнал примет вид

$$u_{\alpha f} = A(\omega) |u| \cos(\omega t + \psi(\omega)), \quad u_{\beta f} = A(\omega) |u| \sin(\omega t + \psi(\omega)), \quad (2)$$

где  $A(\omega)$  и  $\psi(\omega)$  – АЧХ и ФЧХ фильтра соответственно.

Упреждающий компенсатор фильтра (УК) предназначен для устранения искажений в (2), связанных с наличием  $A(\omega)$  и  $\psi(\omega)$ . Для этого УК должен иметь следующие частотные характеристики:

$$A_k(\omega) = A^{-1}(\omega), \quad \psi_k(\omega) = -\psi(\omega), \quad (3)$$

а его выходные сигналы с учетом (1) должны иметь вид

$$\begin{aligned} u_{\alpha k} &= A^{-1}(\omega) |u| \cos(\omega t - \psi(\omega)) = A^{-1}(\omega) |u| (\cos \omega t \cos \psi(\omega) + \sin \omega t \sin \psi(\omega)) = \\ &= A^{-1}(\omega) (u_{\alpha p} \cos \psi(\omega) + u_{\beta p} \sin \psi(\omega)), \\ u_{\beta k} &= A^{-1}(\omega) |u| \sin(\omega t - \psi(\omega)) = A^{-1}(\omega) (u_{\beta p} \cos \psi(\omega) - u_{\alpha p} \sin \psi(\omega)). \end{aligned} \quad (4)$$

Для получения передаточной функции ПСФ рассмотрим одну фазу системы ПЧ-ПСФ-АД, которая показана на рис. 2. АД можно представить как нелинейную RL-нагрузку, параметры которой ( $R_n, L_n$ ) зависят от параметров двигателя, режима работы двигателя, скольжения.

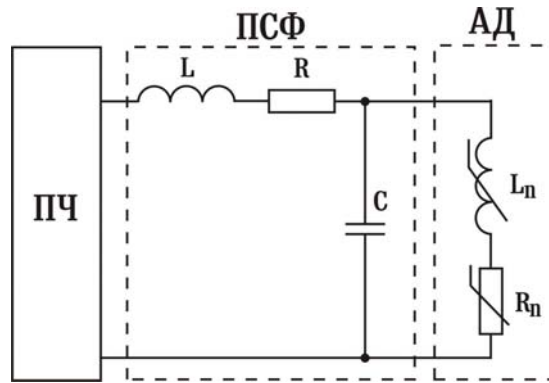


Рис. 2 Функциональная схема одной фазы системы ПЧ-ПСФ-АД

Передаточная функция системы имеет вид

$$W(p) = \frac{U_{AD}}{U_{ПЧ}} = \frac{L_n p + R_n}{LL_n C p^3 + (RL_n + LR_n) C p^2 + (L + L_n + RR_n C) p + (R + R_n)}, \quad (5)$$

где  $U_{AD}$  – фазное напряжение АД,  $U_{ПЧ}$  – фазное напряжение на выходе ПЧ,  $R$  – активное сопротивление дросселя, или при необходимости, специально введенное в состав фильтра для получения необходимой фильтрации выходного напряжения ПЧ,  $L$ ,  $C$  – индуктивность и емкость фильтра.

Передаточной функции (5) будет соответствовать АФЧХ вида

$$W(j\omega) = \frac{[R_n] + j[\omega L_n]}{[R + R_n - \omega^2 C(RL_n + LR_n)] + j[\omega(L + L_n + RR_n C) - \omega^3 LL_n C]} = \frac{[N_1] + j[N_2]}{[D_1] + j[D_2]}, \quad (6)$$

где  $\omega$  – угловая скорость напряжения  $U_{ПЧ}$ ,

$N_1$ ,  $D_1$ ,  $N_2$ ,  $D_2$  – действительные и мнимые части в числителе и знаменателе соответственно, введенные для упрощения расчета.

АЧХ и ФЧХ передаточной функции (5) с учетом введенных обозначений имеют вид

$$A(\omega) = \frac{\sqrt{N_1^2 + N_2^2}}{\sqrt{D_1^2 + D_2^2}}, \quad (7)$$

$$\psi(\omega) = \arctg\left(\frac{N_2}{N_1}\right) - \arctg\left(\frac{D_2}{D_1}\right). \quad (8)$$

Воспользовавшись выражением  $\tg(\alpha - \beta) = \frac{\tg\alpha - \tg\beta}{1 + \tg\alpha \cdot \tg\beta}$  для (8), найдем

$$\tg\psi(\omega) = \frac{N_2 D_1 - N_1 D_2}{N_1 D_1 + N_2 D_2}. \quad (9)$$

Используя тригонометрические преобразования

$$\sin\psi(\omega) = \frac{\tg\psi(\omega)}{\sqrt{1 + \tg^2\psi(\omega)}}, \quad \cos\psi(\omega) = \frac{1}{\sqrt{1 + \tg^2\psi(\omega)}}, \quad (10)$$

и выражение

$$\sqrt{D_1^2 + D_2^2} = \frac{\sqrt{N_1^2 + N_2^2}}{A(\omega)}, \quad (11)$$

полученное из (7), найдем

$$\sin\psi(\omega) = A(\omega) \frac{N_2 D_1 - N_1 D_2}{N_1^2 + N_2^2}, \quad (12)$$

$$\cos \psi(\omega) = A(\omega) \frac{N_1 D_1 + N_2 D_2}{N_1^2 + N_2^2}. \quad (13)$$

Подставив значения  $N_1, D_1, N_2, D_2$  в (12), (13) и упростив, получим

$$\sin \psi(\omega) = A(\omega) \omega \left( \frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right), \quad (14)$$

$$\cos \psi(\omega) = A(\omega) \left( 1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right). \quad (15)$$

Подставляя (14), (15) в (4), получим уравнения работы упреждающего компенсатора фильтра.

$$\begin{aligned} u_{\alpha k} &= u_{\alpha p} \left( 1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right) + u_{\beta p} \omega \left( \frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right), \\ u_{\beta k} &= u_{\beta p} \left( 1 - \omega^2 LC + \frac{R_n R + \omega^2 L_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} \right) - u_{\alpha p} \omega \left( \frac{L_n R - R_n L}{R_n^2 + (\omega L_n)^2} - RC \right). \end{aligned} \quad (16)$$

**Результаты моделирования.** Моделировалась система (рис. 3), состоящая из следующих последовательно соединенных звеньев: источник сигнала с переменной частотой, УК, преобразователь координат  $(\alpha, \beta)/(A, B, C)$ , блок формирования ШИМ-сигналов, LC-фильтров и RL-нагрузки, имитирующей АД. Напряжения  $u_\alpha, u_\beta$  - являются желаемыми сигналами, с которыми будем сравнивать выходные сигналы фильтра  $u'_\alpha, u'_\beta$ .

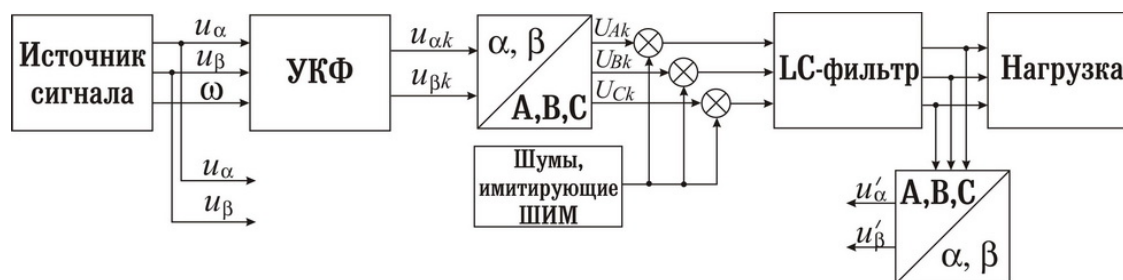


Рис. 3 Структурная схема моделирования работы упреждающего компенсатора фильтра

Источник генерировал периодический двухфазный сигнал амплитудой 100 В и переменной частотой, которая изменялась как показано на рис. 4.

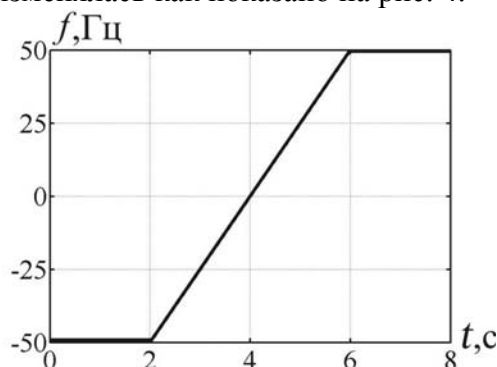


Рис. 4 График изменения частоты сигнала источника в процессе моделирования

Моделирование проводилось со следующими параметрами фильтра:  $R=0.01$  Ом,  $L=0.01$  Гн,  $C=40$  мкФ. Перед LC-фильтрами в блоке формирования ШИМ-сигналов на сигнал накладывались шумы, имитирующие ШИМ, амплитудой в 2 раза большей амплитуды полезного сигнала и частотой 4 кГц. Дискретность алгоритма УК составляла 200 мкс. На рис. 5 приведены графики ошибок, то есть рассогласований между желаемыми и выходными сигналами, по каналам  $\alpha$  и  $\beta$ .



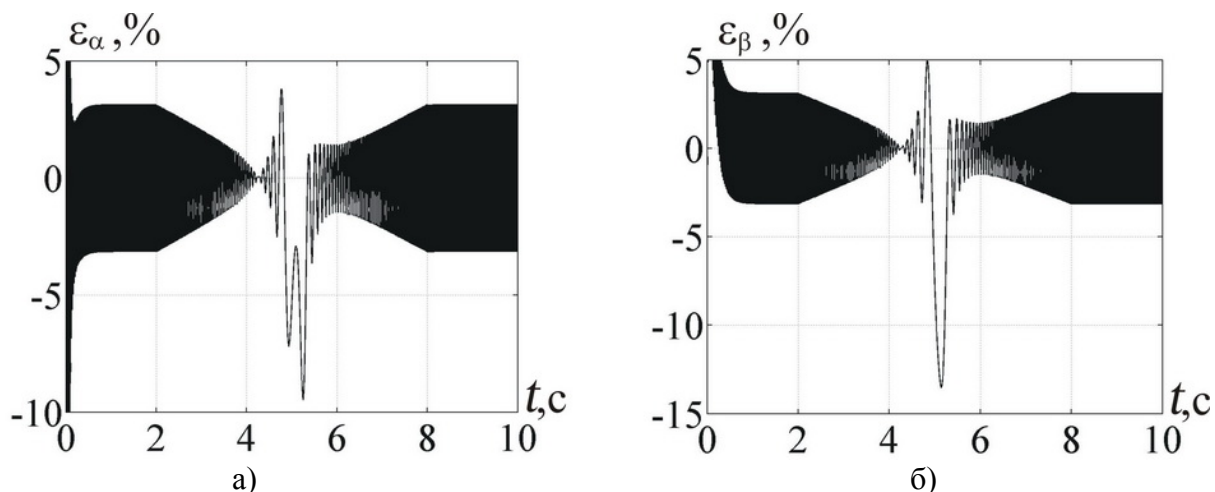


Рис. 5 Результаты моделирования УК:  
а, б – ошибки по каналам  $\alpha$  и  $\beta$  соответственно.

Как видно из рис. 5, компенсационный фильтр работоспособен во всем диапазоне частот  $\pm 50$  Гц, при этом имеет 3% ошибку в амплитуде, обусловленную шумами, имитирующими ШИМ. Компенсационный фильтр снижает амплитуду шумов, при этом практически отсутствуют искажения главной гармоники по амплитуде и фазе. По сравнению с прототипом [3], построенным с помощью фильтра Калмана, разработанный метод отличается алгоритмической простотой (не содержит операций интегрирования и дифференцирования).

**Выводы.** Разработан метод упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых силовыми фильтрами, учитывающий параметры нагрузки. Компенсатор отличается алгоритмической простотой по сравнению с прототипом, построенным с помощью фильтра Калмана. Система компенсации входит в состав основной программы управления ПЧ и не требует дополнительных затрат. Связка компенсатор – пассивный фильтр снижает амплитуду шумов, при этом ошибка главной гармоники по амплитуде не превышает 3% и отсутствует по фазе. Разработанный метод работоспособен в диапазоне частот сигнала от 0 до 50 Гц. Предложенный метод компенсации искажений, обусловленных пассивным фильтром, применим для управления всеми типами двигателей, питаемых от АИН с ШИМ.

The predictive compensation method with load parameters accounting for eliminating distortions of induction motor stator voltage, which brought in the output passive filter, is designed. The proposed compensation method may be used for control of all kind of motors, powered by VSI with PWM. Numerical modeling of serviceability of the designed algorithm has confirmed.

1. Das J.C. Passive Filters – Potentialities and Limitation // IEEE Trans. Ind. Applicat.– 2004.– Vol.40, № 1.– P.232–241.
2. Kojima M., Hirabayashi K., Kawabata Y., Ejiogu E.C., Kawabata T. Novel Vector Control System Using Deadbeat-Controlled PWM Inverter With Output LC Filter // IEEE Trans. Ind. Applicat.– 2004.–Vol.40, № 1.– P.162–169.
3. Salomaki J., Hinkkanen M., Luomi J. Sensorless Control of Induction Motor Drives Equipped With Inverter Output Filter // IEEE Trans. on Ind. Electronics.– 2006.– Vol.53, № 4.– P.1188–1197.
4. Хойджен П. Фильтры для частотных инверторов // Chip News. – 2002. – № 8. – С. 58–60.
5. Потапенко Е.М., Соломаха А.В. Синтез и анализ компенсатора пассивного LC-фильтра на выходе преобразователя частоты // Радиоелектроніка. Інформатика. Управління. – 2007. – №2. – С. 148–151.

## АРХІТЕКТУРА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ І ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІНЕРАЛЬНИХ ВОД

Гульовата Х.Г., Цмоць І.Г., Пелешко Д.Д.

**Вступ.** Багатство надр України на мінеральні води, ненасиченість ринку, зростаюча популярність споживання мінеральних вод сприяє подальшому збільшенню кількості підприємств, які займаються їх добуванням та промисловим розливом. На території Західної України, а особливо Прикарпаття, присутня значна кількість джерел мінеральних вод, які експлуатуються з допомогою спеціалізованих свердловинних установок. Процес видобування та контролю якості мінеральної води здійснюється згідно з нормативною базою, у якій зазначаються кондиційні показники якості мінеральних вод, напрями і способи застосування, висновки щодо можливості їх промислового розливу [1-4].

Безпосередній контроль за видобутком мінеральної води здійснюється за допомогою аналогових телемеханічних систем [5], які на сьогоднішній день є фізично зношеними і морально застарілими. Ці системи не задовольняють сучасних вимог щодо оперативного контролю як характеристик мінеральних вод, так і обладнання, що використовується для їх видобутку.

**Метою дослідження** є розробка архітектури автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод, яка повинна забезпечувати контроль роботи обладнання свердловини, оптимізувати видобуток мінеральної води, покращити процес аналізу її стану за рахунок додаткового параметру контролю індексу структурованості води, який характеризує інформаційну складову мінеральної води [6-8].

### **1. Формування вимог до автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод**

Автоматизована система моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод призначена для виконання двох функціонально розрізних процедур: процесу видобутку та дослідження характеристик мінеральних вод.

**Вимоги до процесу видобутку мінеральних вод** ґрунтуються на особливостях роботи свердловин, швидкодії сприйняття і обробки інформації та полягають у здійсненні: оперативного аналізу роботи обладнання, грозозахисту обладнання, захисті від перевантаження та несанкціонованого доступу та контролі кліматичних умов експлуатації. Окрім цього, у процесі розробки автоматизованої системи необхідно враховувати такі фактори, як технічний рівень, якість, надійність роботи та собівартість підсистеми. Територіальна розосередженість свердловин вимагає включення до складу контрольованих пунктів вузлів діагностики з автоматичною передачею даних на верхній рівень системи. На основі діагностичної інформації слід генерувати рекомендації щодо оптимізації режиму роботи свердловини та здійснювати прогноз роботи глибинного обладнання, на основі якого може вирішуватись задача планування підземних ремонтів і проведення геолого-технічних заходів.

З врахуванням постійного зростання вартості електроенергії доцільною є оптимізація видобутку мінеральної води шляхом зменшення витрат на енергоносії, спрацювання обладнання та збільшення міжремонтного періоду. Для отримання оперативних даних щодо витрат електроенергії необхідно синхронізувати дані давачів зусилля та положення штока насосної установки. Дана інформація повинна доповнюватись командами телеуправління для включення та відключення двигуна, а також даними вузлів контролю, які фіксують спроби несанкціонованого втручання в роботу насосної установки. У процесі видобутку мінеральної води з метою забезпечення нормального функціонування насосної установки, рекомендується здійснювати контроль метеорологічних умов, а саме: атмосферного тиску, температура повітря, рівня опадів тощо. Крім того, така автоматизована сис-

тема може бути використана в системах сповіщення про надзвичайні ситуації (наприклад, повені), забезпечуючи оперативну передачу даних моніторингу.

Таким чином автоматизована система моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод повинна забезпечувати:

- оперативний контроль, телеуправління та аналіз роботи обладнання;
- захист обладнання від перевантаження та несанкціонованого доступу;
- контроль кліматичних умов (атмосферний тиск, атмосферна температура, рівень атмосферних опадів) та введення зображень структури води;
- передачу даних через інформаційний канал на верхній рівень системи і відображення на екранах моніторів групи комп'ютерів у вигляді графіків за заданий період часу;
- архівацію отриманих даних;
- генерацію звітів про результати моніторингу за заданий період часу.

**Вимоги до процесу дослідження характеристик мінеральних вод.** Відповідно до нормативних документів ДСТУ 878-93 „Води мінеральні питні. Технічні умови”, ГСТУ 42.10-02-96 „Води питні мінеральні лікувальні. Технічні умови”, ДСТУ 878 „Води мінеральні природні фасовані. Загальні технічні умови” та СанПіН 2.1.4.1116-02 „Вода фасована” контроль якості питних мінеральних вод доцільно здійснювати за такими фізико-хімічними показниками [1-3,9]: мінералізація; електропровідність; температура; грубодисперсні домішки; органолептичні характеристики (запах, мутність, кольоровість, прозорість), водневий показник (рН), окислювально-відновлювальний потенціал (Еh), кислотність, лужність. Відповідно до [4,10] контроль трускавецьких мінеральних вод здійснюється за двома органолептичними та чотирма узагальненими якісними показниками. Контроль більшості із наведених показників здійснюється в лабораторних умовах і відображається у спеціальному звіті.

Слід зазначити, що жоден із згаданих параметрів не враховує характер структури мінеральної води [11]. Грунтуючись на результатах передових світових досліджень до переліку контрольованих параметрів пропонується віднести ще один – показник структурованості води, який доцільно визначати кристалооптичним методом як індекс симетрії замороженого у лід зразка води [6-8].

Проведений аналіз показує, що автоматизована система моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод повинна здійснювати:

- автоматичне вимірювання температури, рівня і здійснення відбору води в свердловинах;
- передачу даних через інформаційний канал на верхній рівень системи для наступної обробки;
- дослідження фізико-хімічних та органолептичних показників отриманого зразка води;
- дослідження показника структурованості води;
- внесення отриманих показників до бази даних;
- формування звітів про динаміку зміни якісних показників води.

## **2. Вибір принципів побудови автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод**

В основу побудови автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод пропонується покласти принципи, які дозволять зменшити вартість, терміни і розширити галузі їх застосування. Аналіз показує, що забезпечити такі вимоги можна при використанні таких принципів побудови:

- модульності, який передбачає реалізацію основних компонентів автоматизованої системи реалізовані у вигляді функціонально завершених пристроїв;
- змінного складу обладнання, який передбачає наявність ядра системи та змінних модулів;

- конструктивної простоти, при якій реалізація структурних одиниць є максимально простою, що забезпечує легкість створення та нарощування системи;
- відкритості програмного забезпечення автоматизованої системи, що передбачає максимальне використання стандартних драйверів, програмних засобів і забезпечення можливості його нарощування та вдосконалення.

Модульне виконання пристроїв автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод забезпечує можливість поступового розширення можливостей системи без надмірних початкових витрат та використання обладнання в інших галузях, наприклад у системах екологічного моніторингу середовища.

### **3. Архітектура автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод**

Автоматизовану систему моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод пропонується побудувати як трирівневу ієрархічну систему, до складу якого входять уніфіковані блоки керування контрольованих пунктів (КП) і центральний сервер, які з'єднуються між собою за допомогою каналів зв'язку. Детальніше розглянемо склад та функції кожного рівня автоматизованої системи [12,13].

1-й рівень. Локальні засоби керування і захисту свердловинної установки. Вони встановлюються в блоку керування свердловинної установки і забезпечують оперативне відключення установки при аварійних ситуаціях з видачею сигналізації на верхній рівень.

2-й рівень. Засоби оперативного контролю і функціональної діагностики з використанням системи телемеханіки. Первинною інформацією для них є динамограма.

3-й рівень. Алгоритми і програми всебічної діагностики з видачею рекомендацій для покращання режиму роботи насосної установки та засоби контролю та аналізу складу мінеральної води.

Засоби 1-го і 2-го рівнів разом із первинними перетворювачами і телемеханічними каналами зв'язку утворюють автоматизовану систему керування і оперативного контролю за роботою насосних установок з використанням ПК і контролера на базі спеціалізованої автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод [12], що значно підвищує ефективність процесу видобутку мінеральної води та експлуатації існуючого обладнання.

**Структура контрольованого пункту.** КП територіально розташований біля кожної свердловини. Він автономно та циклічно формує інформаційний масив і передає його по виклику від персональний комп'ютер (ПК). Структура КП, який здійснює контроль і керування роботою насосної установки, наведена на рис.1. До складу апаратури КП входять: давачі атмосферного тиску, атмосферних опадів, температури та рівня; електродвигун; блок керування, який складається з пускачів, автоматів для запуску електродвигуна, роз'єднувачів, клеми для зовнішніх підключень давачів, електродвигуна та ліній зв'язку; телемеханічний пристрій який складається з вузлів вводу аналогових сигналів, вводу дискретних сигналів, виводу та контролю команд керування; контролера (вузла центрального процесора); джерела живлення.

**Структура пункту керування.** Діагностика обладнання проводиться на пункті керування. Центральним вузлом блоків керування є контролери виготовлені на базі мікропроцесора AT89C52. Цей процесор має 8 КБайт програмованої флеш-ПЗП, 256 КБайт ОЗП, 32 канали вхід-вихід, три 16-розрядні таймери, шестивекторну дворівневу структуру переривань, повний подвійний послідовний порт і тактовий генератор.

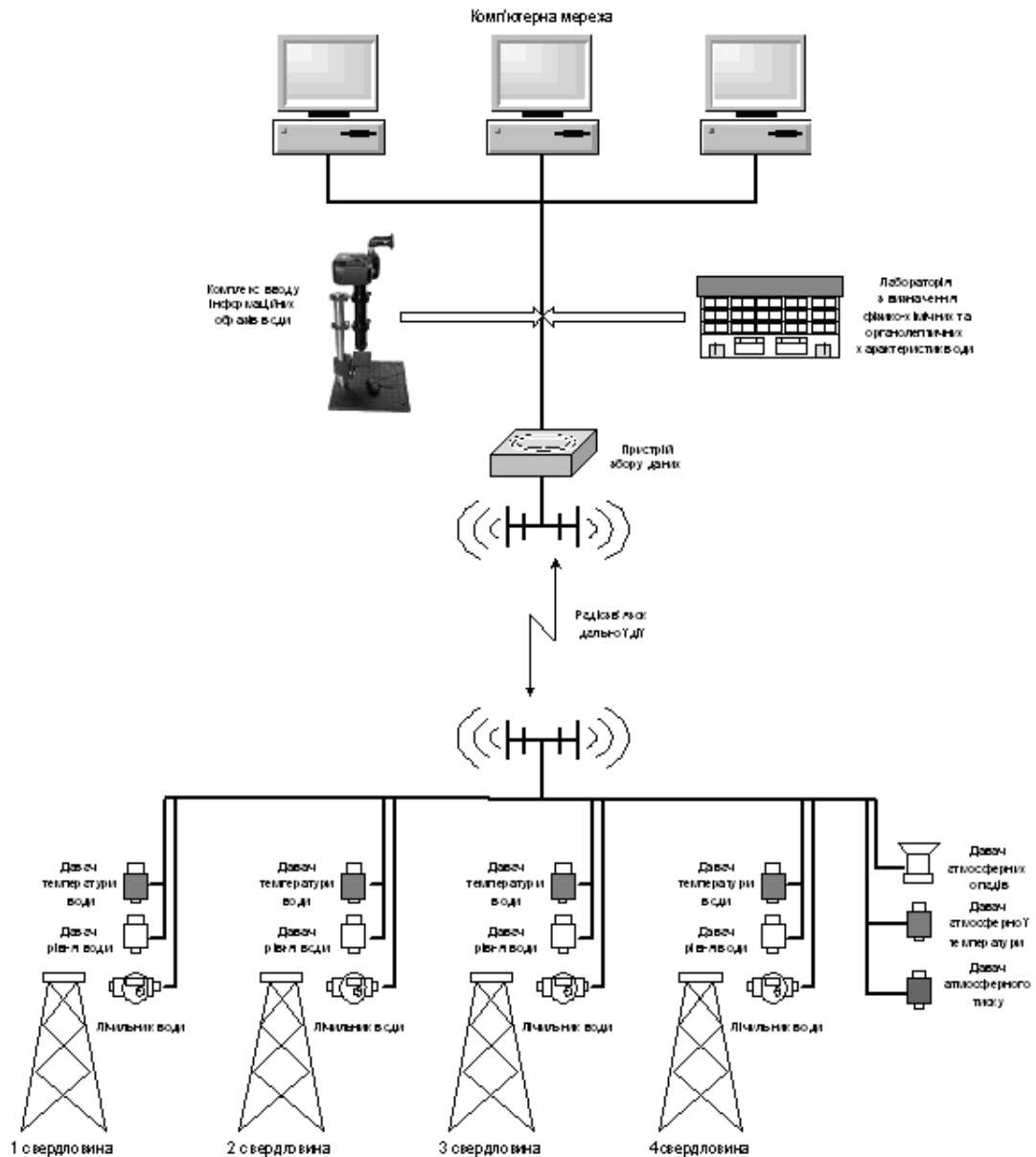


Рис.1 Структура контрольного пункту

Контролери забезпечують:

- перетворення первинної інформації від датчиків;
- формування і видачу повідомлень про аварії на КП з класифікацією та визначенням їх характеру;
- захист електрообладнання при порушенні регламентних режимів роботи;
- сигналізацію про несанкціонований доступ до обладнання КП;
- накопичення даних про біжучі значення контрольованих параметрів за цикл вимірювання;
- підтримання протоколу обміну даними по різних каналах зв'язку;
- функції ретрансляторів при обміні даними між контролерами і сервером.

На диспетчерському пункті (ДП) встановлюється центральний сервер, який керує роботою контролерів. Сервер циклічно опитує всі контролери системи, архівує дані про контрольовані технологічні параметри і режими роботи технологічного обладнання

**Вибір каналів та розробка системи зв'язку.** До ДП може бути підключено від 1 до 32 фізичних ліній зв'язку (фідерів), до кожної з яких, в свою чергу, під'єднується від 1 до 25 КП. На рис.2. наведена структурна схема системи телеконтролю з використанням провідного каналу зв'язку.

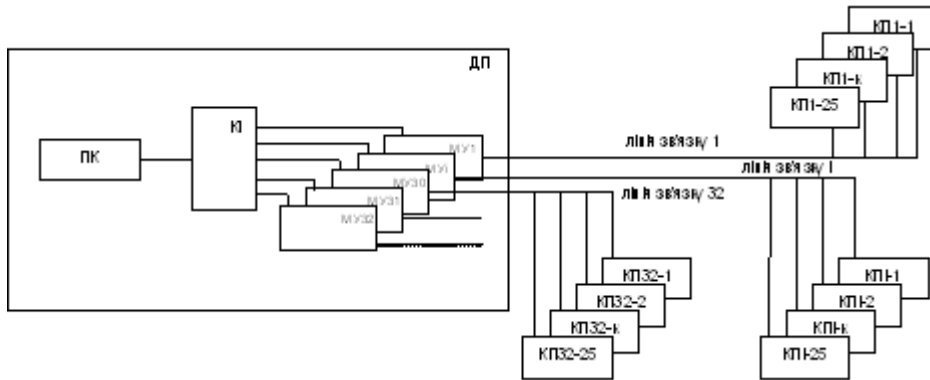


Рис.2 Структурна схема системи телеконтролю з використанням провідного каналу зв'язку

Оскільки якість існуючих промислових провідних ліній є низькою, то перевага надається радіоканалу. Для цього на свердловинах необхідно додатково встановити радіомодеми з вихідною потужністю 5-35 Вт, що працюють в діапазоні ультракоротких хвиль. Структура такої системи показана на рис.3.

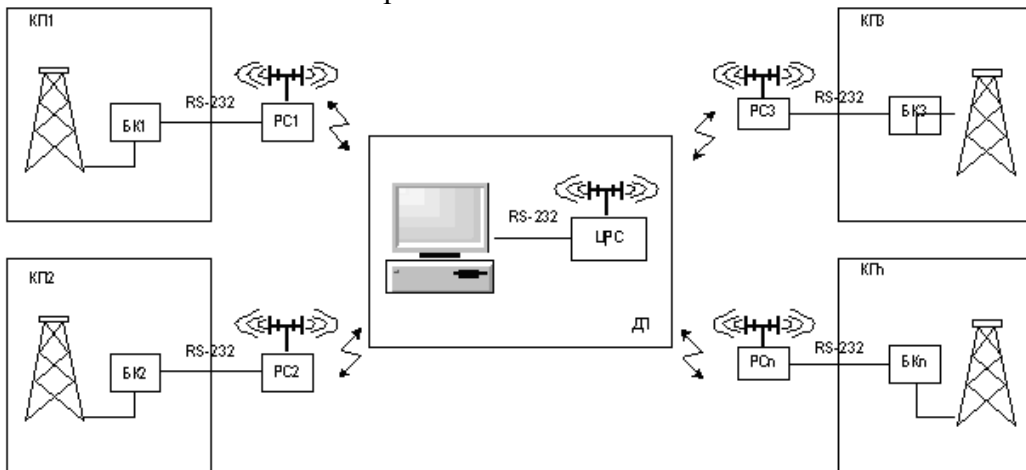


Рис. 3 Структурна схема системи телеконтролю з використанням радіоканалу

Система може мати й іншу структуру побудови, яка залежить від географічного розташування свердловин (свердловини можуть знаходитись у зонах, закритих для проходження радіосигналів) та наявних провідних каналів зв'язку. У цьому випадку для трансляції сигналів може використовуватись радіорелейна лінія і система буде мати комбіновану структуру (рис.4).

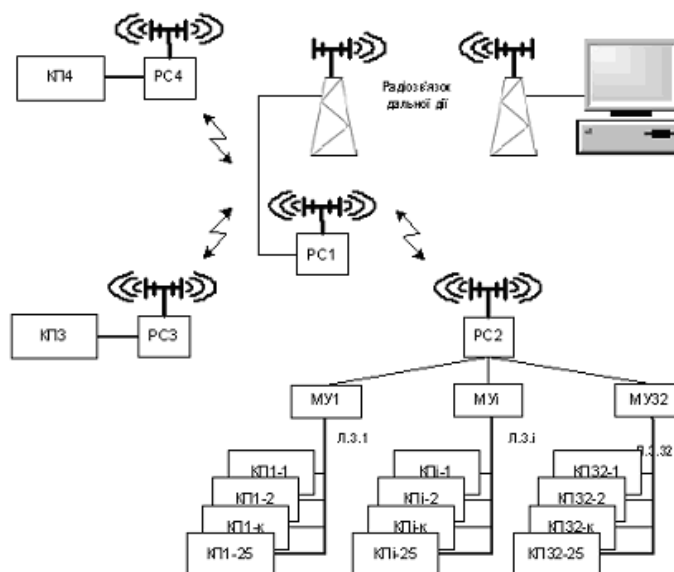


Рис.4 Структурна схема системи з використанням комбінованих каналів зв'язку

Причому, до радіостанції радіорелейної лінії інформація від КП передається частково тільки по радіоканалу (КП3, КП4), а частково з використанням провідних ліній зв'язку, під'єднаних через універсальні модеми до радіостанцій.

До складу комбінованої системи зв'язку входять:

- р/канал дальньої дії і сервер центрального пункту керування ЦПК-р/вежа;
- комбінована мережа, в склад якої входить k каналів р/зв'язку  $PC_0 \Leftrightarrow PC_k$  з переходом через модем універсальний  $MU_k$  (концентратор) на провідний канал зв'язку, до якого послідовно під'єднуються від 2-х до 16 об'єктів КП, компактно розташованих на місцевості. Швидкість обміну інформацією вибирається з врахуванням реального співвідношення робочих сигналів і завад в каналах зв'язку з ряду 50,100,200,300,600,1200 біт/с;
- р/зв'язок  $PC_0 \Leftrightarrow PC_m \Leftrightarrow PC_i$  до окремих об'єктів  $KP_i$ , які знаходяться в закритих зонах проходження р/сигналів, з додатковими функціями ретранслятора сигналів;
- прямий р/зв'язок ближньої дії  $PC_0 \Leftrightarrow PC_n$  для окремих n-об'єктів  $KP_n$ ;

Слід зауважити, що використання кожного з каналів зв'язку має свої переваги та недоліки, тому на нашу думку комбінована структура системи є найбільш оптимальною за ефективністю передачі сигналів в умовах гірської місцевості.

ЦПК забезпечує можливість одночасного використання у системі різних типів каналів: радіозв'язок – провідний зв'язок, та навпаки, при будь-якому співвідношенні кількості каналів кожного типу. Загалом, незалежно від вибраних каналів зв'язку, структурна схема системи автоматизованого контролю має вигляд, наведений на рис.5

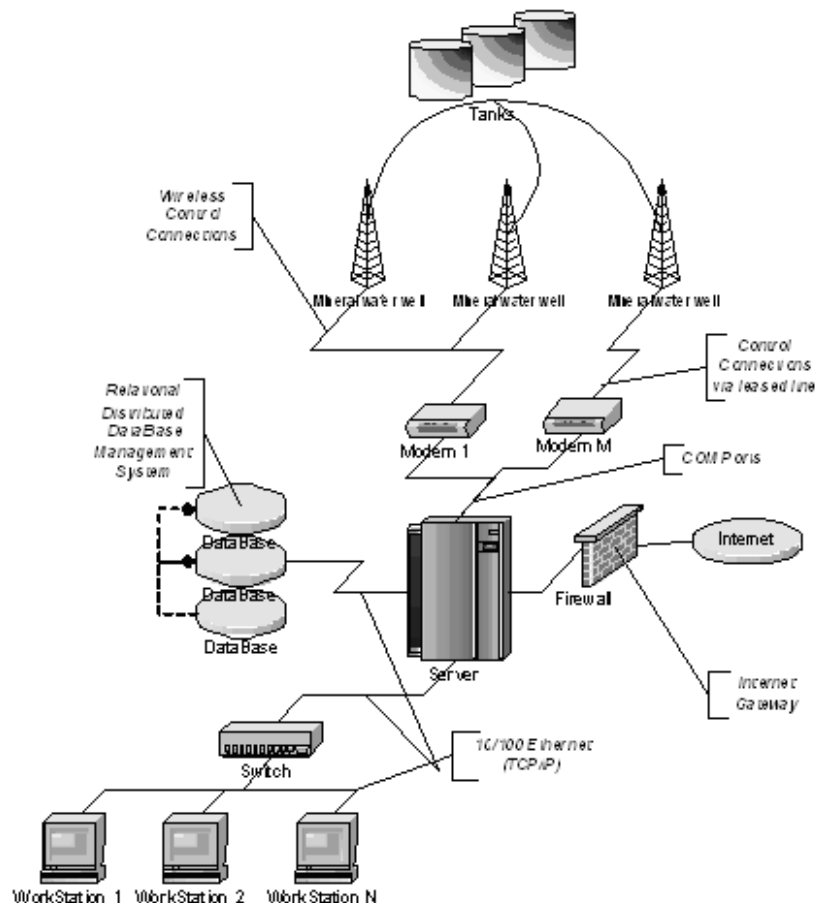


Рис.5 Структурна схема системи автоматичного контролю

Кожен КП, через модеми. (радіо чи лінійні, залежно від географічного розташування свердловини) з'єднується через виділений канал з сервером автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод. На рис.5 це *Wireless Control Connections* та *Control Connections via leased line* відповідно Фізичний зв'язок модемів із сервером забезпечується системою (гідрою) COM-портів.

Логічно програмне забезпечення автоматизованої системи має дві частини: серверну і клієнтську. Серверна частина розміщується на ЦПК, а клієнтська – на робочих місцях користувачів (WorkStations).

Користувачі за допомогою клієнтської частини програмного забезпечення взаємодіють з сервером через локальну мережу (10/100 ТСР/ІР).

Уся інформація, для забезпечення функціонування автоматизованої системи, зберігається в СУБД, яка може бути розподіленою чи віддаленою. В останньому випадку доступ до СУБД також забезпечується засобами ТСР/ІР.

**Структура комплексу вводу інформаційних образів води.** На основі попередніх досліджень виконана розробка вимог до комплексу вводу інформаційних образів води, що є компонентом автоматизованої системи моніторингу і дослідження характеристик мінеральних вод. При проектуванні комплексу застосовувався інтегрований підхід, який охоплює апаратні, алгоритмічні і програмні засоби та сучасну елементну базу. Розроблено структуру програмних та апаратних засобів комплексу, яка наведена на рис. 6.



Рис. 6 Структура програмних і апаратних засобів комплексу вводу інформаційних образів води

Дані, отримані з допомогою комплексу вводу інформаційних образів води, передаються на верхній рівень автоматизованої системи моніторингу і дослідження характеристик мінеральних вод, де здійснюється наступне їх опрацювання. Програмне забезпечення робочої станції комп'ютерної мережі містить такі компоненти:

- інтелектуальні засоби розпізнавання, класифікації, пошуку інформації. Вони реалізовані як програмні засоби пошуку за зразком, класифікації інформаційних образів води з використанням нейронних мереж;
- засоби обробки, аналізу інформаційних образів води, реалізовані як спеціалізовані програмні засоби опрацювання конкретного класу зображень із застосуванням нейронних мереж;
- база даних результатів проведених досліджень з інтелектуальними засобами пошуку зображень та даних. База даних містить інформацію про проведені експерименти, їх параметри, допоміжну інформацію разом із інформаційними образами води.

Застосування комплексу вводу інформаційних образів води у складі автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод дозволить якісніше та різносторонньо проводити дослідження структурних ознак води. Комплекс забезпечить проведення досліджень у контрастно-фазовому режимі за методом темного поля, допоможе систематизувати та класифікувати результати досліджень морфологічних змін кристалів льоду, індукованих різнорідними енергетично-інформаційними впливами.



**Висновки.**

Розроблено архітектуру автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод, яка забезпечує оперативний контроль роботи обладнання свердловини, оптимізує видобуток, покращує оперативний контроль характеристик мінеральної води. Додатково в склад автоматизованої системи введено апаратно-програмні засоби вводу інформаційних образів води, які забезпечують якісніше та різносторонньо проводити дослідження структурних ознак води. Використання розробленої автоматизованої системи забезпечить: зменшення затрат електроенергії, збільшення міжремонтного періоду роботи та підвищення оперативності контролю як обладнання свердловини, так і характеристик мінеральних вод.

There are describe automated control system for the monitoring and research of mineral water. The requirements and construction principles for this system are formulated.

1. ДСТУ 878-93 „Води мінеральні питні. Технічні умови”.
2. ГСТУ 42.10-02-96 „Води питні мінеральні лікувальні. Технічні умови”.
3. ДСТУ 878 „Води мінеральні природні фасовані. Загальні технічні умови”.
4. СанПіН 2.1.4.1116-02 „Вода фасована”.
5. Абрикин А.Л., Хирных Л.А. Телемеханизация добычи нефти. – М.: Гостехиздат, 1962. –289 с.
6. Гочарук В.В., Бердышев Г.Д. Структура воды и ее биологическое значение // Український бальнеологічний журнал, 1999. – Львів. – Т.1. – №1. – С.85-9.
7. Івасівка С., Цмоць І.Г., Гульовата Х.Г. Інформаційна технологія дослідження інформаційних властивостей мінеральних вод // Second International Conference on Computer and Information Technologies for scientist, experts, graduates and undergraduates. – Л.: Вид-во НУ „Львівська політехніка”, 2007. – С.263-264.
8. Гульовата Х.Г., Цмоць І.Г., Войчишин К.С. Інформаційна технологія контролю та дослідження характеристик мінеральних вод // Вісник національного університету „Львівська політехніка” „Комп’ютерні науки та інформаційні технології”. – 2007. – №598. – с. 126-132.
9. В. Гончарук, В. Архипчук, Г. Терлецька, Г. Корчак Комплексна оцінка якості фасованих вод // Вісник НАН України. – 2005. – №3. – С.47-58.
10. В. Шестопалов, Н. Моїсеєва, М. Дружина, Г. Ясевич Лікувальні властивості мінеральних вод типу „Нафтуса” і методи їх консервації // Вісник НАН України. – 2005. – №10. – С.15-25.
11. Antonov A., T. Galabova, Proc. of the 6-th Nat.Confer. on Biomed. Physics and Engeneering, Sofia, Oct.22-24, 1992.- pp. 60-61.
12. Б.Калужний, Д.Пелешко, А.Маляр, Р.Яремко. Проектування системи автоматичного контролю і керування глибиннопомповим видобутком нафти. Технічні вісті, 2002. – 1(14), 2(15) . – С. 87-95.
13. М.Желена. Информационные технологии в бизнесе. – Питер, Москва, 2002. - 1117с.

## ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 681.513.5:664.12

### СИНТЕЗ ТА ПОРІВНЯННЯ БАГАТОВИМІРНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ДЛЯ КОЛОННОЇ ДИФУЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ

Луцька Н.М., Заєць Н.А., Ладанюк А.П.

Останнім часом з'явилося багато розробок, присвячених багатовимірним регуляторам, що пояснюється бурхливим розвитком оптимальних задач та появою високошвидкісних обчислювальних машин, що включені в автоматизовані системи управління технологічними процесами та комплексами. Це відноситься до різних алгоритмів аналітичного конструювання оптимальних регуляторів та робастних задач управління, що побудовані за інтегрально-квадратичним,  $H_2$ - та  $H_\infty$ -критеріями.

Дана стаття є продовженням [1], що порівнює вказані регулятори, включаючи локальні ПІ, але для іншого об'єкта – теплообмінної частини колонної дифузійної установки цукрового виробництва та встановлює умови, при яких той чи інший регулятор має найкращу якість перехідних процесів. Також зроблено висновок про доцільність використання кожного з вказаних регуляторів для даного об'єкта.

Для розуміння подальших викладок на рис.1 зображено технологічну схему дифузійного відділення цукрового виробництва. Відмітимо, що сьогодні в Україні найбільша частка дифузійних апаратів складає колонна дифузійна установка, метою якої є отримання дифузійного соку необхідної якості, що залежить від багатьох технологічних змінних, одна з яких є температурний режим відділення.

На практиці використовуються стандартні ПІ-регулятори за наступними контурами: температура сокостружки в верхній зоні колони – подача пари в підігрівник барометричної води 5; температура сокостружки в середній зоні колони – подача пари в підігрівник соку 2, що рециркулює в ошпарювачі; температура в нижній зоні колони – подача пари в підігрівник циркуляційного соку 3. Особливістю керування температурою полягає тому, що регульовальна дія прикладена не безпосередньо в дифузійний апарат, а в винесені теплообмінники, чим збільшується інерційність та погіршується керованість системи.

На першому етапі синтезу багатовимірних оптимальних регуляторів проводиться вибір об'єкта регулювання, що належить виділеному класу з такими характеристиками: має декілька однакових координат стану однієї фізичної природи; має внутрішні взаємозв'язки між параметрами; описується схожими за структурою математичними моделями; регулюється за однією схемою. На відміну від нахиленої дифузійної установки, де було виділено підсистему температур в зонах апарата, в дифузійному відділенні з колонним дифузійним апаратом не можна обмежити розгляд теплообмінної частини лише температурами в зонах апарату. Тому при виділенні об'єкта оптимального управління розглядається підсистема всіх температур, які входять в дифузійне відділення, включаючи температури в колонній дифузії, в ошпарювачі, в теплообмінниках.

На другому етапі синтезу розробляється математична модель виділеної підсистеми управління.

На основі теплових балансів виведена лінійна математична модель теплообмінної частини дифузійного відділення у вигляді

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= Ax(t) + Bu(t) + Gw(t); \\ y &= Cx(t) + Du(t) + Hw(t) + v(t), \end{aligned} \quad (1)$$

де

$x = [\Delta\theta_{12}, \Delta\theta_6, \Delta\theta_8^2, \Delta\theta_7, \Delta\theta_1^n, \Delta\theta_5^n, \Delta\theta_8^n, \Delta\theta_{n1}, \Delta\theta_{n2}, \Delta\theta_{n3}]^T$  – вектор координат стану, що складається відповідно з температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача; температур сокостружкової суміші по трьом зонам колонного апарата, температур соку та барометричної води після підігрівників та температури пари, що поступає в підігрівники;

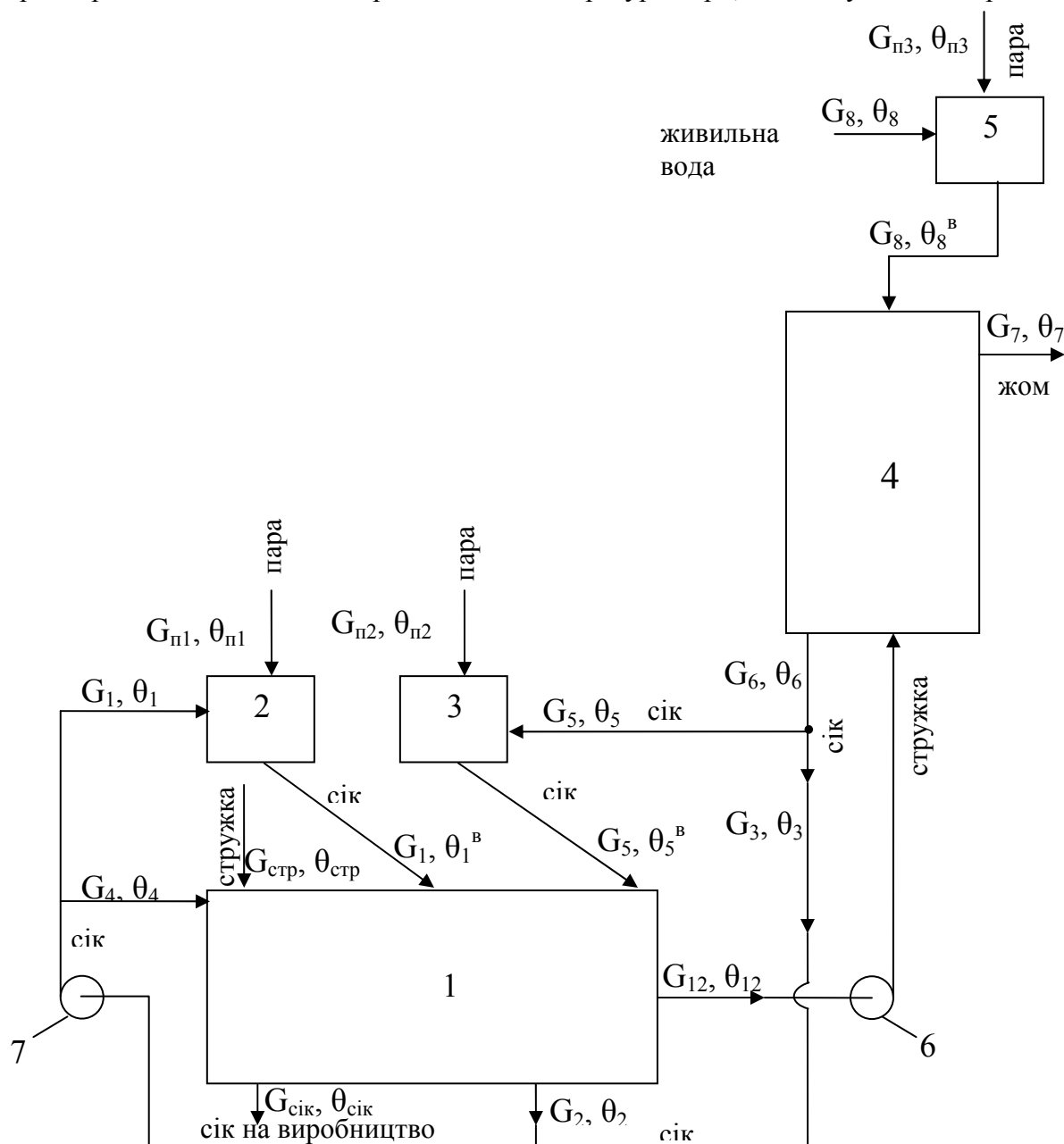


Рис.1 Технологічна схема дифузійного відділення цукрового виробництва: 1-ошпарювач; 2, 3, 5 – підігрівач; 4 – колонна дифузійна установка; 6, 7 – насос

$u = [\Delta G_{n1}, \Delta G_{n2}, \Delta G_{n3}]^T$  – вектор управління, що складається з витрати пари у відповідних підігрівниках;

$w = [\Delta\theta_{11}, \Delta G_{11}, \Delta\theta_{cmp}^n, \Delta G_{12}, \Delta G_6, \Delta\theta_1, \Delta G_1, \Delta\theta_5, \Delta G_5, \Delta\theta_8, \Delta G_8, \Delta G_2]^T$  – вектор вхідних збурень, де  $\Delta G_{11}, \Delta G_{12}, \Delta G_6, \Delta G_1, \Delta G_5, \Delta G_8, \Delta G_2$  - витрати відповідно сокостружкової суміші, що поступає в середню частину ошпарювача та колонний апарат; ба-

шенного соку; соку поперечного потоку; соку, що поступає в мішалку ошпарювача, барометричної води, соку поперечного потоку що виробляється з ошпарювача;  $\Delta\theta_{11}, \Delta\theta_{cmp}^n, \Delta\theta_1, \Delta\theta_5, \Delta\theta_8$  - температури сокостружкової суміші в шахті ошпарювача, стружки з пульполовушки, соку поперечного потоку перед підігрівником, соку, що йде в мішалку ошпарювача перед підігрівником, барометричної води перед підігрівником відповідно;

$y = x$  – вектор вимірювань (всі температури вимірюються);

$v$  – вектор випадкових збурень по каналу вимірювання, вибирається як такий, що залежить від похибки первинного та вторинного приладу та каналів зв'язку;

$$A = \begin{bmatrix} -0.2618 & 0 & 0 & 0 & 0.2356 & 0.1963 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0.0341 & -0.0750 & 0.0400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.0310 & -0.0696 & 0.0385 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0300 & -0.0669 & 0 & 0 & 0.0364 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -3.3670 & 0 & 0 & 0.0167 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -2.8058 & 0 & 0 & 0.0167 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1.6056 & 0 & 0 & 0.0155 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16250 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16250 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -19500 \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 14167 & 0 & 0 \\ 0 & 15000 & 0 \\ 0 & 0 & 30000 \end{bmatrix};$$

$$G = \begin{bmatrix} 0.0654 & 0.2378 & 0.0007 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0.0153 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0003 & 0.0001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0003 & 0.0008 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -0.0018 & 0.0051 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.3503 & -0.5825 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2.7891 & -0.4854 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5900 & 11.7164 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16.250 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16.250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 19.500 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$

$C$  – одинична матриця розмірності  $10 \times 10$ ;  $D$  – нульова матриця розмірності  $10 \times 3$ ;  $H$  – нульова матриця розмірності  $10 \times 12$ .

Для лінійної моделі об'єкта (1) додамо рівняння, що описує вектор регульованих виходів

$$z = C_Z x, \text{ де } C_Z = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

На третьому етапі синтезу багатовимірних регуляторів на основі теорії LQ-, LQG-,  $H_2$ -,  $H_\infty$ -регуляторів [2] розраховуються параметри регулятора  $A_c, B_c, C_c$  зі структурою (крім LQ-алгоритму)

$$\frac{dx_c(t)}{dt} = A_c x_c(t) + B_c y(t); \quad (2)$$

$$u(t) = C_c x_c(t).$$

Моделювання проводимо при умовах, що максимально наближені до виробничих (величини змінних вибираються за статистичним аналізом, що проведений на реальному об'єкті):

- збурення – детермінований сигнал;
- збурення – випадковий сигнал, розподілений за нормальним законом, з нульовим математичним сподіванням;
- при ненульових початкових умовах.

На рис.2 зображено перехідні процеси при дії всіх збурень на систему у вигляді ступінчастого сигналу. Найкращу якість перехідних процесів (статична та динамічна похибка, час регулювання) отримали при використанні системи з LQ-, LQG-алгоритмами, найгіршу – з ПІ-регулятором.

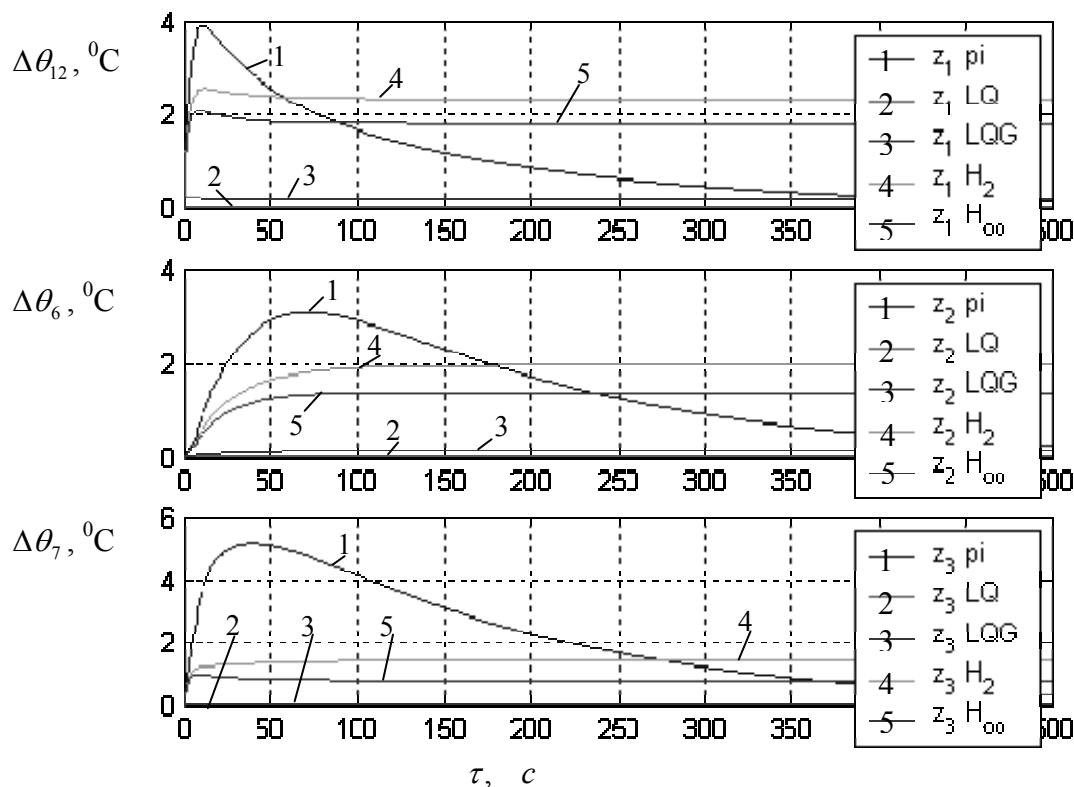


Рис.2 Перехідні процеси зміни температури при збуренні – детермінований сигнал

На рис.3. зображено реакцію системи на випадковий сигнал. Найкращу якість перехідних процесів також отримали при використанні системи з LQ-, LQG-алгоритмами, а найгіршу – з ПІ-регулятором.

При реакції системи на ненульові початкові умови (рис.4) спостерігається погіршення якості перехідних процесів в системі з LQ-регулятором, так як алгоритм це не передбачив, але в порівнянні з системою з ПІ-регулятором, дана система є кращою.

**Висновки.**

1. Показано, що для об'єктів, в яких можна виділити кілька однакових підсистем можна використати один багатовимірний регулятор.
2. оскільки особливістю об'єкта є неповна керованість, то співвідношення якості перехідних процесів розглянутих систем з різними регуляторами відносно збурень не співпадає з загальними висновками для таких регуляторів.

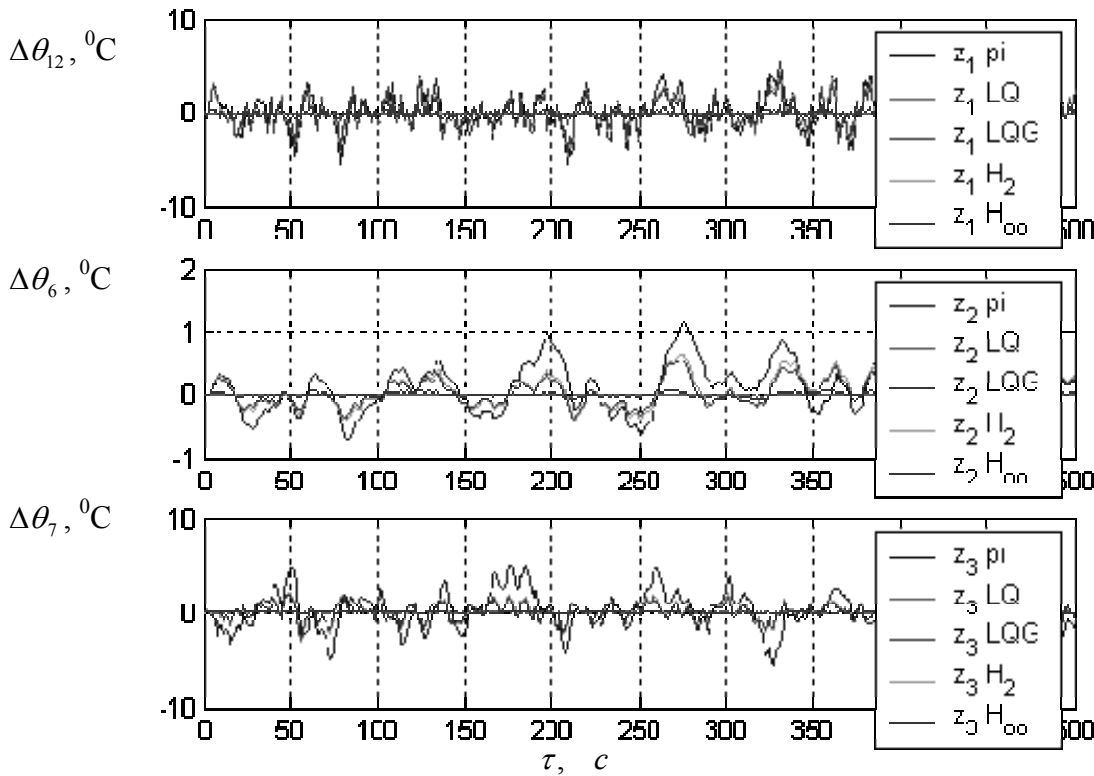


Рис.3 Перехідні процеси зміни температури при збуренні – випадковий сигнал

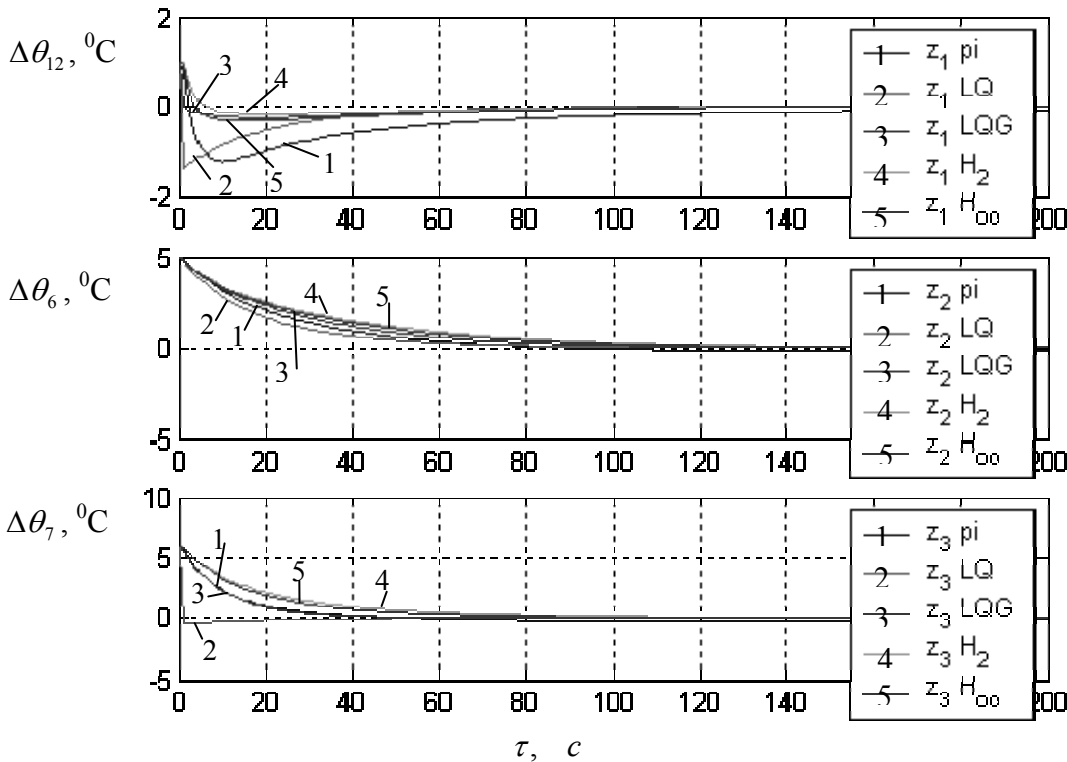


Рис.4. Перехідні процеси зміни температури при ненульових початкових умовах.

In work local PI-regulators and multidimensional regulators which are built after LQ-, LQG-, H<sub>2</sub>-, H<sub>∞</sub>- is compared by algorithms on an object is heat-exchange part of diffusive separation of saccharine production which consists of the columnar diffusive setting, scalded and warmly-exchange. Advantages and lacks of the use are shown to each of the systems of automation at different indignations.

1. Луцкая Н.Н., Ладанюк А.П. Использование оптимальных регуляторов для многомерных технологических объектов // Проблемы управления и информатики. – 2007. – № 2. – с. 56-63.

2. Пупков К.А., Егупов Н.Д. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления. – М.: Изд-во МГТУ, 2001. – 744с.

УДК 628.543.49

## МІНІМІЗАЦІЯ ТОКСИЧНОСТІ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ ТА ВТРАТ ТЕПЛОТИ У ТОПКОВИХ ПРИСТРОЯХ З РЕЦИРКУЛЯЦІЄЮ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ НА ОСНОВІ УЗАГАЛЬНЕНОГО КРИТЕРІЮ ОПТИМІЗАЦІЇ

Бакшанська Т.Д., Рижиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К.

Оптимізація процесу спалювання природного газу за допомогою сучасних систем автоматичного управління горінням з корекцією за вмістом кисню або продуктів недопалу, які виходять з топкових пристроїв, будуються з урахуванням утворення в процесі горіння токсичних компонентів продуктів згорання [1]. Додатковим регулюючим впливом в таких системах крім співвідношення „паливо-повітря” може бути рециркуляція продуктів згорання [2].

Таким чином, задача управління процесом горіння може бути класифікована як багатокритеріальна, а система управління, яка реалізує цю задачу може бути віднесена до оптимальних МІМО – систем.

Згортка критеріїв на основі узагальненого критерію оптимізації, вираженого через склад продуктів згорання має вид:

$$I = \sqrt{(I_E - I_E^*)^2 + (I_T - I_T^*)^2} \quad (1)$$

де  $I_E = \frac{H_2}{H_2^{\text{дон}}} + \frac{CO}{CO^{\text{дон}}} + \frac{O_2}{O_2^{\text{дон}}}$  - локальний критерій, що характеризує економічність процесу горіння,

$H_2$ ,  $CO$ ,  $O_2$  - концентрація водню, оксиду вуглецю та кисню у димових газах;

$H_2^{\text{дон}}$ ,  $CO^{\text{дон}}$ ,  $O_2^{\text{дон}}$  - допустимі значення концентрацій відповідних компонентів.

$I_T = \frac{CO}{CO^{\text{ГПВ}}} + \frac{NO}{NO^{\text{ГПВ}}}$  - локальний критерій, що характеризує токсичність процесу горіння,

де  $CO$ ,  $NO$  - поточне значення оксиду вуглецю та оксиду азоту;  $CO^{\text{ГПВ}}$ ,  $NO^{\text{ГПВ}}$  - гранично допустимі викиди відповідних компонентів;

$I_T^*$ ,  $I_E^*$  - значення критеріїв мінімізації при вирішенні приватних задач:

$$I_E \rightarrow \min \quad (2)$$

$$I_T \rightarrow \min \quad (3)$$

Критерій (1) має сенс мінімальної відстані між крапкою в просторі приватних критеріїв і „ідеальною крапкою”  $I^* = (I_T^*, I_E^*)$  [3].

Процедура пошуку оптимального за співвідношенням „паливо - повітря”, яке визначається коефіцієнтом надлишку повітря  $\alpha$  з рециркуляцією продуктів згорання режиму горіння при виборі критерію у формі (1) складається з двох етапів.

По-перше, визначити координати „ідеальної” крапки  $I^*$  у просторі приватних критеріїв, тобто вирішення приватних задач (2), (3).

По-друге, вирішити задачу мінімізації узагальненого критерію  $I(1)$ , з урахуванням зв'язків у виді математичної моделі, яка побудована за допомогою метода розрахунку рівноважних продуктів реакцій, що дозволяє отримати достатньо докладний склад димових газів [4]. Математична модель є системою з трьох груп рівнянь хімічної рівноваги: рівнянь дисоціації, матеріального балансу та рівняння закону Дальтона. Для розрахунку температури горіння ці рівняння необхідно доповнити рівнянням енергетичного балансу топкового пристрою [5].

Усі складові узагальненого критерію оптимізації вимагають знання практично повного складу димових газів. Для дослідження процесу горіння з рециркуляцією продуктів згорання використовувалась модель горіння природного газу Шебелинського родовища [2] в топці котла парогазового блоку потужністю 250 МВт.

Для визначення токсичної складової  $I_T$  векторного критерію  $I$  необхідно визначити значення ГПВ токсичних компонентів.

Величина ГПВ визначена з вираження, яке виведено з формули для розрахунку висоти димаря [6]:

$$H = \left( \frac{A \cdot M \cdot F \cdot m \cdot n}{ГПК_q} \cdot \sqrt[3]{\frac{z}{V_1 \cdot \Delta T}} \right)^{0.5} \quad (4)$$

Прийнявши сумарну кількість шкідливої речовини, що викидається в атмосферу  $M$  рівним ГПВ, можна за допомогою формули (4) вирішити зворотну задачу: якими повинні бути викиди при відомій висоті димаря, щоб концентрація токсичної речовини в зоні викидів не перевищила ГПК. При цьому одержимо вираз

$$C_q^{ГПВ} = \frac{ГПК_q \cdot H^2}{A \cdot F \cdot m \cdot n} \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{z}} \quad (5)$$

де  $H$  – висота димаря, м;

$ГПК_q$  – гранично припустимі концентрації  $q$ -го компонента, що лімітує чистоту повітряного басейну;  $A$  – коефіцієнт, який залежить від температурної стратифікації атмосфери для несприятливих метеорологічних умов, що визначає умови вертикального і горизонтального розсіювання шкідливих речовин в атмосферному повітрі;

$F$  – коефіцієнт, який враховує вплив швидкості осадження домішок (для газоподібних шкідливих речовин  $F=1$ );

$m, n$  – коефіцієнти, що враховують умови виходу газоповітряної суміші з устя джерела викиду;

$V_1$  – об'ємна витрата газів, що ідуть, що викидаються  $м^3/с$ ;

$z$  – число димарів однакової висоти, установлених на електростанції.

Коефіцієнт  $m$  визначається в залежності від параметра  $f$

$$m = (0.67 + 0.1\sqrt{f} + 0.34\sqrt[3]{f})^{-1} \quad (6)$$

Де  $f$ :

$$f = \frac{10^3 \cdot w_0^2 \cdot D_0}{H^2 \cdot \Delta T} \quad (7)$$

де  $\Delta T$  – різниця між температурою газів, що виходять з топкових пристроїв, і середньою температурою повітря  $T_{II}$ , під якою розуміють середню температуру самого жаркого місця опівдні,  $^{\circ}C$ ;

$D_0$  – діаметр устя димаря, м;

$w_0$  – швидкість виходу газів з устя димаря, м/с.

Коефіцієнт  $n$  визначається в залежності від параметра  $V_M$

$$V_M = 0.65 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_1 \cdot \Delta T}{H}} \quad (8)$$

при  $V_M = 0.3, n = 3,$



при  $0.3 < V_M \leq 2$ ,  $n = 3 - \sqrt{(V_M - 0.3) \cdot (4.36 - V_M)}$ ,

при  $V_M > 2$ ,  $n = 1$ .

Аналіз залежностей (4) – (8) показує, що основними факторами, які впливають на величину ГПВ токсичних компонентів, є навантаження котла, коефіцієнт надлишку повітря  $\alpha$ , ступень рециркуляції та кількість котлів, що викидають продукти згорання в один димар.

Схема алгоритму розрахунку ГПВ токсичних компонентів за рівняннями (4) – (8) представлена на рисунку 1.

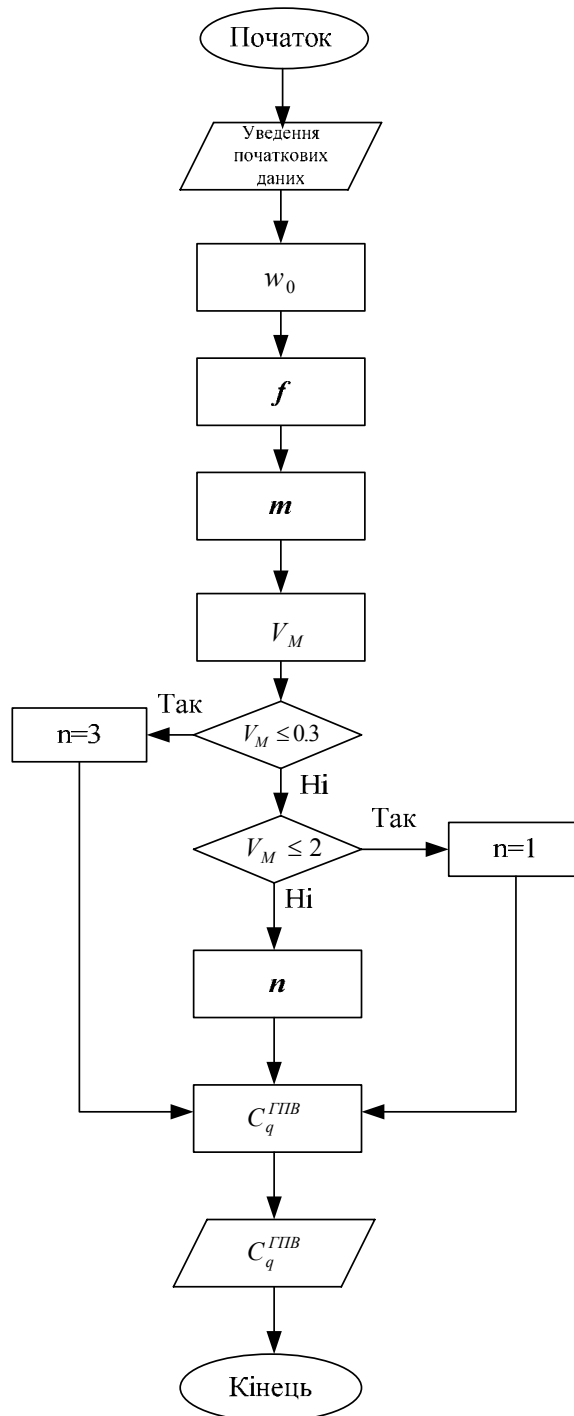


Рис. 1 Алгоритм розрахунку ГПВ токсичних компонентів димових газів

Приклад залежності ГПВ від коефіцієнту надлишку повітря при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання, приведені на рисунку 2.

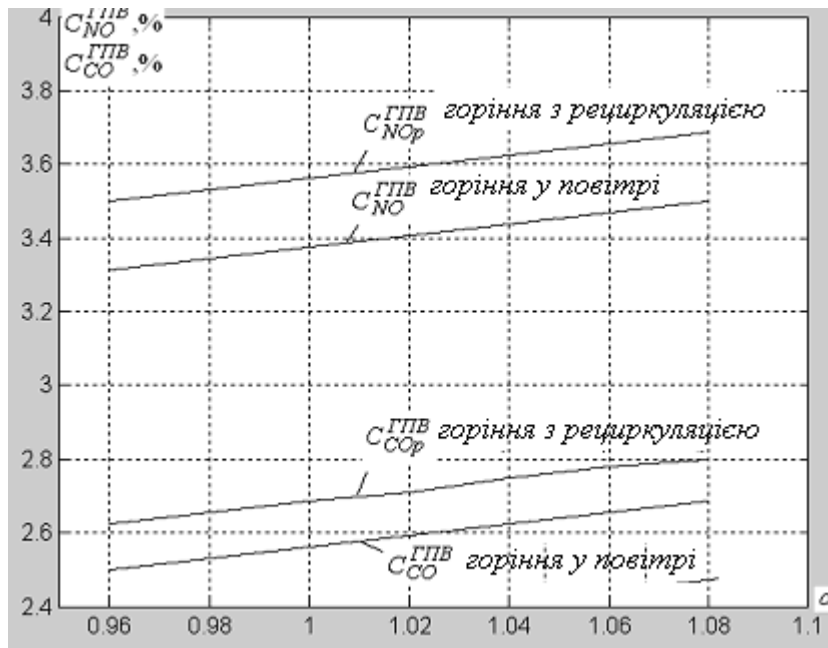


Рис. 2 Залежність гранично припустимих викидів (ГПВ) токсичних компонентів продуктів згорання від коефіцієнта надлишку повітря при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання

Як видно з рисунку 2, ГПВ токсичних компонентів димових газів лінійно залежать від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$  при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання, крім того, вплив  $\alpha$  на зміну ГПВ незначний, що дозволяє прийняти значення ГПВ постійними для всієї області змін  $\alpha$ . У зв'язку з тим, що оптимальне значення  $\alpha^*$  лежить в області, близької до  $\alpha=1$ , значення ГПВ варто вибирати відповідно цієї області.

Вибір вектора допустимих значень концентрацій для нормалізації  $I_E$  здійснюється з рішення задачі мінімізації паливних утрат  $q = q_2 + q_3$

$$q(\alpha) \rightarrow \min \tag{9}$$

за умови, що  $q_3 \leq q^{don}$ .

Тут  $q_2$  і  $q_3$  – відносні втрати тепла відповідно з газами, що викидаються, і хімічним недопалом,  $q_3^{don}$  - припустиме значення втрат тепла з хімічним недопалом,  $\alpha$  - коефіцієнт надлишку повітря.

Втрати тепла з газами, що викидаються,  $q_2$ , або фізичне тепло продуктів горіння, що залишають агрегат, залежать в основному від температури газів і їхнього об'єму. Чим нижче температура газів, що виходять з топкового пристрою, тим менше тепла буде втрачатися з ними, тому варто прагнути до зниження в розумних межах цієї температури.

Втрати тепла з газами, що викидаються, при спалюванні палива з надлишком повітря ( $h > 1$ ) визначаються за формулою

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_p^p} \cdot 100 = \frac{Q_{y2} - \alpha_{y2} \cdot Q_{x8}^0}{Q_p^p} \cdot 100, \% \tag{10}$$

де  $Q_p^p$  — тепло на 1 кг палива;

$Q_{y2}$  — ентальпія газів, що виходять з топкових пристроїв при відповідном коефіцієнті надлишку повітря  $\alpha$  та температури газів, що виходять  $\vartheta_{y2}$ ;

$Q_{x8}^0$  - ентальпія холодного повітря, що поступає у котел.

$$Q_{y2} = (V_{cz} \cdot C_{cz} + V_{ВП} \cdot C_{ВП}) \cdot \vartheta_{y2} \tag{11}$$

де  $V_{cz}$  та  $V_{ВП}$  - об'єми сухих газів та водяної пари в газах, що виходять з топкових пристроїв;

$C_{cz}$  та  $C_{ВП}$  - теплоємність сухих газів та водяної пари.

$$Q_{xв} = (C_{xв} \cdot t_{xв} + 0.0016 \cdot d_B \cdot i_{xв}) \cdot V^0 \alpha \quad (12)$$

де  $C_{xв}$ ,  $t_{xв}$  - теплоємність та температура холодного повітря;

$d_B$  - вологовміст сухого повітря;

$i_{xв}$  - ентальпія водяної пари;

$V^0$  - теоретично необхідна кількість повітря для спалювання 1 кг палива.

Значення відповідних втрат від хімічної неповноти згорання визначаються по вмісту продуктів недопалу ( $CO, H_2$ ) у димових газах [3]

$$q_3 = \frac{Q_3}{Q_p^p} = \frac{V_{cz} (30.18 \cdot CO + 25.79 \cdot H_2)}{Q_p^p} \cdot 100\% \quad (13)$$

Усі значення величин, що входять до рівнянь (10)...(13) можуть бути визначені з математичної моделі процесу горіння [2]. Виключення складає температура димових газів  $\vartheta_{yz}$ , яка визначається вимірюванням безпосередньо на об'єкті.

Аналіз залежності втрат теплоти від коефіцієнта надлишку повітря при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання показує, що значення  $\alpha$ , оптимальне з погляду мінімуму суми втрат  $q_2 + q_3$ , не залежить від  $\vartheta_{yz}$ , тому що залежність  $q_2(\alpha)$  лінійна за  $\alpha$ , а  $q_3(\alpha)$  не залежить від  $\vartheta_{yz}$ . Отже, рівність нулю похідної  $d(q_2 + q_3)/d\alpha$  досягається при тому самому значенні  $\alpha$ . Ця обставина дозволяє визначити припустимі значення концентрацій  $H_2^{don}$  і  $CO^{don}$ , що характеризують втрати окислювача, у такий спосіб:

$$H_2^{don} = \arg \min q(H_2, CO, O_2, \alpha),$$

$$CO^{don} = \arg \min q(H_2, CO, O_2, \alpha),$$

$$O_2^{don} = \arg \min q(H_2, CO, O_2, \alpha).$$

На підставі математичного моделювання процесу горіння, вибору ГПВ токсичних компонентів, припустимих значень концентрацій компонентів продуктів згорання, що характеризують економічність процесу горіння проведені розрахункові дослідження залежності приватних критеріїв  $I_E$ ,  $I_T$  та рециркуляції продуктів згорання від коефіцієнта надлишку повітря  $\alpha$ .

Розрахунок приватних складових критерію оптимальності статичної оптимізації процесу горіння за алгоритмом, який розглянуто вище, є наведеним на рисунку 3.

Аналіз залежностей (рисунок 3) показує, що процеси горіння оптимальні з погляду економічності і зменшення викидів лежать в області значень  $\alpha > 1$ . Причому, для зниження токсичності димових газів необхідно зменшити  $\alpha$  стосовно значення, що характеризує економічність процесу. Це дозволяє зробити попередній висновок про те, що керування горінням з урахуванням зменшення токсичності димових газів вимагає більшої точності ніж загальновідоме керування, яке здійснюється лише з урахуванням економічності процесу.

Після рішення задач (2) і (3), можна перейти до рішення задачі мінімізації узагальненого критерію  $I$ , що з урахуванням обмеження на припустимі втрати з хімічним недопалом записується в такий спосіб

$$I = \sqrt{(I_E - I_E^*)^2 + (I_T - I_T^*)^2} \rightarrow \min \quad (14)$$

Приклад рішення задач (2) – (3) і розрахованого на їх підставі узагальненого критерію (14) є наданим на рисунку 4.

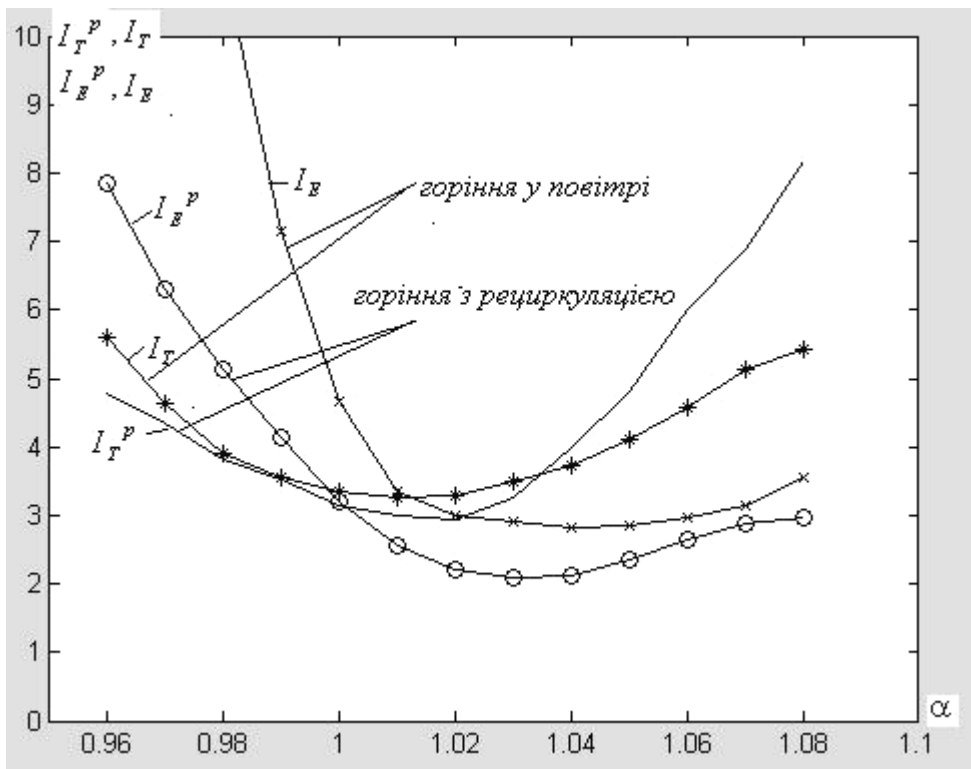


Рис. 3 Залежність приватних критеріїв від коефіцієнта надлишку повітря при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання

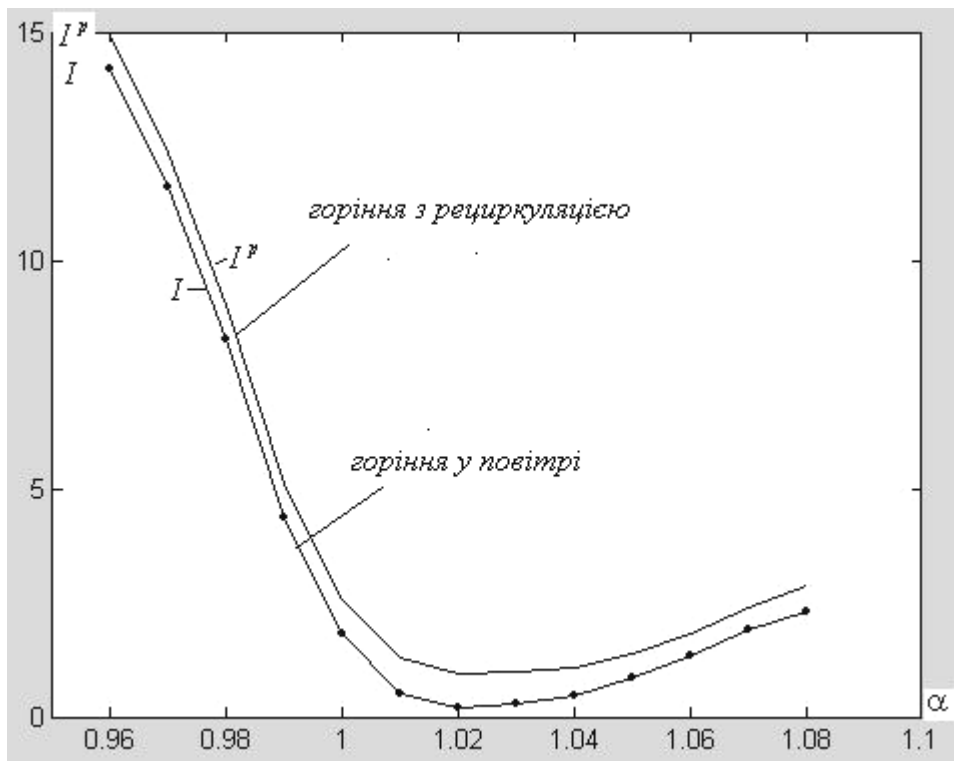


Рис 4 Залежність узагальненого критерію оптимізації від коефіцієнта надлишку повітря при горінні у повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання

Аналіз залежності квадратичного узагальненого критерію від  $\alpha$ , розрахованих для горіння в повітрі та з рециркуляцією продуктів згорання, показує, що область припустимих значень  $\alpha$  істотно звужується порівняно з загальновідомим керуванням лише з урахуванням економічності процесу. Цей критерій найбільш чутливий до зміни  $\alpha$ , і дає ком-

промисне рішення, найбільш близьке до „ідеальної” крапки  $I^*$ . Оптимальне значення коефіцієнту надлишку повітря  $\alpha^*$  для розглянутих умов не змінюється. Узагальнений критерій для розглянутих умов є унімодальним, що дозволяє при вирішенні задачі оптимізації використовувати стандартні алгоритми.

In the paper the packaging procedure of private criteria which are characterized by the losses of heat in the furnace devices and diminishment of toxic components of products of combustion is explored solving the optimization problem of gas incineration from the recirculation of combustion products. The generalized criterion, for the examined terms, has only one extremum, that allows to use standard algorithms solving the optimization problem.

1. Бакшанская Т.Д., Рижиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К. Регулирование экономичности процесса горения в топках паровых котлов. –Научно-технический сборник «Энергосберегающие технологии в теплоэнергетике - 2007». – Одесса.: 2007. – С.3-8.
2. Бакшанська Т.Д., Рижиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К. Розрахункові дослідження процесу горіння природного газу з рециркуляцією продуктів згорання для цілей управління. - Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. – Херсон.: 2007. - №2 (20). - С. 44-52 .
3. Гаврилов В.М. Методы многокритериальной оптимизации.– М.:МАДИ, 1982.- 76с.
4. Киреев В.А. Методы практических расчетов в термодинамике химических реакций. – М. Химия, 1975.
5. Рыжиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К. Минимизация токсичности выбросов при управлении сжиганием мазута в топках паровых котлов. Сб. научных трудов №109. – М. Моск. энерг. ин-т, 1986. С. 44-50.
6. Рихтер Л.А., Волков З.П., Покровский В.Н. Охрана водного и воздушного бассейнов от выбросов ТЭС. – М.: Энергоиздат, 1981. - 296 с

# МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 519.7

## ОБ ОБЕСПЕЧЕНИИ СХОДИМОСТИ ПРОЦЕССА АДАПТАЦИИ ПОСРЕДСТВОМ ВОСПРОИЗВЕДЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ В ОБРАТНОМ ВРЕМЕНИ

Клименко А.К.

**1. Наличие проблемной ситуации.** Известны автоматизированные технологические объекты (АТО), в которых управление осуществляется по циклически повторяющимся программам. Примерами таких АТО являются металлорежущие станки с программным управлением и станы горячей прокатки. Управляющие программы готовятся в условиях неполной информации об объекте управления и возмущающих воздействиях. Поэтому требуется корректировка управляющих программ как во время их разработки, так и в процессе эксплуатации. Системы, в которых осуществляется такая корректировка, называются системами с изменяемой программой [1], самонастраивающимися системами «от детали к детали» [2], системами с самоустанавливающейся программой [3] и адаптивными системами [4]. В данной статье будем называть их системами с адаптивной корректировкой управляющих программ.

Имеется ряд работ, в которых рассматриваются вопросы осуществления систем с адаптивной корректировкой управляющих программ, сходимости процессов в них и достигаемой точности. Но нет законченных и эффективных технических решений. Поэтому системы с адаптивной корректировкой управляющих программ не нашли промышленного применения.

В данной работе поставлены задачи эффективного решения проблемы осуществления рассматриваемых адаптивных систем с обеспечением устойчивости их работы и получением желаемых показателей качества.

**2. Анализ известных решений и применение их к постановке задачи.** Для пояснения известных технических решений на рис.1 приведена общая структурная схема адаптивной системы. На ней символами УП и АТО обозначены соответственно управляющая программа и автоматизированный технологический комплекс.

Система по рис.1 работает следующим образом.

При корректировке текущей программы используется информация об ошибках в предыдущих циклах ее воспроизведения. Эти ошибки суммируются с исходной программой при помощи накапливающего сумматора.

Корректировка программ в общем случае осуществляется по формуле

$$c_v(t) = c_{v-1}(t) - \gamma_v f\{\varepsilon_{v-1}(t)\}, \quad 0 \leq t \leq T_1, \quad (1)$$

где  $t$  – время,  $v$  – номер цикла воспроизведения программы,  $T_1$  – длительность программы,  $c_v(t)$  – корректирующий сигнал,  $\gamma_v$  – коэффициент усиления в контуре адаптивной корректировки,  $\varepsilon_{v-1}(t)$  – ошибка предшествующего цикла воспроизведения управляющей программы,  $f\{\cdot\}$  – функция, определяемая этой ошибкой и обеспечивающая сходимость процесса ее минимизации.

Ошибки изготовления деталей состоят из регулярной и случайной составляющих. Последняя является центрированной аддитивной. Источником ее могут выступать как процесс обработки деталей сложной формы, так и ошибки автоматического измерения размеров последних.

В дальнейшем будем пользоваться следующим выражением для общей ошибки воспроизведения программы  $\nu$ -го цикла:

$$\varepsilon_\nu(t) = \bar{\varepsilon}_\nu(t) + \tilde{\varepsilon}_\nu(t),$$

где  $\bar{\varepsilon}_\nu(t)$  и  $\tilde{\varepsilon}_\nu(t)$  – соответственно регулярная и случайная составляющие.

Целью адаптации является формирование корректирующего сигнала, устраняющего регулярную составляющую ошибки и/или сводящего к минимуму средний квадрат общей ошибки  $M\{\varepsilon_\nu(t)^2\} \rightarrow \min$  при  $\nu \rightarrow \infty$ . Для этого требуется сходимость процесса (1).

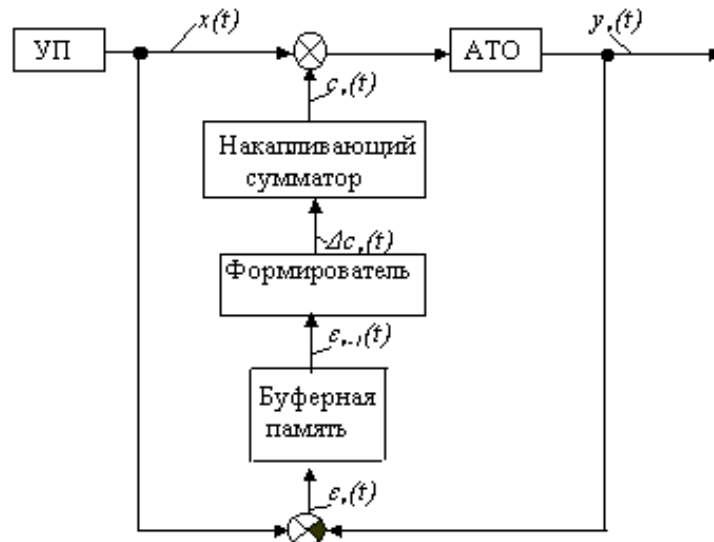


Рис.1. Общая структурная схема системы с адаптивной корректировкой управляющей программы.

Коэффициент усиления  $\gamma_\nu$  в процессе (1) может быть как постоянным, так и изменяющимся от цикла к циклу. Последнее необходимо для обеспечения устойчивости при наличии случайных возмущений. В случае наличия только регулярной составляющей ошибки сходимость процесса может быть обеспечена и при постоянстве коэффициента  $\gamma_\nu$ .

В работах [3,5] рассмотрена корректировка управляющей программы, представленной в дискретном времени. Квантование программы по времени облегчает решение задач, но не было получено результатов, пригодных для эффективного применения.

В [5] рассматривается сходимость процесса при отсутствии внешних помех. Показано, что при выборе оптимального коэффициента усиления для полной корректировки программы число циклов самонастройки должно быть равно числу тактов дискретного времени в программе. Это число для практики является неприемлемо большим. Кроме того, после окончания процесса адаптации остаются существенные ошибки в промежутках дискретного времени.

В работе [6] исследованы системы программного управления с непрерывным представлением управляющей информации. Показано, что процесс самонастройки в этом случае сходится только в области низких частот. Ошибка управления уменьшается при первых циклах воспроизведения программ и неограниченно растет в последующих циклах. Возникла проблема нахождения технических решений двух задач: расширить полосу час-

тот, в которой процесс сходится, и повысить эффективность самонастройки при ограниченном числе циклов. Таких решений предложено не было и самонастраивающиеся системы (СНС) этого типа не нашли промышленного применения.

В работе [7] предложен способ обеспечения сходимости процесса посредством использования дискретной обратной модели. Но, как известно, идеальная обратная модель реального объекта физически неосуществима, а применение приближенных обратных моделей не всегда обеспечивает получение ожидаемого положительного результата.

Результаты упомянутых выше работ были использованы при решении поставленной в данной работе проблемы.

Как показано в [6] Андрейчиковым Б.И., необходимым и достаточным условием сходимости при непрерывной форме представления адаптивной информации является выполнение неравенства

$$|G(j\omega)| = |1 - W(j\omega)| < 1, \quad 0 \leq \omega < \infty, \quad (2)$$

где  $W(j\omega)$  - амплитудно-фазовая характеристика (АФХ) АТО,  $G(j\omega)$  — АФХ АТО по ошибке,  $\omega$  - частота.

Условие (2) не может быть выполнено в неограниченной полосе частот. В реальных следящих системах фазовое запаздывание АФХ увеличивается с повышением частоты. Поэтому частотный годограф  $G(j\omega)$ , как показано на рис.2, в полосах высоких частот выходит за пределы окружности единичного радиуса в нарушение условия сходимости (2). Это препятствует практическому применению адаптивных систем рассматриваемого класса при непрерывном представлении информации в контуре адаптации.

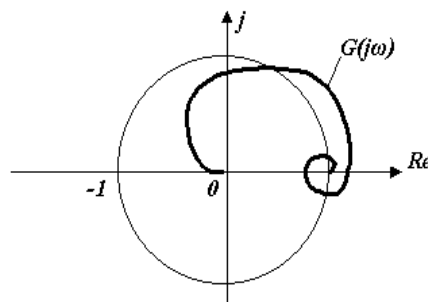


Рис.2. Амплитудно-фазовая характеристика по ошибке АТО

В данной работе, как и у Андрейчикова Б.И., использован частотный метод получения условия сходимости процесса адаптации, но уже при новом техническом решении.

При решении задачи определения условий сходимости процесса адаптации при дискретном представлении информации использована приведенная в [8] зависимость между импульсной переходной функцией АТО в дискретном времени и его АФХ..

**3. Постановка задачи.** Рассматривается проблема обеспечения сходимости процесса адаптации управляющих программ в предположении, что АТО является непрерывным, а управляющая программа может быть как непрерывной, так и квантованой по времени. Влияние случайных возмущающих воздействий на сходимость не рассматривается.

Для выхода из проблемы предлагается следующее техническое решение.

Сигнал ошибки каждого цикла воспроизведения программы можно рассматривать как спектр гармоник. Каждая гармоника имеет фазовое запаздывание, увеличивающееся с увеличением частоты. Именно это фазовое запаздывание делает невыполнимым условие сходимости (2) для системы по рис.1. Техническим решением проблемы является устранение фазового запаздывания в цепи зарегистрированной ошибки путем пропускания последней через АТО в обратном по времени направлении. Возникающее в обратном времени фазовое запаздывание относительно реального времени становится фазовым опереже-



нием. Поэтому общий фазовый сдвиг каждой гармоники ошибки из подаваемых на накапливающий сумматор становится равным нулю относительно управляющей программы.

В качестве АТО рассматривается станок с числовым программным управлением, на котором обрабатываются детали сложной формы. Как известно [9], измерение ошибок управления может осуществляться без съема детали со станка в промежутках между циклами воспроизведения управляющей программы, когда вместо режущего инструмента устанавливается измерительная головка. Погрешности обработки определяются с использованием специальной измерительной программы, в качестве которой используется исходная рабочая программа, но воспроизводимая в обратном времени.

К числу рассматриваемых задач относятся:

- техническое решение адаптивной системы с использованием в качестве измерительной программы рабочей программы посредством ее воспроизведения в обратном времени;
- определение параметров контура адаптации, обеспечивающих сходимость процесса при непрерывной форме представления информации;
- оценка применимости полученного результата к системам с квантованным по времени представлением информации в контуре адаптации.

Задача обеспечения сходимости процесса адаптации при работе в условиях случайных возмущений в данной работе не рассматривается.

**4. Изложение материалов исследования.** Для решения этой проблемы предлагается следующее техническое решение. Ошибка текущего воспроизведения программы, используемая для корректировки программы следующего цикла воспроизведения, пропускается через объект управления или его модель в обратном по времени направлении и подается на накапливающий сумматор через безынерционное усилительное звено.

Структурная схема предлагаемой адаптивной системы в режиме измерения ошибки приведена на рис.3.

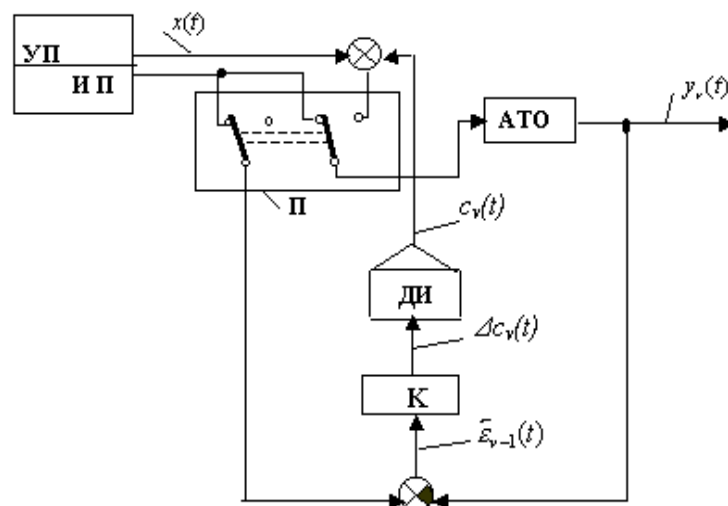


Рис.3. Структурная схема предлагаемой системы в режиме измерения.

Символами на схеме обозначены: УП и ИП – соответственно рабочая и измерительная программы, П – переключатель режимов работы системы «измерение – обработка», ДИ – дискретный интегратор, К – коэффициент усиления безынерционного звена,  $\bar{\varepsilon}_{v-1}(t)$  – измеренная в обратном времени ошибка предшествующего воспроизведения программы.

Переключатель П на схеме изображен в положении режима измерения. В этом случае на вход АТО и на вход элемента сравнения поступает измерительная программа в обратном времени. При втором положении переключателя происходит обработка очередной детали. При этом на вход АТО одновременно поступают исходная управляющая программа УП и уже сформированный сигнал адаптивной коррекции  $c_v(t)$ .

Рассмотрим вопросы математического описания ошибки, измеренной в обратном времени, и сходимости процесса адаптации в системе по рис.3.

Предполагаем, что АТО является непрерывной следящей системой с постоянными параметрами и описывается АФХ, которая может быть представлена в виде:

$$W(j\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)}, \quad (3)$$

где  $\omega$  – частота,  $\varphi(\omega)$  – фазо-частотная характеристика,  $A(\omega)$  – амплитудно-частотная характеристика, удовлетворяющая условию

$$0 \leq A(\omega) < \infty.$$

Входное воздействие АТО можно представить как сумму гармонических составляющих и ограничиться рассмотрением поведения системы относительно одной гармоники.

При прохождении гармоники через АТО в прямом времени его АФХ имеет вид (3). При прохождении этой же гармоники в обратном времени амплитудно-частотная характеристика не изменится, а фазо-частотная изменит знак на обратный. Поэтому при измерении детали по программе в обратном времени АФХ АТО получит вид:

$$\bar{W}(j\omega) = A(\omega)e^{-j\varphi(\omega)}.$$

Пусть после обработки очередной детали до её измерения имеем ошибку

$$\varepsilon_v(j\omega), \quad (4)$$

которая после измерения в обратном времени, с учетом изменения знака в схеме сравнения, преобразуется к виду:

$$\bar{\varepsilon}_v(j\omega) = -\varepsilon_v(j\omega)A(\omega)e^{-j\varphi(\omega)}.$$

Приращение корректирующего сигнала для последующей обработки детали, подаваемое на вход дискретного интегратора ДИ, имеет вид:

$$\Delta c_v(j\omega) = K\bar{\varepsilon}_v(j\omega) = -K\varepsilon_v(j\omega)A(\omega)e^{-j\varphi(\omega)}. \quad (5)$$

Назначением приращения (5) является устранение ошибки (4) при последующей обработке детали.

Сигнал компенсации ошибки, порождаемый прохождением приращения (5) через АТО, после преобразований с использованием выражений (3) и (5) получает вид:

$$\Delta c_{v+1}(j\omega) = \Delta c_v(j\omega)W(j\omega) = -K\varepsilon_v(j\omega)[A(\omega)]^2.$$

Ошибка детали (4) после корректировки приращением (5) :

$$\varepsilon_{v+1}(j\omega) = \varepsilon_v(j\omega) + \Delta c_{v+1}(j\omega) = \varepsilon_v(j\omega)\{1 - K[A(\omega)]^2\} \quad (6)$$

Выражение в квадратных скобках можно рассматривать как амплитудно-фазовую характеристику по ошибке последовательности действий «измерение – безынерционное звено – воспроизведение скорректированной программы»

$$\bar{G}(j\omega) = 1 - K[A(\omega)]^2. \quad (7)$$

Характеристика  $\bar{G}(j\omega)$  не содержит мнимой составляющей.

В адаптивной системе по рис.3 можно на основании ошибки текущей детали по выражению (6) определить ошибку обработки следующей детали.

Формулу (6) можно преобразовать для определения ошибки обработки детали любого номера, если известна ошибка первой детали:

$$\varepsilon_v(j\omega) = \varepsilon_0(j\omega)[\bar{G}(j\omega)]^v = \varepsilon_0(j\omega)\{1 - K[A(\omega)]^2\}^v, \quad (8)$$

где  $v$  – номер цикла корректировки программы.

Из зависимостей (7) и (8) следует условие сходимости процесса в адаптивной системе по рис.3. Процесс сходится, если амплитудно-фазовая характеристика по ошибке  $\bar{G}(j\omega)$  на комплексной плоскости не выходит за пределы окружности единичного радиуса:

$$|\bar{G}(j\omega)| = |1 - K[A(\omega)]^2| < 1, \quad 0 \leq \omega < \infty. \quad (9)$$

Выполнение условия сходимости (9) обеспечивается простым выбором коэффициента усиления звена К в пределах

$$0 < K < 2/[A(\omega)]^2. \quad (10)$$

Условия (9) и (10) в общем случае выполнимы в неограниченной полосе частот. На рис.4 показан вид амплитудно-фазовой характеристики  $\bar{G}(j\omega)$  на комплексной плоскости при выполнении условия (10).

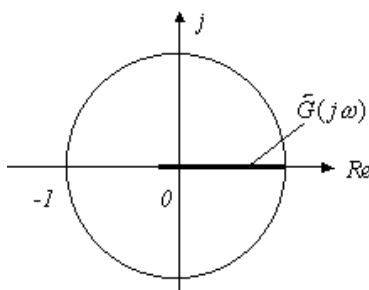


Рис.4 Амплитудно-фазовая характеристика по ошибке адаптивной системы по рис.3

Коэффициент усиления, ограничиваемый по величине выражением (10), влияет как на обеспечение сходимости процесса адаптации, так и на скорость сходимости. Процесс сходится за один цикл на частотах, для которых выполняется условие:

$$K = \frac{1}{[A(\omega)]^2}. \quad (11)$$

Коэффициент усиления может быть как постоянным, так и изменяющимся. Уменьшение его от цикла к циклу требуется, например, для обеспечения сходимости в условиях помех.

Таким образом, в рассматриваемой адаптивной системе решена проблема обеспечения сходимости в предположении, что как объект управления, так и контур адаптации, непрерывны во времени. В наше время для управления используется преимущественно компьютерная техника, работающая в дискретном времени. Поэтому представляют интерес задачи обеспечения как сходимости процессов адаптации, так и скорости сходимости в случае, когда АТО непрерывен, а информация адаптации квантована по времени.

Эти задачи можно решить способом, аналогичным изложенному выше. Для этого требуется получить математические выражения для амплитудно-фазовой характеристики АТО в обратном времени.

Поступаем следующим образом. В качестве исходного математического описания АТО принимаем его переходную характеристику в непрерывном времени  $h(t)$ , которая может быть получена из передаточной функции при помощи обратного преобразования Лапласа или найдена экспериментально. Затем задаемся дискретностью времени Т и находим числовой массив импульсной переходной функции АТО в дискретном времени:

$$k(n) = h(t)|_{t=nT} - h(t)|_{t=nT-T}, \quad n \in [0, N_1], \quad (12)$$

где n – дискретное время,  $N_1$  – время затухания.

Как показано в [8], для АТО, описываемого импульсной переходной функцией (12), АФХ в дискретном времени может быть получена в виде:

$$W(j\bar{\omega}) = \sum_{n=0}^{N_1} k(n) \cos(\bar{\omega}n) - j \sum_{n=1}^{N_1} k(n) \sin(\bar{\omega}n), \quad 0 \leq \bar{\omega} \leq 2\pi, \quad (13)$$

где  $\bar{\omega}$  - приведенная к дискретному времени частота ( $\bar{\omega} = \omega T$ ).

АФХ  $W(j\bar{\omega})$  является периодической функцией приведенной частоты  $\bar{\omega}$  и повторяется с интервалом  $2\pi$ .

Для удобства дальнейших выкладок выражение для АФХ АТО (13) можно привести к виду, аналогичному для АФХ в непрерывном виде (3):

$$W(j\bar{\omega}) = M(\bar{\omega}) + jN(\bar{\omega}) = A(\bar{\omega})e^{j\varphi(\bar{\omega})}, \quad (14)$$

где  $M(\bar{\omega})$  и  $N(\bar{\omega})$  – соответственно действительная и мнимая части выражения (13),

$A(\bar{\omega})$  и  $\varphi(\bar{\omega})$  – амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики.

Поскольку формулы (3) и (14) близки к идентичности, на основании выкладок, аналогичных приведенным выше, можно получить и выражения для ошибок корректировки и условия сходимости процесса в системе с квантованием адаптивной информации по времени.

АФХ по ошибке комплекса «измерение—безынерционное звено—обработка»

$$\bar{G}(j\bar{\omega}) = 1 - K[A(\bar{\omega})]^2, \quad 0 \leq \bar{\omega} \leq 2\pi.$$

Ошибка обработки детали по скорректированной программе:

$$\varepsilon_{v+1}(j\bar{\omega}) = \varepsilon_v(j\bar{\omega}) \{1 - K[A(\bar{\omega})]^2\} = \varepsilon_0(j\bar{\omega}) \{1 - K[A(\bar{\omega})]^2\}^v.$$

Условие сходимости

$$|\bar{G}(j\bar{\omega})| = |1 - K[A(\bar{\omega})]^2| < 1, \quad 0 \leq \bar{\omega} \leq \pi. \quad (15)$$

Уменьшенный интервал частот в дискретном времени, достаточный для выполнения условия сходимости (15), объясняется тем, что график АФХ  $\bar{G}(j\bar{\omega})$  в диапазоне  $\pi \leq \bar{\omega} \leq 2\pi$  является зеркальным отображением его же на интервале  $0 \leq \bar{\omega} \leq \pi$ .

В переводе на частоту в непрерывном времени диапазон сходимости в (15) может быть записан в виде  $0 \leq \omega \leq \pi/T$ , где  $T$  – дискретность времени.

Рассматриваемый способ обеспечения сходимости процесса адаптации может быть реализован на средствах дискретной вычислительной техники с использованием компьютерной алгебры в качестве математического аппарата.

**5. Экспериментальная часть.** Полученные результаты подтверждены электронным моделированием. При этом были использованы специально разработанные программы.

## 6. Выводы по результатам исследования и перспективы.

6.1. Использование измерительной программы в обратном времени обеспечивает сходимость процесса адаптации независимо от формы представления информации в контуре адаптации. Для достижения сходимости достаточно выбора коэффициента усиления контура адаптации в широких пределах (10).

6.2. Предлагаемый способ обеспечивает и возможность получения высокой скорости сходимости процесса адаптации независимо от того, непрерывна или квантована по времени информация. Величина скорости определяется простым выбором коэффициента усиления  $K$  и зависит от полосы частот, в которой требуется устранение ошибок. В полосе пропускания АТО, где преобладает полезная информация, оптимальная величина  $K$  близка к единице. Если АТО обладает колебательностью, в районе резонансной частоты величина коэффициента усиления должна быть уменьшена в соответствии с зависимостью (11). С ростом частоты за полосой пропускания АТО, где преобладают помехи, скорость адаптации быстро падает, что полезно. В полосе частот, где модуль АФХ АТО равен нулю, процесс адаптации не выполняется и не может расходиться.

6.3. Недостатком рассматриваемого способа обеспечения сходимости процесса адаптации является потеря рабочего времени АТО на измерение ошибок полученных деталей в паузах между циклами их обработки. Из-за этого недостатка ограничивается целесообразное количество циклов адаптации при отладке вновь разработанных программ.

Но этого недостатка можно избежать в том случае, когда ошибки программы могут измеряться одновременно с ее воспроизведением. Примерами могут служить прокатные станы или металлорежущие станки, в которых регистрируются текущие отклонения технологических параметров от желаемых. В этом случае зарегистрированная ошибка пропускается в обратном времени не через сам АТО, а через его модель. Моделирование может выполняться в ускоренном машинном времени. Исследования в этом направлении представляют интерес.

The problem of maintenance of convergence of process in system with adaptive updating cyclically repeating controlling programs is considered. The method of the problem solving is reproduction of the measuring program in return time. The method can be applied both to continuous systems and to systems with quantified on time representation of the information.

1. Ивахненко А.Г. Техническая кибернетика. К: Гостехиздат УССР, 1959. – 423 с.
2. Кобринский А.Е., Колискор А.Ш., Левковский Е.И., Попов В.Е., Сергеев В.И. Самонастраивающаяся система программного управления станками // Вестник АН СССР, 1965, №9. – С. 52-57.
3. Перельман И.И. Регулирование по принципу самоустанавливающейся программы // Автоматика и телемеханика. – 1958, №9. – С. 813-823.
4. Цыпкин Я.З. Адаптация и обучение в автоматических системах. – М.: Наука, 1968. – 400 с.
5. Перельман И.И. Самонастраивающаяся программа как средство для получения заданной реакции на выходе линейного динамического объекта регулирования // Автоматика и телемеханика. – 1958. – №4. – С.312-320.
6. Андрейчиков Б.И. Динамическая точность систем программного управления станками. – М.: Машиностроение, 1964. – С.242-267.
7. Клименко А.К. О сходимости процесса адаптации в цифровых системах программного управления станками. // Сб. «Адаптивные системы управления металлорежущими станками» / Под ред. А.Е. Кобринского, Сер. С—1. — М.: НИИМАШ, 1971. – С.58-67.
8. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – С.361.
9. Клименко А.К., Кожушков Н.П. Об автоматическом измерении на станках с ПУ погрешностей обработки деталей // Сб. “Числовые системы автоматического управления машинами”.- К.: Техніка,1975. – С. 83-85.

АДАПТИВНАЯ ПЕРЕСТРОЙКА ЦИФРОВОГО ФИЛЬТРА В СИСТЕМЕ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Малахов В.П., Ситников В.С., Яковлева И.Д.

В процессе функционирования системы автоматического управления, содержащей цифровой фильтр, возникает задача оперативного изменения характеристик фильтра к изменениям входного сигнала, например, коэффициент усиления, частоту среза, полосу пропускания. В этом случае частотная характеристика фильтра автоматически регулируется, обеспечивая заданные свойства системы. Гибкость характеристик, присущая перестраиваемым и адаптивным фильтрам, широко используется в различных технических системах, например, в эхоподавлении сигналов в телефонии, обработки сигналов в радиолокационных и гидроакустических системах, в выделении биомедицинских сигналов на фоне других сигналов и т.д. [1].

При построении перестраиваемых фильтров обычно используют нерекурсивные фильтры высокого порядка, что усложняет их реализацию и подстройку. Это обусловлено тем, что у нерекурсивных фильтров отсутствует проблема устойчивости передаточной функции [2,3]. Применение адаптивных алгоритмов для перестройки характеристик рекурсивных фильтров имеет ряд ограничений. Прежде всего, это проблемы устойчивости передаточной функции и ограничения диапазона изменения управляемого параметра, а также линейность управления.

Рассмотрим возможность применения адаптивных алгоритмов для перестройки рекурсивного фильтра низкого порядка и их влияния на общий порядок фильтра, рис. 1.

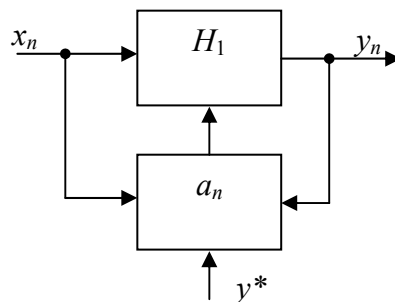


Рис. 1 Перестраиваемый цифровой фильтр

$x_n$  — входной сигнал;  $y_n$  — выходной сигнал;  $y^*$  — внешнее управляющее воздействие;  $a_n$  — коэффициенты алгоритма подстройки

Для цифрового рекурсивного фильтра первого порядка справедливо разностное уравнение:

$$y_n = b \cdot y_{n-1} + a_n \cdot x_n, \tag{1}$$

где  $y_{n-1}$  — выходной сигнал фильтра в  $n-1$  момент времени;  $b$  — весовой коэффициент.

Для изменения коэффициента  $a_n$  цифрового фильтра (рис. 1) воспользуемся известными адаптивными алгоритмами по методу наименьших квадратов, поскольку они нашли широкое применение при обработке сигналов, имеют не высокую вычислительную сложность и требования к памяти. Это такие алгоритмы как адаптивные алгоритмы по методу наименьших квадратов (LMS — Least Mean Square) и его варианты - алгоритмы со знаком сигнала данных (SD LMS — Sign-Data LMS), алгоритмы со знаком сигнала ошибки (SE LMS — Sign-Error LMS), алгоритмы со знаком сигнала данных и знаком сигнала ошибки (SS LMS — Sign-Sign LMS) [4].

Алгоритм подстройки коэффициента цифрового фильтра  $a_n$  по методу наименьших квадратов обычно имеет вид:

$$a_n = d \cdot a_{n-1} + \alpha \cdot e_n, \quad (2)$$

где  $\alpha$  – шаг подстройки;  $d$  – весовой коэффициент;  $a_n, a_{n-1}$  – коэффициенты цифрового фильтра в  $n$  и  $n-1$  моменты времени;  $e_n = y^* - y_n$  — сигнал ошибки.

Тогда перестраиваемый цифровой фильтр будет описываться системой уравнений:

$$\begin{cases} y_n = b \cdot y_{n-1} + a_n \cdot x_n \\ a_n = d \cdot a_{n-1} + \alpha \cdot e_n \\ e_n = y^* - y_n \end{cases}, \quad (3)$$

переходя к изображениям через Z-преобразование, получим:

$$\begin{cases} Y(z)(1 - bz^{-1}) = A(z)X(z) \\ A(z)(1 - dz^{-1}) = \alpha E(z) \\ E(z) = Y^* - Y(z) \end{cases}. \quad (4)$$

После преобразований передаточная функция рекурсивного фильтра будет иметь вид:

$$H_1(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{1}{1 - bz^{-1}} A(z) = \frac{\alpha}{(1 - bz^{-1})(1 - dz^{-1})} E(z). \quad (5)$$

Поскольку ошибка в пределе стремиться к заданному значению  $e_n|_{\infty} \rightarrow \beta$ , то и его Z-преобразование будет стремиться  $E(z) \rightarrow \beta$ , тогда выражение (5) можно привести к виду:

$$H_1(z) = \frac{\alpha\beta}{1 + C_1 z^{-1} + C_2 z^{-2}}, \quad (6)$$

где  $C_1 = -(b + d)$ ;  $C_2 = bd$ ;  $b$  и  $d < 0$ .

Следует отметить, что применение алгоритма адаптации для перестройки коэффициента усиления цифрового фильтра привело к повышению порядка передаточной функции устройства в целом (6), т.к. исходный фильтр имел передаточную функцию первого порядка (1).

Обобщая полученный результат можно показать, что при перестройке цифрового фильтра  $N_1$  порядка вида

$$y_n = \sum_{i=1}^{N_1} b_i \cdot y_{n-i} + a_n \cdot x_n, \quad (7)$$

алгоритмом перестройки порядка  $N_2$  вида

$$\begin{cases} a_n = \sum_{j=1}^{N_2} d_j \cdot a_{n-j} + \alpha \cdot e_n \\ e_n = y^* - y_n \end{cases}, \quad (8)$$

Получим “чисто рекурсивный” цифровой фильтр порядка  $N_1+N_2$ , передаточная функция которого будет иметь вид:

$$H(z) = \frac{\alpha\beta}{1 + \sum_{i=1}^{N_1+N_2} C_i z^{-i}}. \quad (9)$$

Из теории цифровых фильтров известно, что для повышения порядка используются структурные методы: последовательное или параллельное соединение звеньев низкого порядка, а также включение звена в обратную связь [1]. Применение алгоритма перестройки коэффициента усиления цифрового фильтра аналогично последовательному соединению звеньев фильтра при введении управления коэффициентом в виде обратной связи, рис.1.

Для анализа свойств полученной передаточной функции рассмотрим реальный фильтр с частотой среза  $f_c = 1,5$  кГц при частоте дискретизации  $f_d = 12$  кГц. Обозначим через  $k$  числитель передаточной функции (6).

Перестройка коэффициента  $k$  приводит к изменению коэффициента усиления при постоянных коэффициентах знаменателя  $C_1 = -0,9128$  и  $C_2 = 0,3333$  и относительной частоте среза  $\bar{\omega}_c = 2\pi \frac{f_c}{f_d} = 0,785 \text{ rad}$ . ФЧХ при этом остается неизменной, рис. 2.

При комплексной перестройке коэффициентов числителя и знаменателя (смотри таблицу параметров) можно стабилизировать коэффициент усиления и варьировать частоту среза, рис. 3.

Параметры цифрового фильтра при перестройке его коэффициентов

№ п/п	$k$	$C_1$	$C_2$	$\bar{\omega}_c, \text{rad}$
1	0,0144	-1,6330	0,6906	0,25
2	0,0295	-1,4726	0,5906	0,41
3	0,0376	-1,3928	0,5433	0,47
4	0,0495	-1,2796	0,4776	0,56

Следует отметить, что комплексная перестройка приводит к изменению ФЧХ, однако это может привести к искажениям формы выходного сигнала.

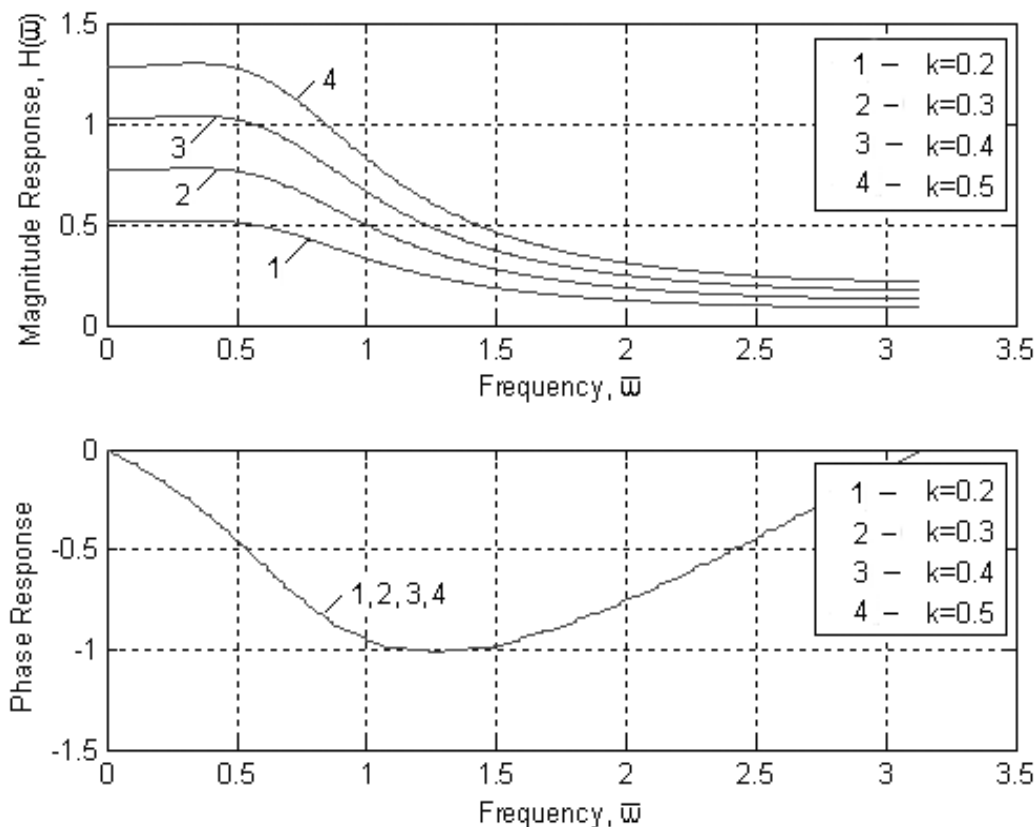


Рис. 2. АЧХ и ФЧХ цифрового фильтра при перестройке коэффициента числителя



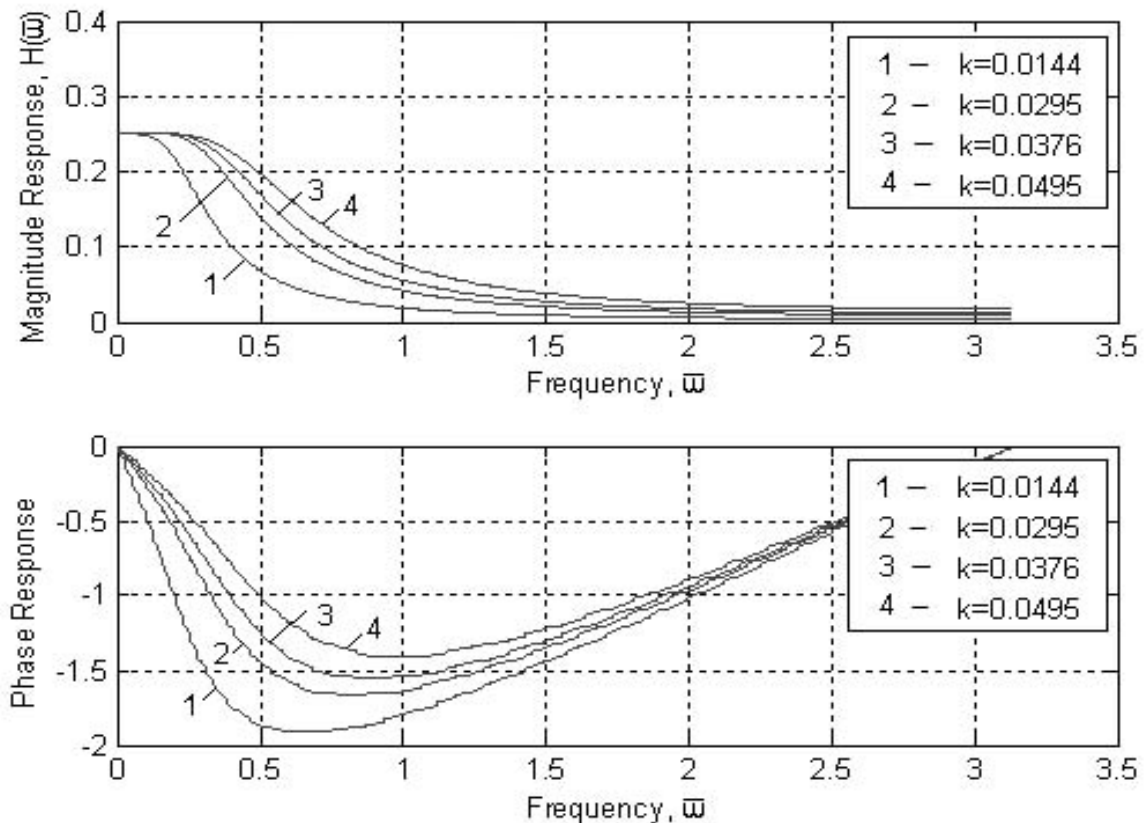


Рис.3. АЧХ и ФЧХ цифрового фильтра при перестройке коэффициентов числителя и знаменателя

Таким образом, применение адаптивных алгоритмов для перестройки коэффициентов цифрового фильтра низкого порядка позволяет повысить порядок фильтра и крутизну АЧХ в переходной области, осуществить отдельную перестройку коэффициента усиления и частоты среза.

Possibility of adaptive algorithms application on a Least Mean Square for reorganization of low order recursive filter was considered. Digital adaptive filter transfer function was deduced. Magnitude Response and Phase Response conduct at change of numerator and denominator factors of transfer function was considered. Possibility to carry out separate reorganization of amplification factor and cut frequency of the received digital filter was shown.

1. Айфитчер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ.- М.: Издательский дом „Вильямс”, 2004. – 992 с.
2. Изерман Р. Цифровые системы управления: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. - 541с.
3. Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. – М.: Радио и связь, 1989.- 440с.
4. Equalization, Prof. David Johns, University of Toronto, ([johns@eecg.toronto.edu](mailto:johns@eecg.toronto.edu))

# СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 621.9.06

## ПРОГРАМНО-МАТЕМАТИЧНИЙ АПАРАТ КЕРУВАННЯ ВИКОНАВЧИМ ОРГАНОМ БАГАТОКООРДИНАТНИХ ВЕРСТАТІВ НОВИХ КОМПОНОВОК

Кузнецов Ю.М., Дмитрієв Д.О.

**Постановка проблеми.** Одним із перспективних напрямків багатонаменклатурного серійного виробництва є створення програмно-керованого швидкопереналагоджувального технологічного обладнання, створеного на основі механізмів паралельної структури як принципово нового обладнання для виконання майже усіх технологічних операцій обробки, складання, випробування та вимірювання виробів [4, 5]. Концепція проектування технологічного обладнання з паралельною кінематикою [6] передбачає конструктивне виконання замкнених кінематичних ланцюгів у вигляді просторових стрижневих ферм. Усі кінематичні ланки механізму працюють одночасно (паралельно), що дозволяє виконавчому органу (ВО) верстату рухатись у просторі, забезпечуючи необхідний закон переміщення. Металообробні верстати з паралельною кінематикою мають більш широкий спектр технологічних можливостей ніж традиційні верстати внаслідок забезпечення виконавчому органу до шести ступенів вільності, що дозволяє йому здійснювати переміщення у просторі відносно усіх осей координатної системи та реалізувати майже усі схеми формоутворення поверхонь деталей, а також інші процеси виготовлення продукції за одну установку деталі з усіх сторін, крім базових. Серед сучасних комерційно запропонованих верстатів з паралельною кінематикою можна виділити дві основні групи: перша – просторові механізми з телескопічними штангами керовано-змінної довжини (біпод, трипод, пентапод, гексапод); друга – механізми з стрижнями постійної довжини, що шарнірно зв'язані з рухомими каретками, які розташовані на напрямних основи верстату (биглайд, триаглайд, лінапод, гексаглайд) [2, 3]. Основним недоліком першої групи верстатів є те, що механізми приводів та крокові двигуни розташовані спільно з телескопічною штангою і місцем шарнірного з'єднання, і конструктивно складають єдиний рухомий вузол, що несе всі навантаження і погіршує динаміку верстату. На відміну від цього, в верстатах з штангами постійної довжини механізми приводів і двигуни розташовано на нерухомій основі (станіні), а основне навантаження сприймається напрямними верстату. Дана обставина дозволяє зменшити рухомі маси стрижнів, забезпечити підвищені швидкості переміщень і прецизійність обробки.

Для поглибленого вивчення формоутворюючих рухів і створення нових компоновок верстатів з паралельною кінематикою необхідно мати наочний апарат моделювання багатоланкових замкнених кінематичних ланцюгів. Більшість сучасних САПР в останній час почали вводити окремі модулі для симуляції рухів кінематичних ланок і оцінки їх поведінки. Але ці методи мають стандартні інструменти прямої кінематики і обмежені застосуванням тільки для послідовних структур. Тому необхідно адаптувати алгоритми розрахунків положень ланок механізмів паралельної структури до умов процедурного і візуального програмування.

**Мета дослідження.** Виконати повузловий аналіз складових рухів механізмів паралельної структури із стрижнями постійної довжини з метою програмно-математичної реалізації комплексних формоутворюючих рухів верстатів з паралельною кінематикою в системах автоматизованого проектування і комп'ютерного моделювання.

**Аналіз попередніх досліджень.** Аналіз прямої кінематики багатоланкових механізмів передбачає розв'язок системи алгебраїчних рівнянь  $F(q)=(f_1(x_1, \dots, x_n), \dots, f_i(x_1, \dots, x_n))$ , що описує трансформації локальних систем координат кожної ланки по відношенню до мирової системи відліку [7] або в системі координат верстату. Функція переміщень  $F(f_i(x_1, \dots, x_n))$  вихідної ланки (виконавчого органу) буде безперервною, а відповідно диференціюватись по кожній з координат в області визначення, якщо всі функції  $f_i(x_1, \dots, x_n)$  безперервні і диференціюються по кожній змінній (координаті)  $x_1, \dots, x_n$  в області визначення. Умовою однозначного розв'язку системи рівнянь замкнених багатоланкових кінематичних ланцюгів буде

$$F_j(p_i, q)=0 \quad (i=1, 2, \dots, K; \quad j=1, 2, \dots, N) \quad (1)$$

де  $N$  – кількість ланок в замкненому кінематичному ланцюзі;  
 $K$  – загальна кількість кінематичних ланцюгів в механізмі паралельної структури;  
 $p_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iN}]^T, p_i \in R^N$  змінні перетворень локальних систем координат кожної ланки в області визначень функції  $F_j$ ;  
 $q$  – множина керованих змінних  $q = [q_1, q_2, \dots, q_M]^T$ , що активують приводні ланки механізму в області значень функції  $F_j, q \in R^N$ .

Для отримання швидкостей і прискорень вихідної ланки механізму, що несе виконавчий орган верстату потрібно продиференціювати рівняння (1) в часних похідних по керованим змінним  $q$ .

$$\dot{p}_i = J_i(q)\dot{q} \quad (2) \quad \ddot{p}_i = J_i(q)\ddot{q} + \dot{J}_i(q)\dot{q} \quad (3)$$

де

$$\dot{p}_i = \begin{bmatrix} \dot{V}_i \\ \dot{\omega}_i \end{bmatrix}, \quad \ddot{p}_i = \begin{bmatrix} \ddot{V}_i \\ \ddot{\omega}_i \end{bmatrix}, \quad \dot{q} = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \vdots \\ \dot{q}_M \end{bmatrix}, \quad \ddot{q} = \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \\ \vdots \\ \ddot{q}_M \end{bmatrix}; \quad (4)$$

$J_i(q)$  - якобіан (функціональний визначник) матриці  $M \times N$  для функції переміщень  $F_j$

$$J_i(q) = \begin{bmatrix} \frac{\partial F_1}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial F_1}{\partial q_M} \\ \vdots & \dots & \vdots \\ \frac{\partial F_N}{\partial q_1} & \dots & \frac{\partial F_N}{\partial q_M} \end{bmatrix}_{N \times M} \quad (5)$$

Механізми паралельної структури з ланками постійної довжини знайшли широке застосування в свердлильно-фрезерних верстатах. При збільшенні ступеня вільності ВО постає необхідність збільшувати кількість передавальних ланок, в наслідок чого зростають габарити і металоємність верстату (рис.1, рис.2). Крім того ускладнюється розрахунок кінематичних параметрів на етапі проектування компоновки верстату, а саме складання і диференціювання матриці (5).

Не складно помітити стремління різних розробників [8 - 10] розташувати поступальніприводи кінців штанг співвісно один одному або на одній напрямній, що і визначає робочій простір верстату і форму станини. Так, верстат [8, 9] Hexaglide містить шість штанг і три напрямних (по дві штанги на кожній напрямній), а верстат Trijoint 900H має декілька модифікацій, але з аналогічною умовою (чотири штанги, дві напрямні). Це дозволяє виділити примітивний замкнений контур, що лежить в основі механізму біглайд і містить три зв'язані ланки, а саме, розташовані на повзунах дві штанги шарнірно зв'язані з вихідною ланкою, яка несе інструмент.

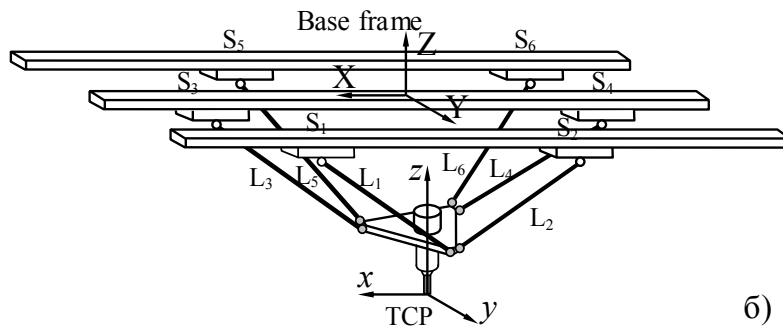
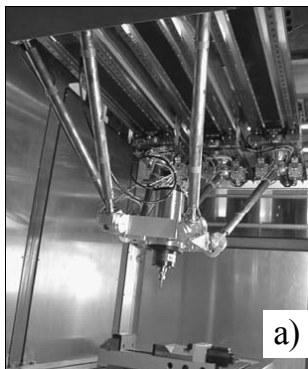


Рис.1 Фрезерний верстат Hexaglide розробники IWF і ETH (Швеція): а) – загальний вид; б) – конструктивна схема

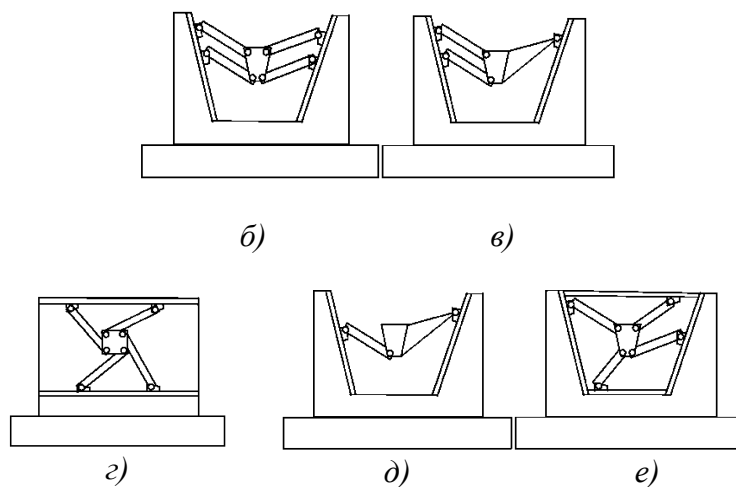
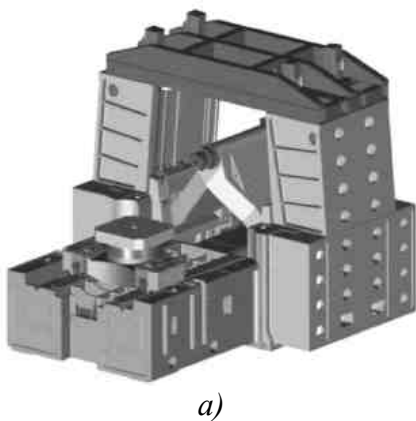


Рис.2 Свердильно-фрезерний верстат Trijoint 900H [10]–а) та його модифікації – б, в, г, д, е

**Основна частина.** Розглянемо контур ABCD (рис.3,а). Система біглайду містить п'ять змінних:

- $q_1$  і  $q_2$ , - відстань опорного кінця штанги від крокового двигуна на напрямних верстату (активні змінні);
- $q_3, q_4, q_5$  – відповідно, кути нахилу ланок  $L_1, L_2$  і  $L_p$  до напрямних ( $q_5$  на рис.3 не показано).

Зв'язок активних і пасивних змінних такого замкненого контуру буде

$$\begin{cases} \sin(q_3)L_1 - \sin(q_4)L_2 \pm \cos(q_5)L_p = 0 \\ \cos(q_3)L_1 - \cos(q_4)L_2 + \cos(q_5)L_p - L_0 - q_1 - q_2 = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Система (6) не має однозначного розв'язку, тому виключимо з неї змінну  $q_5$  і запишемо рівняння для поступального руху ВО уздовж координатних осей

$$\begin{cases} \sin(q_3)L_1 - \sin(q_4)L_2 = 0 \\ \cos(q_3)L_1 - \cos(q_4)L_2 + L_p - L_0 - q_1 - q_2 = 0 \end{cases} \quad (7)$$

Продиференціював рівняння (7) отримаємо значення швидкостей ланок

$$\dot{q}_p = J_a(q)\dot{q}_a, \quad (8)$$

де  $\dot{q}_p = \begin{bmatrix} \dot{q}_3 \\ \dot{q}_4 \end{bmatrix}$  - пасивні змінні,  $\dot{q}_a = \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \end{bmatrix}$  - активні змінні;

$$\text{функціональний визначник} - J_a(q) = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} \frac{1}{\sin(q_3)L1} & -\frac{1}{2} \frac{1}{\sin(q_4)L2} \\ \frac{1}{2} \frac{1}{\cos(q_3)L1} & \frac{1}{2} \frac{1}{\cos(q_4)L2} \end{bmatrix}.$$

Виключимо умовно ланку  $BC$  з замкненого контуру, але залишимо відстань між шарнірами  $B$  і  $C$  постійною і введемо уявні напрямні  $F_C$  і  $F_B$ , по яких відбувається їх рух (рис.3,б). В результаті отримуємо окремо пласкі механізми з повзунами, зв'язаними між собою шатуном, які рухаються синхронно.

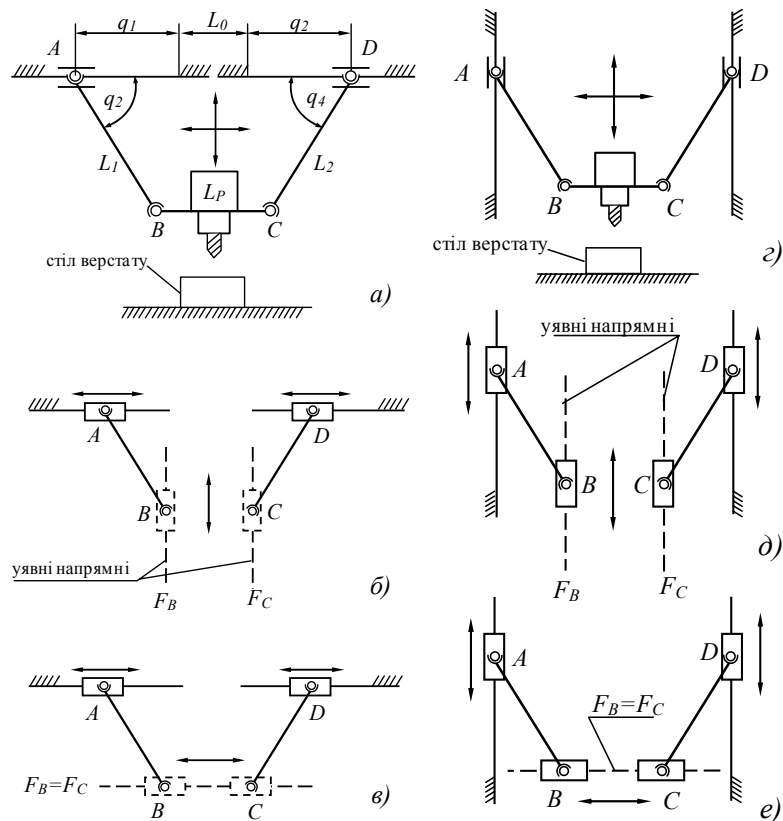


Рис.3 Декомпозиція механізму біглайд: а, б, в – горизонтальне розташування напрямних верстату;  
г, д, е - вертикальне розташування напрямних верстату

Даний механізм добре відомий як еліпсограф Леонардо да Вінчі [1], що реалізує еліптичний рух шатунної площини  $AB(CD)$ . Очевидно, що при виключеній ланці  $BC$  кількість і розташування напрямних не змінюють сутність механізму.

Змінимо кут напрямних верстату і зведемо їх в одну точку для збільшення жорсткості верстату та зниження довжини штанг (рис.4).

Для обчислення положень повзунів  $A$  і  $D$  при плоскопаралельному русі ВО складемо систему рівнянь

$$\begin{cases} z = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha} x \\ (x_B - a)^2 + (z - t)^2 = L_1^2 \\ (x_C + a)^2 + (z - t)^2 = L_2^2 \end{cases} \quad (9)$$

Перше рівняння визначає розташування напрямної, інші кругову траєкторію, яку описують шатуни  $L_1$  і  $L_2$  навколо шарнірів при русі повзунів  $A$  і  $D$  по напрямним (рис.4, а).

Розв'язок системи (9) буде

$$z_{1,2} = \frac{a + k \cdot t \pm \sqrt{(a + k \cdot t)^2 - (a^2 - L_{1,2}^2 + t^2)(a + k^2)}}{1 + k^2}, \quad (10)$$

$$x_{1,2} = -k \cdot z_{1,2}, \quad (11)$$

де  $k = -\frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$ .

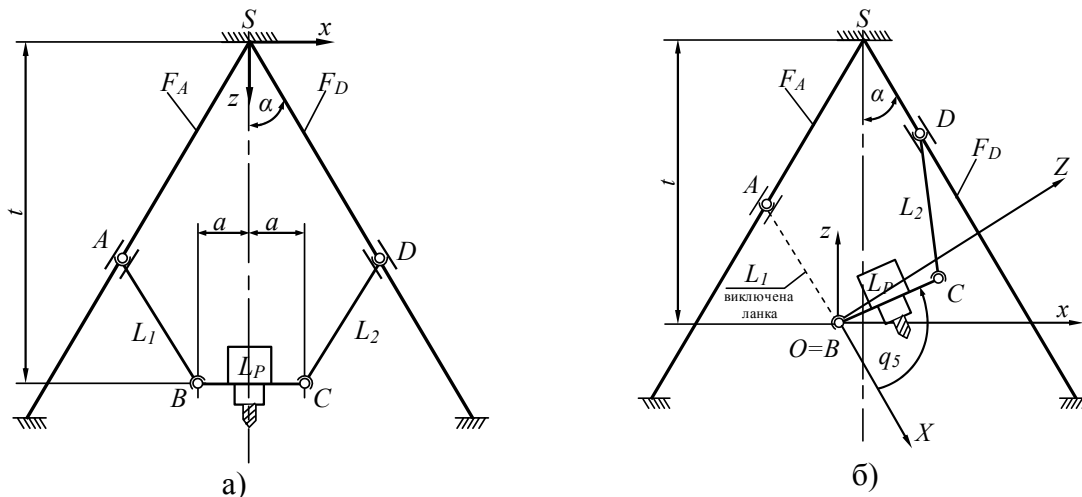


Рис.4 Розрахункові схеми при а) - плоскопаралельному і б) - обертальному русі ланки  $BC$  з інструментом для компоновки з кутовим розташування напрямних

Обертальний рух вихідної ланки  $BC$  обчислимо виключивши одну активну штангу, наприклад, ланку  $L_1$  і перенесемо центр обертання в точку  $B$  (рис.4, б). Положення повзуна  $D$  на напрямній в канонічній системі координат  $XOZ$  буде

$$\begin{cases} X_D = L_P \cdot \cos q_5 - \sqrt{L_2^2 - (h \cdot \sin \alpha - L_P \cdot \sin q_5)^2} \\ Z_D = h \cdot \sin \alpha \end{cases} \quad (12)$$

Задамо систему  $XOZ$  в точці  $B$  так, щоб вісь  $X$  була паралельна напрямній  $F_D$ . Рівняння (12) в системі  $xBz$  прийме вид

$$\begin{cases} x_D = L_P \cdot \cos q_5 \cdot \sin \alpha + h \sin \alpha \cos \alpha - \sin \alpha \cdot \sqrt{L_2^2 - (h \cdot \sin \alpha - L_P \cdot \sin q_5)^2} \\ z_D = -L_2 \cdot \cos q_5 \cos \alpha + h \cdot \sin^2 \alpha + \sin \alpha \cdot \sqrt{L_2^2 - (h \cdot \sin \alpha - L_P \cdot \sin q_5)^2} \end{cases} \quad (13)$$

Розрахунок переміщень повзуна  $A$  по напрямній  $F_A$  виконується аналогічно при виключенні ланки  $L_1$  і перенесенні центру обертання в точку  $C$ .

На основі трикутної форми розташування напрямних запропоновано [5] принципово нову пірамідальну компоновку і досліджено формоутворюючі рухи нового багатокординатного свердлильно-фрезерного верстату підвищеної жорсткості (рис.5). Осі механізмів поступового руху мають одну точку перетинання, розташовану над платформою з інструментальним  $ВО$ , і утворюють правильну трикутну піраміду. Верстат має скорочену довжину штанг, три циліндричні напрямні і паралельно ним три кулькові гвинтові передачі з опорами на нижній основі. Напрявні упираються в підп'ятник закріпленій на Г-подібній траверсі. Жорсткість пружної просторової рамної системи забезпечена конструктивним (форма виконання рамної системи), а не металоємним підвищенням опору поперечних перерізів кінематичних ланок і станини. В порівнянні об'ємів піраміди і призми однакової висоти і площею основи рамної системи виконання в пірамідальній компоновці втричі легше.

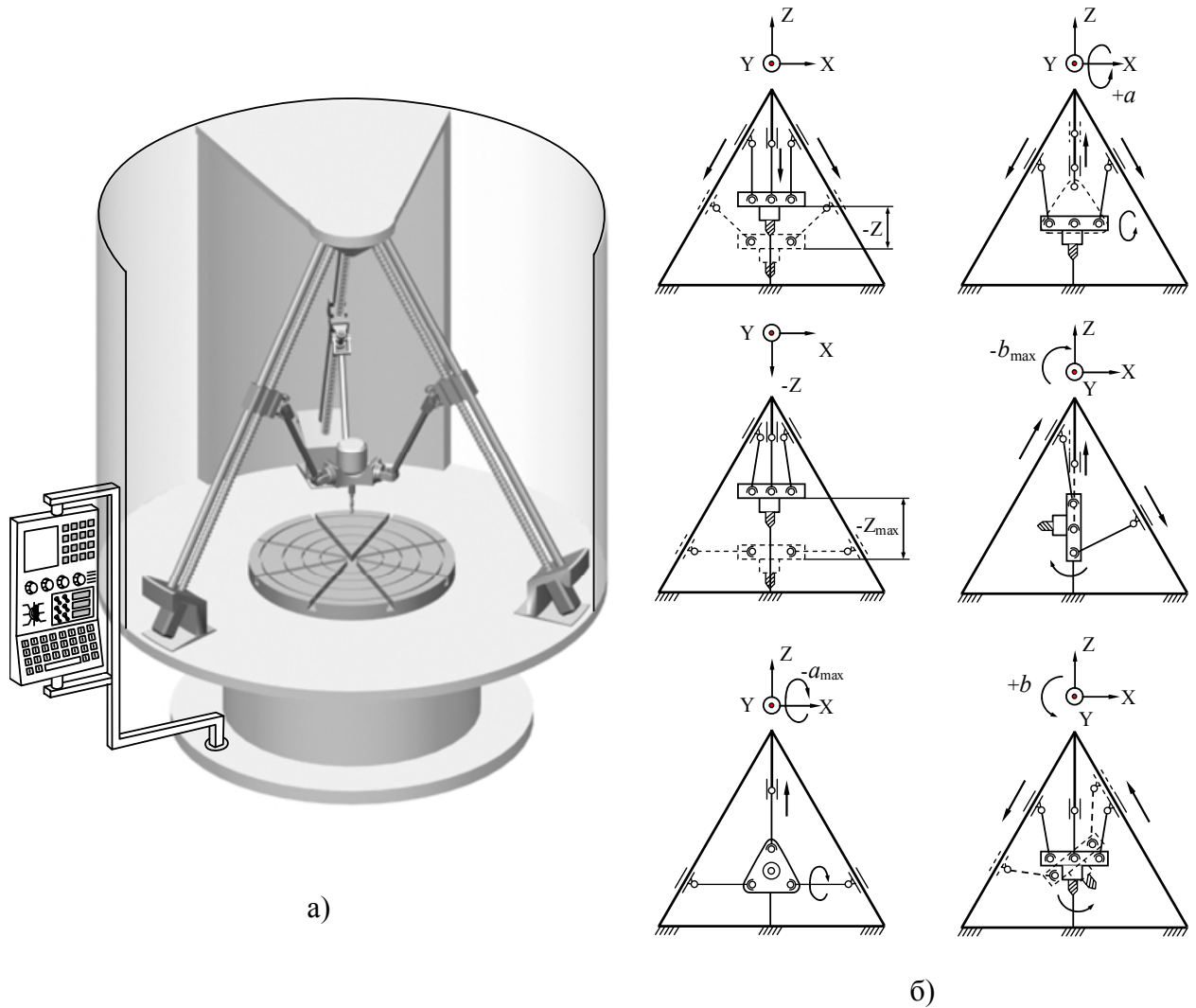


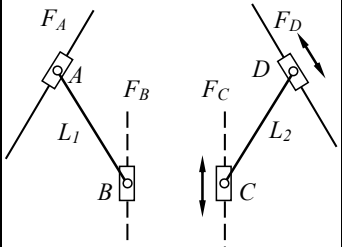
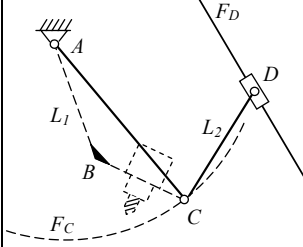
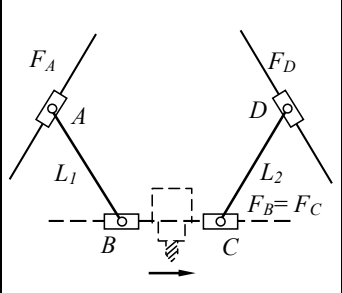
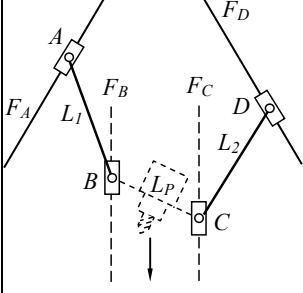
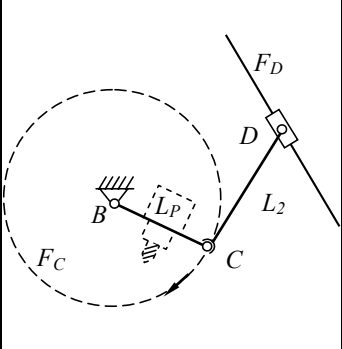
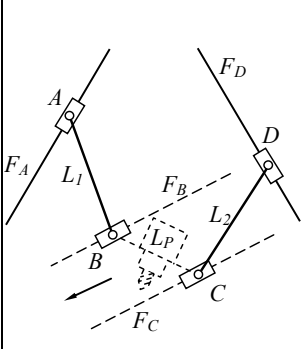
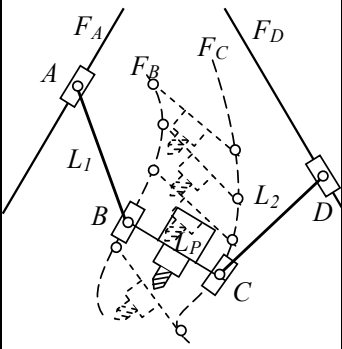
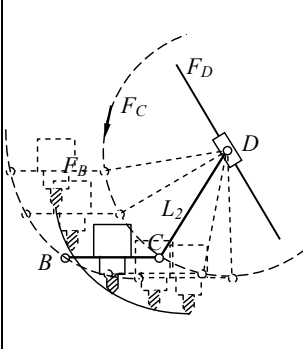
Рис.5 Багатокоординатний свердлильно-фрезерний верстат підвищеної жорсткості:  
 а) – загальний вид; б) – основні технологічні рухи по керованим координатам

В процесі комп'ютерного моделювання переміщень багатоланкового механізму необхідно визначити положення повзунів на напрямних верстату і орієнтацію штанг в світовій системі координат, коли ВО займає потрібне положення у просторі. Тобто треба вирішити обернену задачу кінематики. Рівняння замкненого векторного контуру (6) в багатоланковому механізмі з двома і більше активними змінними має складний розв'язок. Тому використаємо метод декомпозиції механізму і введемо уявні напрямні  $F_B$ ,  $F_C$ , по яким буде рухатись (ковзати) ланка  $L_P$ , спираючись власними кінцями на уявні напрямні. Результати розкладання механізму на примітивні вузли по схемам керування (рис.4 і 5,б) наведено в табл.1. Отримані алгоритми реалізовано в тривимірному графічному середовищі 3DStudioMAX. Вибір програмного середовища обумовлено наявністю гнучкої об'єктно-орієнтованої мови програмування MaxScript суміщеної з графічним простором моделювання.

Створено інтерфейс програми, який дозволяє керувати положенням і орієнтацією ВО. Рухома платформа, місця з'єднання шарнірів, штанг з їх довжиною і положенням зв'язані змінними, математичними залежностями, що впливають на властивості об'єктів тривимірної моделі.

Таблица 1

Декомпозиція складових формоутворюючих рухів механізму паралельної структури з кутовим розташуванням напрямних

Схема руху виконавчого органу	Взаємозв'язок змінних	Схема руху виконавчого органу	Взаємозв'язок змінних
	<p>керовані змінні:  <math>Z_B = Z_C = t</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11)</p>		<p>керовані змінні: <math>q_2</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>Z_A, X_A; L_P = AC</math></p> <p>визначаються:  <math>Z_D, X_D</math> по формулам (13).</p>
	<p>керовані змінні:  <math>X_C - X_B = BC</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>BC = L_P</math></p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11)</p>		<p>керовані змінні:  <math>Z_B = t</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>q_5 = \text{const}</math>  <math>Z_C = \sin q_5 \cdot L_P</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11)</p>
	<p>керовані змінні: <math>q_5</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>Z_A, X_A, Z_B, X_B</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_D, X_D</math> по формулам (13).</p>		<p>керовані змінні:  <math>Z_B = t</math>,  <math>X_B = a</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>q_5</math>,  <math>Z_C = Z_B + \sin q_5 \cdot L_P</math>,  <math>X_C = X_B + \cos q_5 \cdot L_P</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11)</p>
	<p>керовані змінні:  <math>Z_B, X_B, q_5</math></p> <p>пасивні змінні:  <math>Z_C = Z_B + \sin q_5 \cdot L_P</math>,  <math>X_C = X_B + \cos q_5 \cdot L_P</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11)</p>		<p>керовані змінні: <math>q_4</math>;</p> <p>сталі величини:  <math>Z_D, X_D, Z_C = Z_B</math>,  <math>q_5 = 0</math>;</p> <p>визначаються:  <math>Z_A, Z_D, X_A, X_D</math> по формулам (10), (11) з підстановкою  <math>a = X_B = \cos q_4 \cdot L_2 + L_P</math>  <math>t = Z_B = \sin q_4 \cdot L_2</math></p>

**Висновки.** Проведено аналіз складових формоутворюючих рухів механізмів паралельної структури зі штангами постійної довжини за допомогою умовного виключення однієї ланки і введенням уявних напрямних. В результаті визначено структуру примітив-



них вузлів замкнених кінематичних ланцюгів, отримано математичне описання рухів ланок на основі активних та пасивних змінних придатне для процедурного і об'єктно-орієнтованого програмування. Запропоновано нову компоновку багатокординатного свердлильно-фрезерного верстату із кутовим розташуванням напрямних і досліджено переміщення поступальних приводів за допомогою наведеного програмно-математичного апарату, що планується перевірити експериментально на діючому макеті верстата, який розробляється.

The structural analysis of form-building movements in machine tools with parallel kinematics is lead. The software -mathematical device for the kinematic analysis and management of position of parts of spatial mechanisms with bars of constant length is developed.

1. Бергер Э.Г., Табацков В.П. Синтез механизмов в машиностроении и робототехнике. – Николаев, НГАУ, 2004 - 188с.
2. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х част. Під ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003 р.
3. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с.
4. Кузнецов Ю.М., Крижанівський В.А., Склярів Р.А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою. Зб. наукових праць "Процеси механічної обробки в машинобудуванні", ЖДТУ, Вип. 1, 2005. – с.320 – 333.
5. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55.
6. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковальов и др.; Под ред. В.Л. Афонина. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
7. Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. – М.:Наука, 1981. – 718 с.
8. Q. Huang, H. Hadeby, G. Sohlenius. Connection Method for Dynamic Modelling and Simulation of Parallel Kinematic Mechanism (PKM) Machines// Int J Adv Manuf Technol (2002) 19:163–173, 2002 Springer-Verlag London, Limited.
9. M. Honegger. Nonlinear adaptive control of a 6 DOF parallel manipulator / Institute of Robotics, ETH Zurich, Switzerland, honegger@ifr.mavt.ethz.ch
10. Simulation und Kalibration von Parallelkinematiken / IWF, ETH-Zentrum, Tannenstrasse 3, CH-8092 Zürich, <http://www.iwf.mavt.ethz.ch>
11. M. Valasek, Z. Sika, V. Bauma, T. Vampola Tractable Treatment of Design by Multiobjective Optimization – Parallel Kinematics Case Study // Multibody System Dynamics (2005) 13: p. 143–174, Springer 2005.

## ЕКОНОМІКА НАУЧНО-ТЕХНІЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

УДК 330

ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ БЮДЖЕТНОМУ ІНВЕСТИУВАННІ НА  
ОСНОВІ МОДЕЛІ АНАЛІЗУ ВИГІД І ВИТРАТ

Крючковський В.В.

**Постановка проблеми.** Важливою складовою цілей та завдань бюджету будь-якої країни на будь-який рік є забезпечення ефективного використання бюджетних коштів через удосконалення критеріїв оцінки їхньої результативності, впорядкування структури головних розпорядників бюджетних коштів, оптимізації кількості бюджетних програм.

За словами завідувача кафедри фінансів Національного університету «Києво-Могилянська академія», доктора економічних наук, професора Ірини Лук'яненко, бюджетна декларація щодо управління видатками державного бюджету повинна відзначатися системним підходом та логічною завершеністю. В ній повинно передбачити підвищення відповідальності розпорядників бюджетних коштів за досягнення поставлених завдань, економічну обґрунтованість їх черговості та пріоритетності [1].

Ухвалення будь-яких державних проектів, які потребують значних, або незначних інвестицій повинно супроводжуватись прогнозуванням наслідків, які можуть мати у тривалому періоді для бізнесу, окремих верств населення і суспільства у цілому. Крім того, вже не можна вирішувати економічні проблеми без урахування їх екологічних наслідків. Тобто при інвестуванні державних проектів треба планувати не тільки витрати, але й вигоди, що при цьому одержить суспільство.

Але в Україні вже у процесі виконання державних проектів, начебто привабливих у момент ухвалення, досить часто маємо неприємні наслідки, прямі й опосередковані втрати вигід чи просто збитки. Парадоксально, але невдалі проекти майже завжди супроводжувало позитивне обґрунтування, яке формально відповідає чинним в Україні нормативним актам. Це може свідчити про відсутність сучасного економіко-екологічного підґрунтя у деяких чинних законах, постановах і методиках [2].

Уряд повинен вкладати інвестиції у різні форми суспільного капіталу, який називають інфраструктурою, як-то дороги, мости, каналізаційні системи. Але не треба забувати і про людський капітал. Підвищення рівня людського капіталу потребує інвестицій у підготовку вчительських, наукових кадрів, бібліотеки тощо. У нових дослідженнях з економічного зростання [11] наголошується на тому, що інвестиції у людський капітал має принаймні не менше значення, ніж інші інвестиції, для пояснення розривів у рівні життя між різними країнами. Як передбачає модель Солоу [10], високий дохід на душу населення пов'язаний з високими інвестиціями. Державні та інші інвестиції високі в тих країнах, де стабільні і авторитетні політичні інституції, де не процвітають корупція та хабарництво.

Чимало економістів твердять, що держава повинна створити однакові умови для різних видів інвестицій (як державних так і недержавних), наприклад, гарантуючи, що податкова система розглядатиме всі форми капіталу як рівні. Держава може тоді покласти на ефективність ринкового механізму в розподілі інвестицій [10]. Інша група економістів вважає, що держава своїми інвестиціями повинна активно стимулювати тільки певні види капіталу.

Припустимо, що науково-технічний прогрес є побічними продуктом певних видів економічної діяльності. Він має місце, коли в ході створення капіталу відкрито нові або поліпшено наявні методи виробництва і ці ідеї стають частиною знань суспільства. Такий побічний продукт називають технологічним побічним наслідком. За наявності таких побічних наслідків віддача від інвестиційного капіталу для суспільства більша за прогнозовану в моделі Солоу [12].

Крім того, державні інвестиції в деякі галузі можуть супроводжуватись вагомими побічними наслідками, ніж інші види. Успіх такої галузевої політики (нерідко її називають структурною політикою) передбачає, що уряд спроможний вимірювати побічні наслідки різних видів економічної діяльності, тому він може створювати для них потрібні стимули [10].

Але більшість економістів скептично оцінюють заходи структурної політики. По-перше, вимірювання побічних наслідків державного інвестування в різних секторах національної економіки настільки складне, що практично мало реальне. Якщо ж заходи державної політики ґрунтуються на неточних оцінках і вимірюваннях, то їх вплив може бути непередбаченим, а отже, гіршим, ніж за їх відсутності. По-друге, політичний процес далекий від досконалості. Оскільки уряд підтримує деякі галузі через інвестиції та пільгове оподаткування, то вигоди, ймовірно, визначатимуть як величину побічних наслідків.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогоднішній день обов'язковий попередній аналіз успішності державних проектів за методологією аналізу вигід і витрат здійснюють у багатьох країнах світу, зокрема у США [3] і Канаді [4]. Методологія аналізу вигід і витрат бере початок ще у 1844 році з класичної роботи французького економіста Дюпої щодо вимірювання корисності суспільних проектів [2]. Протягом наступних років ця методологія вбирала в себе різноманітні надбання економічної думки, до яких причетні багато видатних економістів-лауреатів Нобелівської премії в галузі економіки: К.Ероу, Р.Фріш, Дж.Хікс, Я.Тінберген, П.Семюелсон, А.Сен.

Слід зазначити, що в Україні обмаль праць де розглянуто деякі проблеми застосування аналізу вигід і витрат [5; 6], але видано переклади ряду книг [2;3;7;8;9], наприклад посібник [7] спеціально присвячено аналізу державних інвестиційних проектів.

**Цілю статті** є накреслення правил прийняття рішень на основі моделі аналізу вигід і витрат, який має передувати прийняттю державних інвестиційних проектів.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Аналіз вигід і витрат є раціональним методом прийняття рішень, яким люди користуються щодня. Але коли альтернативи складні або дані невизначені, тоді треба вдаватися до формальних способів чіткого, системного і раціонального мислення. Ці способи і утворюють модель для проведення аналізу вигід і витрат – від визначення проблеми і коректних порівнянь до вимірювання витрат і вигід та з'ясування питань невизначеності і ризику.

Застосування моделі прийняття рішень через аналіз вигід і витрат не обмежується тільки економікою чи екологією, вона придатна до будь-якої сфери державної чи приватної діяльності. Це - гібрид кількох методів, узятих з менеджменту, фінансових і суспільних наук [2]. Розглянемо стандартні етапи аналізу.

- Перш за все треба вивчити потреби, врахувати обмеження, сформулювати завдання та цілі, зазначити точку зору, з якої будуть оцінюватись витрати і вигоди. А це дуже складна задача. Для прикладу, розглянемо проект будівництва нового швидкісного шосе, що заплановано урядом в зв'язку з проведенням олімпіади. Щоб прийняти рішення, уряд повинен доручити аналітикам, економістам, інженерам провести дослідження, ціль якого – оцінка загальних витрат і вигід проекту для суспільства в цілому. Аналітики зіткнулись зі складною задачею: так як користуватися шосе кожен буде безкоштовно, то ціни, за якою можна було б оцінити надані дорожні послуги, не існує. Крім того, при анкетуванні населення регіону про необхідність будівництва шосе були одержані результати, які не можна вважати достовірними. У респондентів відсутній стимул говорити правду. Ті, що будуть користуватися шосе, зацікавлені у збільшенні вигід, які вони одержать, щоб шосе було як можна швидше побудовано. У тих, яким швидкісне шосе завдасть школи (зруйнують дачі; не можна випасати скотину; заважатиме шум людям, що проживають поблизу тощо), є стимул, щоб перебільшити витрати і заборонити будівництво. А ще точка зору місцевих природоохоронних органів тощо. Таким чином, інвестиційний проект треба розглядати з різних точок зору.

- по друге, дуже важливо визначати всю множину найперспективніших варіантів.

Рішення по державних інвестиціях мають три спільні важливі характеристики:

1) до певної міри ці рішення можуть бути незворотними – одного разу надані, ресурси не можна буде відновити; 2) результат інвестиційного проекту може бути непевним, через те,

що вхідні дані є невизначеними; 3) може бути певний запас стосовно вибору часу для інвестицій.

Здатність зачекати, перш ніж зробити незворотні інвестиції, є важливою. В той же час не можна довго чекати, бо гроші можуть втратити свою купівельну спроможність.

Позиція тримати альтернативи відкритими від час чекання нової інформації, яка може вплинути на рішення інвестора, може дати можливість вибрати дійсно найкращий варіант.

- по-третє, варіанти, які порівнюють, треба стандартизувати за часом і масштабом.

Стандартизованими вважаються такі часові рамки: якщо один проект починається раніше, а інший закінчується пізніше, тоді раніший початок і пізніше закінчення і визначають стандартизовані часові рамки.

Витрати і вигоди повинні бути виражені у спільній грошовій одиниці перед тим, як їх порівнювати. В роботі [13] наводиться такий приклад. До місцевої ради звертається спеціаліст з дорожнього руху з пропозицією установити на конкретному перехресті вулиць світлофор. Вигода від цієї установки – зросте безпека громадян міста. Розрахунки аналітиків показали, що необхідні асигнування складають \$ 10 тис. Наскільки доцільно фінансувати установлення нового світлофора? Для відповіді звертаємось до аналізу «затрати – вигоди». Але щоб порівняння мало сенс (розуміння) треба затрати і вигоди визначати у спільній грошовій одиниці. У США цінність людського життя складає \$ 10млн. А світлофори зменшують ризик смерті на 0,5%. Таким чином, очікувана вигода від установки світлофора складає  $0,5\% \cdot \$ 10\text{млн.} = \$ 50\text{тис.}$  Дана оцінка перевищує витрати в розмірі \$ 10 тис. на \$ 40 тис., тому міська рада повинна схвалити проект.

При підрахунку вигід державних проектів правильний підхід до оцінювання їхньої вартості не є таким однозначним. Держава – інвестор повинна мати професіоналів-аналітиків, які при оцінці економічної ефективності інвестиційних проектів враховували не тільки величину відсоткової ставки з надбавкою на передбачуваний ризик, періодичність надання інвестицій в часі, періодичність повернення позичкових коштів з їх оплатою у вигляді позичкових відсотків тощо, але й загальні витрати, не пов'язані з конкретним проектом. Маємо на увазі загальні адміністративні і накладні витрати.

Для проектів малих масштабів та порівняно короткого терміну реалізації застосовуються більш-менш прості методи їх економічної оцінки (строк окупності, коефіцієнт рентабельності капітальних вкладень). Для проектів, що потребують великих фінансових коштів, необхідно застосувати для їх економічної оцінки більш складні методи вартості капіталу в залежності від часу надання фінансових коштів і часу їх повернення (метод чистої дисконтної вартості, метод дисконтної ставки, скоригованої на ризик тощо). Потоки укладених коштів і потоки повернених (з відсотками) платежів мають різний розподіл за часом. Тому з точки зору інвестора доцільно їх позначити у вигляді показників інвестиційних витрат і чистих вигід. Оцінка ефективності державних інвестицій повинна розглядатися для всього інвестиційного періоду – від початку вкладень до кінця плати у відповідальності з контрактом. При цьому треба мати на увазі, що розглядуваних періодів буде багато: періодами може бути рік, півроку, квартал. Для економічної оцінки інвестиційного процесу для кожного часового відрізка необхідно подати суму витрат і суму чистої вигоди. Під чистою вигодою треба розуміти виручку, що одержується в тому чи іншому інтервалі часу, за відрахуванням всіх дійсних витрат (як прямих так і непрямих) по оплаті праці, сировини, матеріалів, енергії, палива, податків тощо.

Кінцева оцінка ефективності державних інвестиційних вкладень і вигід повинна проводитися по сумі різниць інвестиційних витрат і вигід для усіх розглядуваних періодів. Проте до проведення цього підсумовування треба привести як витрати так і вигоди до одного часового моменту, вибрав при цьому ставку відсотка, по якій буде проводитися дисконтування. Звичайно при виборі ставки відсотка орієнтуються на середній рівень позичкового відсотка, але корегують його в залежності від ризику інвестиційного проекту, збільшуючи середню ставку на ризикову надбавку.

Слід також відмітити, що ефективність організації державного інвестиційного процесу, з точки зору принципів сталого розвитку, залежить не лише від рентабельності вкладень та строку їхньої окупності, а від напрямів і структури інвестування. Інвестувати кошти слід насамперед у перспективні (високотехнологічні) види економічної діяльності,

здатні створити значку масу доданої вартості завдяки використанню чинника знань. Але в Україні порівняно більший обсяг інвестицій на одиницю доданої вартості отримують галузі нижчих технологічних укладів, а галузі, які тяжіють до продуктових та процесових інновацій і продукція яких характеризується високим вмістом доданої вартості, відчувають інвестиційний голод. Це свідчить про нераціональну структуру інвестицій, що викликане макроекономічними деформаціями і недосконалою державною інвестиційно-інноваційною політикою [14].

**Висновки.** За висловом F.Васон [2]: «Гроші як перегній - ніякої користі, доки лежать в купі». Тобто гроші треба залучити до роботи. І держава повинна приймати такі рішення щодо організації цієї роботи, щоб виконувався принцип: «гроші-великі гроші – дуже великі гроші». Організації цієї роботи повинен передувати аналіз успішності державних інвестиційних проектів за методологією аналізу вигід і витрат. Більш того, треба розробляти «нові моніторингові і прогностичні методики, на базі яких можна оцінювати вплив окремих технологічних і інституційних чинників на інвестиційно-інноваційний розвиток економіки і своєчасно вносити корективи у здійснення державної економічної політики відповідно до проголошених пріоритетів». [14].

І не треба забувати, що держава повинна вкладати інвестиції у людський капітал. Підвищення яких у разі може повернутися державі у десятки разів.

The article shows, that taking decisions about budget investment it is obligatory to make a preliminary analysis of project's success according to the methodology of analysis "profits-expenses". Such analysis is widely applied in many countries, particularly, in Canada and in the USA.

1. Бюджетна стратегія – 2009/Урядовий кур'єр, № 73 (18.04.2008р.). – С.8
2. Аналіз вигід і витрат. Практичний посібник / Пер. з англ. С.Соколик. – К.: Основи, 2000. – 175 с.
3. Веймер Д.Л., Вайнінг А.Р. Аналіз політики: Концепції і практика /Пер. з англ.. –К. : Основи, 1998. – 654с.
4. Bierman H., Stidt S. The Capital Budgeting Decision: Economic Analysis of Investment Projects. Maxwell Macmillan Canada, Toronto, 1993.
5. Проектний аналіз: Навч. посібник / Москвін В.О. та ін.. – К.: ТОВ «Лібра», 1998. – 368 с.
6. Дербін Е., Кілієвич О. Економічна теорія і державний сектор: теорія, практика, термінологія, джерела. – К.: УАДУ, 1997. – 110 с.
7. Чучман Ю. Оцінка доцільності державних і приватних інвестиційних проектів :Навч. Посібник / Пер. з англ.. С.Соколик. – К. :Вид-во УАДУ, 1998. – 102 с.
8. Штігліц Дж. Економіка державного сектора /Пер. з англ.. – К.: Основи, 1998. – 854с.
9. Державні фінанси: теорія і практика перехідного періоду в Центральній Європі /Пер. з англ. –К.: Основи, 1998. – 542с.
10. Манків Грегорі Н. Макроекономіка /Пер. з англ.. – К.: Основи, 2000. – 588 с.
11. Gregory Mankiv, David Romer and Dand N.Weil. A Contribution fo the Empiries of Ekonomic Growth. – Quarterly Journal of Economic (May 1992).
12. Paue Romer. Crazy Explanations for the Productivity Slowdown. – NBER Macroeconomics Annual (2, 1987).
13. Н.Мэнкью. Принципы микроэкономики /Перев. с англ. – СПб.: Питер, 2003. – 560с.
14. Захарін С. Макроструктурні особливості інвестиційного процесу в корпоративному секторі// Економіка України. – 2008. - № 6 (559). – С.27.

ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ  
УПРАВЛЕНИИ СОЦИОТЕХНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Рогальский Ф.Б.

**Введение.** Экономика переходного периода требует новых подходов к управлению регионом. Для рационального сочетания территориальных и отраслевых интересов, интересов отдельных организаций, субъектов предпринимательства, населения необходимо иметь адекватное новым условиям управление, способное обеспечить решение проблем, характерных и для технологического процесса, и для предприятия (организации), и для региона, и для государства. Рассматривать различные объекты и вопросы автоматизации управления ими с единых методологических позиций позволяет концепция социотехнических систем [1, 2].

**Цель работы.** Решение проблемы информационной поддержки управления регионом и объектами, расположенными на его территории, связано с необходимостью создания систем поддержки принятия решений, предоставляющих возможность руководителям, опираясь на опыт прошлых лет и современные информационные технологии, принимать необходимые решения при управлении территориями, сложными комплексами, объектами или технологическими процессами. В теории организации система, представляющая собой людей и технологические компоненты, называется социотехнической системой [3–5]. Социотехнические системы – это, в основном, открытые и неравновесные системы, нарушение равновесия в которых возможно вследствие самых разнообразных причин или случайных возмущений. Независимо от природы управляемых объектов (социальных, механических, биологических) управление ими возможно благодаря принципу обратной связи. В работе рассматриваются вопросы информационной поддержки принятия решений при управлении социотехническими системами.

**Изложение основного материала.** Объекты управления, включающие техническую (сложное оборудование) и социальную (персонал) составляющие будем называть социотехническими объектами (СТО). Таким образом, СТО – это объект, решающий хозяйственные и/или социальные проблемы, сконцентрированный на относительно ограниченной территории, обеспечивающий эффективное использование местных и получаемых извне ресурсов для удовлетворения потребностей человека, охватывающий различные сферы деятельности человека и характеризующийся определенной степенью открытости. Объект, как правило, характеризуется сложной структурой, разнообразными материальными и информационными потоками, сложными обратными связями, динамичностью характеристик. СТО, расположенные на территории одного региона, можно объединить в несколько групп: производственная структура, инфраструктура, местные природные ресурсы, население и др.

Для многих СТО совершенствование управления происходит через развитие информационной инфраструктуры и усиление кадрового состава. Анализ показывает, что в центре концепции управления СТО находится человек, который должен рассматриваться как социальный элемент социотехнической системы управления процессами функционирования и развития СТО. Исходя из этой концепции, все системы управления нацелены на пробуждение разнообразных способностей работников с тем, чтобы они были максимально использованы в процессе производства, а человек стремился бы к процветанию фирмы, в которой работает. Различные управленческие модели, в центре внимания которых находится человек, как правило, рассматривают персонал организации; знания и способности работников; деловые взаимоотношения в фирме; долгосрочные цели развития фирмы. Поэтому система управления людьми включает обычно в себя: систему подбора и выдвижения кадров; процесс принятия решений, методы и стиль управления; системы материального стимулирования; статус, способы признания персонала.

Отметим, что проблема управления СТО в общем случае может быть интерпретирована как задача перевода объекта из некоторого начального состояния  $X_0$  в задан-

ное или желаемое конечное состояние  $X_k$ . Учитывая, что сложность современной техники и технологии, напряженный ритм работы персонала делает практически неизбежными внутрипроизводственные конфликты, кроме всего прочего, необходимо рассматривать вопросы наблюдаемости, управляемости, устойчивости СТО.

Быстрые изменения процессов в СТО приводит к появлению разнообразных вариантов его поведения, что вызывает необходимость периодически пересматривать имеющиеся знания о СТО и базирующиеся на этих знаниях принципы управления. Здесь в наибольшей мере проявляется неэффективность априорного подхода к построению систем управления, так как априорные представления часто оказываются далеко не полными из-за быстро изменяющейся ситуации и необходимости принимать решения в условиях неопределенности, неоднозначности и нечеткости оперативной информации. Учет же новых знаний, появляющихся в процессе функционирования, требует совершенствования системы управления, поэтому системы управления СТО должны расти и развиваться вместе с объектом управления.

Рост сложности возникающих при управлении СТО задач (технических, экономических, организационных, социальных), вызывает необходимость повышения уровня требований к управленческим решениям (комплексность, соответствие современному техническому уровню, научная обоснованность, многоаспектность и т.д.).

Следует учитывать, что информация о многих СТО имеет сравнительно большую динамическую составляющую, настолько большую, что зачастую ее требуется учитывать даже в оперативном управлении. Высокий уровень обоснованности решений в системе управления СТО не может быть достигнут без адаптивности всего контура управления к изменению объекта управления. При этом на каждом уровне иерархии изменяется соотношение технической и социальной составляющей СТО, что влечет за собой необходимость введения соответствующих корректив в систему управления (рис. 1).

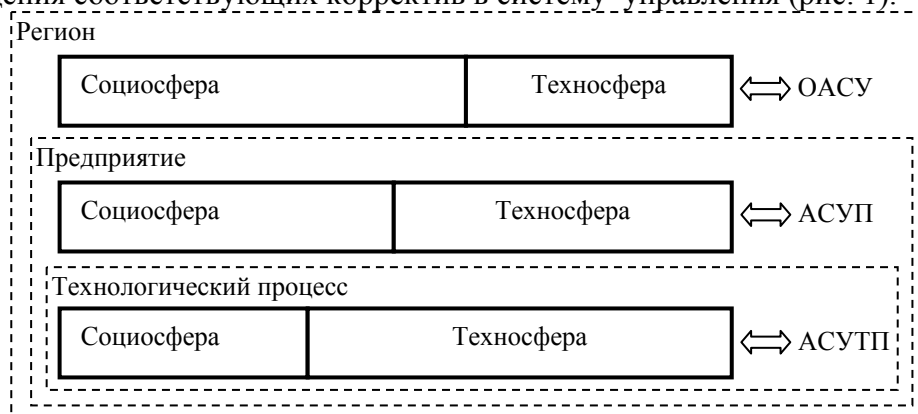


Рис. 1 Соотношение технической и социальной составляющей в различных СТО

Сложность объекта управления затрудняет применение простого типа управления «по отклонению», но в то же время, требует готовности к управлению в условиях чрезвычайной ситуации, когда особое значение приобретает способность принимать быстрые решения в условиях недостатка информации.

Благодаря обратной связи СТО адаптивны к внешним воздействиям, в том числе, к воздействиям со стороны системы управления. Обратной стороной адаптивности является дискретность поведения СТО. Это осложняет применение к социотехническим системам схемы "управления по отклонению" ибо такие факторы, как неточность, неопределенность, неоднозначность и нечеткость оперативной информации затрудняют анализ состояния объекта управления.

Результаты управления ныне проявляются в результате мониторинга состояния объекта управления, данных информационных и экспертных подсистем, обработанных соответствующими моделями анализа. С одной стороны, ЛПР отдаляется от объекта

управления, с другой, возрастает его роль, как элемента социотехнической системы. ЛПП обязано реагировать на множество внешних возмущений и парировать воздействие наиболее опасных из них.

В настоящее время интенсификация производства предполагает увеличение его объема не за счет привлечения новых работников, а благодаря эффективному использованию потенциала уже имеющихся. При этом эффективность использования трудового потенциала управления все больше становится зависимой от сбалансированности его компонентов, а также личностного и материально-вещественного факторов производства.

Роль менеджера состоит прежде всего в том, чтобы обеспечить необходимые ресурсы для решения поставленной задачи и координацию усилий ее членов команды персонала. Подобный подход делает весьма важными подбор и выдвижение кадров в рамках командных структур управления.

Так для построения схемы иерархического управления регионом и его СТО необходимо:

- идентифицировать объекты управления региона;
- выделить сферу ответственности для руководителей региона и сферу ответственности для исполнительного аппарата;
- определить конкретные административные регламенты, что позволит построить функциональную схему управления и определить ответственность для каждого члена команды;
- определить базовые требования к технической системе.

Далее следует получить формализованные описания структуры управления регионом, решаемых задач, объектов управления и их взаимоотношения с информационно-техническим ядром системы управления регионом. Это позволит на основе системного подхода определить взаимоотношения между информационно-техническими системами для поддержки принятия управленческих решений и сферами ответственности руководителей региона, задачами управления, объектами управления.

Сложность задач управления СТО вызывает необходимость исследования различных аспектов функционирования социотехнической системы.

Управление функционированием СТО требует мониторинга его текущего состояния. Мониторинг понимается как систематический сбор и обработка информации о состоянии определенного объекта или процесса, которая может быть использована для улучшения процесса принятия решения и внесения корректировки в управление объектом или процессом. Таким образом, результаты мониторинга предоставляют возможность вычислять состояние СТО, используя соответствующие модели анализа.

Сформулировать понятие модели вычисления состояния СТО как объекта управления (модели анализа) можно, исходя из понятий общей теории систем. Как отмечалось выше, управление СТО различной природы возможно благодаря принципу обратной связи. Общая схема системы управления с отрицательной обратной связью показана на рис. 2.

Уравнение состояния для линейной дискретной системы определяется уравнением состояния

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu(k), \quad (1)$$

$$u(k) = Cx(k), \quad (2)$$

где  $x(k)$  – вектор состояния объекта управления (СТО) в каждый текущий момент времени  $k$ ;  $g(k)$  – желаемый вход;  $y(k)$  – действительный выход объекта;  $\varepsilon(k) = g(k) - y(k)$  – рассогласование (целевая зависимость) между заданным входом и имеющим место выходом системы;  $u(k)$  – вектор сигналов управления;  $A, B$  – матрицы размеров  $n \times n$  и  $n \times m$ , соответственно;  $C$  – матрица коэффициентов размером  $r \times n$ .

Обозначив вектор состояний органа управления через  $x_u$ , запишем для него уравнение состояния в виде

$$x_u(k+1) = A_u x_u(k) + B_u \varepsilon(k), \quad (3)$$



$$u(k) = C_u x_u(k). \quad (4)$$

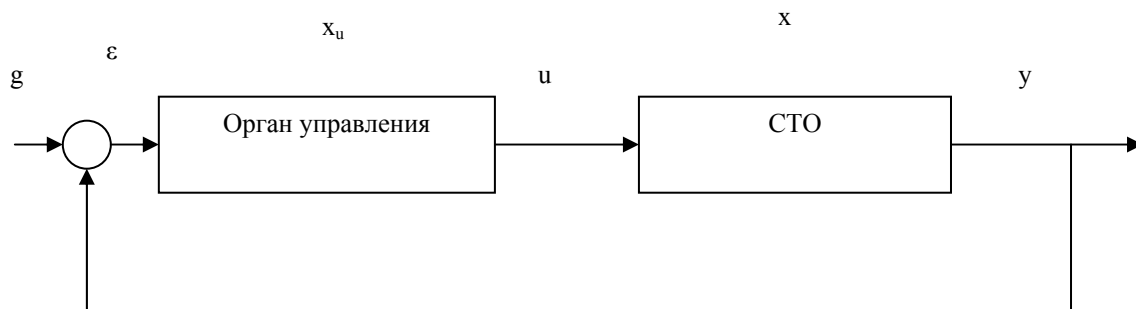


Рис. 2 Схема системы управления с отрицательной обратной связью

Представленные уравнения (1)–(4) представляют собой модель системы управления с обратной связью.

Подставим (4) в (1)

$$x(k+1) = Ax(k) + BC_u x_u(k), \quad (5)$$

откуда с учетом (2), получим

$$x(k+1) = Ax(k) + BC_u (A_u x_u(k-1) + B_u \varepsilon(k-1)). \quad (6)$$

Таким образом, для вычисления состояния объекта управления на шаге  $(k+1)$  необходимо знать его состояние на шаге  $k$ , а также состояние органа управления, желаемое и действительное значения выхода на шаге  $(k+1)$ . Кроме того, чем больше шаг дискретизации, тем большим будет запаздывать управляющее воздействие. Следовательно, необходима разработка моделей вычисления состояния СТО (моделей анализа) и соответствующих информационных технологий, позволяющих оперативно анализировать выходные данные объекта и интегрировать их в показатели, приемлемые для управления СТО.

Указанные модели используются в мониторинге различных объектов и систем. Мониторинг сложных технических систем, функционирующих в заданных режимах, осуществляет контроль, проверку и прогнозирование их технического состояния. Мониторинг экономических процессов позволяет осуществлять анализ и прогноз производства и распределения валового внутреннего продукта, государственных финансов, экономики в целом и основных отраслей, инфляции, номинальных и реальных курсов национальной валюты, инвестиционной деятельности в стране и участия в ней банков. Такое исследование весьма важно на макроуровне для выявления глобальных взаимосвязей основных макропоказателей, на микроуровне - на промышленном предприятии для полной и точной оценки характера, степени влияния и эффективности применяемых инструментов и механизмов их воздействия на происходящие процессы, на уровне технологического процесса как основе производства.

Система мониторинга позволяет производить независимые оценки тенденций развития состояния СТО, получать информацию о состоянии возмущающих факторов и их возможных изменениях, оперативно проводить анализ финансового состояния объекта и т.д. Для этого используются три основных компонента мониторинга. На уровне региона: конъюнктурные опросы, опросы по финансовым и инвестиционным анкетам; на уровне предприятия: фиксация параметров экономического состояния, деятельности, маркетинга; на уровне подразделений: сбор данных о закупках, запасах, производительности, потреблении ресурсов и т. д. Тем самым система мониторинга СТО любого уровня формирует необходимую основу для раннего обнаружения руководством возникающих в деятельности СТО диспропорций, что позволяет повысить эффективность реализуемой стратегии.

Формирование системы индексов и индикаторов социально-экономического развития различных стран и регионов прошло определенный путь. Такие показатели мониторинга, как индекс устойчивого развития, индекс социального развития, которые агрегируются из набора разноплановых исходных показателей в один, являясь моделью анализа состояния СТО, дают возможность получения достаточно полного и точного состояния рассматриваемого объекта.

Рассмотрим взаимодействие элементов в социотехнической системе, исходя из того, что объект управления формирует поток сообщений  $I$  о текущем состоянии объекта, а ЛПП (считаем, что здесь понятие ЛПП охватывает собственно ЛПП и другой персонал, входящий в СТО), получив эту информацию, преобразует ее в поток управляющих воздействий  $u$ , идущих на объект управления. Считаем, что ЛПП выбирает управления  $u$  из некоторого ограниченного множества  $U$ . Таким образом, производственная информация, полученная от подсистемы вычисления состояния СТО, циклически, с некоторой дискретностью, преобразуется в управляющие воздействия. Будем считать, что поток сообщений  $I$  поступает к ЛПП таким образом, что среднее число сообщений в единицу времени равно  $\lambda$ , тогда число сообщений в рассматриваемом промежутке времени  $t$  равно  $\lambda t$ . Будем полагать, что интенсивность обработки заявок лицом, принимающим решение, характеризуется показателем  $P(\mu, t)$ , где  $\mu$  – среднее время преобразования одного сообщения в управление на рассматриваемом промежутке времени  $t$ .

Для анализа управляемости социотехнической системы введем понятие очереди сообщений в потоке  $I$  из-за наличия определенного времени преобразования информации о состоянии объекта в последовательность команд  $u \in U$ . Вероятность  $F(\lambda, \mu)$  появления такой очереди зависит от числа сообщений в потоке  $I$  и времени преобразования одного сообщения в управление  $u \in U$ . Соотношение этих параметров в выражении  $F(\lambda, \mu)$  и будет определять свойства наблюдаемости и управляемости в рассматриваемой социотехнической системе.

Так, если соотношение параметров  $\lambda$  и  $\mu$  в выражении  $F(\lambda, \mu)$  таково, что

$$F(\lambda, \mu) \gg 1, \quad (7)$$

то социотехническая система управляема и ЛПП способно с помощью управляющих воздействий поддерживать заданный режим функционирования СТО. В случае, когда значение функции  $F(\lambda, \mu)$  приближается к единице, социотехническая система теряет свойство управляемости ибо появление очереди сообщений, требующих реакции ЛПП в реальном масштабе времени, не позволяет оперативно преобразовывать информацию о состоянии объекта управления в управляющие команды. Анализ состояния управляемости СТО показывает, что требование (7) может быть сведено к условию

$$\lambda \ll \mu, \quad (8)$$

что свидетельствует об управляемости социотехнической системы и возможности ЛПП обеспечивать поддержание заданных режимов функционирования СТО.

Понятие устойчивости СТО может быть сформулировано, например, следующим образом: устойчивость материально-финансовых потоков на предприятии – это их способность возвращаться в состояние, обеспечивающее правильные пропорции в их движении, несмотря на влияние дестабилизирующих факторов [6]. Для поддержки устойчивого движения материально-финансовых потоков необходима рациональная политика привлечения заемного капитала; достаточные уровни прибыльности, ликвидности, оборотности функционирования капитала.

В настоящее время существуют различные подходы к оценке устойчивости функционирования СТО. Для предприятия, в частности, часто используется пятифакторная модель Альтмана, позволяющая в зависимости от размера показателя  $Z$  осуществлять качественную оценку фиксированного состояния предприятия и прогнозировать возможность его банкротства [7]:

$$Z=3.3K1+1.0K2+0.6 K3+1.4K4+1.2K5, \quad (9)$$

где  $K1$  – рентабельность активов;  $K2$  – отдача всех активов;  $K3$  - коэффициент покрытия;  $K4$  - рентабельность активов;  $K5$  - доля оборотных средств в активах.

В работе [8] предложен интегральный показатель вида

$$Y_i = \sum_{j=1}^m b_j x_{ij}, \quad (10)$$

где  $Y_i$  – интегральная оценка финансового состояния  $i$ -го СТО;  $x_{ij}$  – совокупность ( $j = 1, m$ ) частных показателей  $i$ -го СТО;  $b_j$  – экспертная оценка значимости  $j$ -го показателя.

В работе [9] используется комплексный рейтинговый показатель вида

$$R_j = \sqrt{(1-x_{1j})^2 + (1-x_{2j})^2 + \dots + (1-x_{nj})^2}. \quad (11)$$

Оцениванию финансового состояния функционирования предприятия посвящены многочисленные работы [6-10]. Однако подходы, в основном, касались статического подхода в оценке движения материально-финансовых потоков на предприятии. Вопросы оценки устойчивости большинство исследователей решали путем сравнения финансового состояния функционирования предприятия в отчетном периоде в сравнении с прошлым. Для проверки состояния финансового равновесия может служить используемое в мировой практике «золотое правило экономики предприятия»[11]

$$ТПБ > ТОР > ТА > 100\%, \quad (12)$$

где  $ТПБ$  - темпы роста балансовой прибыли;  $ТОР$  - темпы роста объемов реализации;  $ТА$  - темпы роста активов предприятия; темпы роста берутся в отчетном периоде в сравнении с прошлым периодом.

Более полно правило устойчивости предприятия с использованием показателей его производственно-хозяйственной деятельности формируется в виде [6]:

$$ТПБ > ТСК > ТОА > ТОР > ТА > ТЗК > ТТЗК, \quad (13)$$

где  $ТПБ$  - темпы роста балансовой прибыли;  $ТСК$  - темпы роста собственного капитала;  $ТОА$  - темпы роста текущих активов;  $ТОР$  - темпы роста объемов реализации;  $ТА$  - темпы роста активов предприятия;  $ТЗК$  - темпы роста заемного капитала;  $ТТЗК$  - темпы роста текущего заемного капитала.

Какое-либо нарушение этого правила непосредственно приведет к ухудшению и даже нарушению устойчивости функционирования предприятия.

В СТО отклонения траектории реального функционирования от траектории цели происходят случайно, и оперативно получить точную информацию об этих отклонениях невозможно. Поэтому в общем случае об устойчивости или неустойчивости системы можно говорить только с определенной вероятностью.

Основным моментом в определении показателя устойчивости для многих СТО является то, что отклонения реальных траекторий развития происходят хотя и случайно, но вероятность определенного отклонения от траектории цели в каждой точке может быть определена, т. е. существует закон распределения этих отклонений. Вероятность невыхода реальной траекторией за пределы области цели является показателем устойчивости функционирования СТО. При анализе устойчивости СТО цель деятельности системы может задаваться относительно различных параметров (прибыли, объемов выпускаемой продукции, объемов сбыта и др.)

Рассмотрим простейший случай функционирования СТО-предприятия. Пусть в некотором периоде функционирования суммарный доход предприятия равен  $x_1$ , а издержки  $x_2$ . Предположим, что доход и издержки являются случайными величинами, имеющими нормальное распределение с математическими ожиданиями  $x_1^*$  и  $x_2^*$ , среднеквадратичными отклонениями  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ . Считаем, что  $x_{2inf}$ ,  $x_{2sup}$  – нижняя и верхняя границы доверительного интервала прогноза будущих значений параметра  $x_2$  в рассматриваемом периоде ( $x_{2inf} \geq 0$ ). Целью функционирования предприятия является получение прибыли, большей

или равной  $Z$ . Требуется исследовать систему на предмет устойчивости функционирования относительно поставленной цели, то есть найти вероятность события  $x_1 - x_2 \geq Z$  при  $x_2 \in [x_{2inf}; x_{2sup}]$ . Графически область  $\Omega$  значений доходов и издержек изображена на рис. 1, это область выше прямой  $x_1 - x_2 - Z = 0$ , ограниченная прямыми  $x_2 = x_{2inf}$  и  $x_2 = x_{2sup}$ .

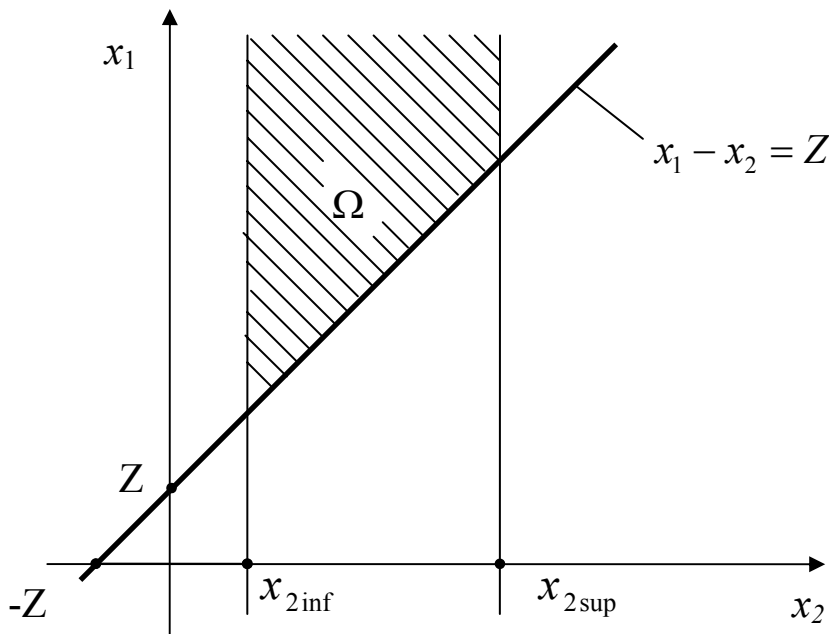


Рис. 3 Область устойчивого функционирования СТО

Относительно переменных  $x_1$  и  $x_2$  область  $\Omega$  характеризуется неравенствами  $Z + x_2 < x_1 < \infty$ ,  $x_{2inf} < x_2 < x_{2sup}$ . Следовательно, вероятность того, что действительные значения доходов и издержек предприятия в рассматриваемом периоде попадут в данную область равна:

$$P(x_1 - x_2 - Z \geq 0; x_2 \in [x_{2inf}; x_{2sup}]) = \int_{x_{2inf}}^{x_{2sup}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_2} \cdot e^{-\frac{(x_2 - x_2^*)^2}{2\sigma_2^2}} dx_2 \cdot \int_{Z+x_2}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_1} \cdot e^{-\frac{(x_1 - x_1^*)^2}{2\sigma_1^2}} dx_1 \quad (14)$$

или

$$P(x_1 - x_2 - Z \geq 0; x_2 \in [x_{2inf}; x_{2sup}]) = \frac{1}{2\pi\sigma_1\sigma_2} \int_{x_{2inf}}^{x_{2sup}} e^{-\frac{(x_2 - x_2^*)^2}{2\sigma_2^2}} dx_2 \cdot \int_{Z+x_2}^{\infty} e^{-\frac{(x_1 - x_1^*)^2}{2\sigma_1^2}} dx_1$$

Из формулы (14) видно, что устойчивость, т.е. вероятность попадания случайной величины в область цели, равна интегралу от плотности распределения данной случайной величины по области цели. К отысканию вероятности попадания случайной величины в некоторую область задача сводится и в более сложных случаях. Для этого необходимо проинтегрировать плотность распределения функции случайных величин параметров системы по области цели. Адекватность и работоспособность данной модели проверена на примере конкретного СТО[12].

Принимая во внимание, что основным показателем результативности предприятия признан показатель прибыльности собственного капитала, на основе полученной в ре-

зультате мониторинга информации ЛПР должно сформулировать соответствующие рекомендации. Различные модели оценки эффективности управления корпоративным предприятием и подходы к моделированию устойчивости позволяют учитывать неопределенности и создавать модели поддержки принятия решений для обеспечения устойчивости процесса его функционирования и развития.

В то же время следует придерживаться принципа разумной достаточности использования методов финансового анализа, т.е. использовать только те показатели, которые являются информационной основой для принятия управленческих решений. Примером может служить решение вопросов информационной поддержки принятия решения при управлении СТО уровня предприятия. В результате выполненной подготовительной работы системы, получают полный набор данных для расчета финансовых коэффициентов, характеризующих состояние предприятия на конкретную дату (табл. 1). Полученные данные сводятся в финансовый отчет корпоративного предприятия за период, после чего специальным образом формируются четверки коэффициентов и строятся таблицы коэффициентов [13, 14].

По результатам полученных финансовых коэффициентов строится таблица эффективности управления корпоративным предприятием для поддержки принятия решения финансовым директором или другим лицом, принимающим решение. Разработанная подсистема позволяет Председателю правления или финансовому директору получить финансовые коэффициенты работы за произвольный период с определенной дискретностью, устраивающей ЛПР.

Таблица 1

Исходные финансовые коэффициенты

Название коэффициента(К)	За предыдущий период	За текущий период	Изменение коэффициента
К текущей ликвидности	1,6207	7,4545	5,8338
К критической ликвидности	0,8374	4,4651	3,6277
К абсолютной ликвидности	0,0769	1,4932	1,4163
К общей задолженности	0,4064	0,3307	-0,0757
К зависимости от долгосрочной задолженности	0,5161	0,4632	-0,0529
К финансовой зависимости	0,5936	0,6693	0,0757
К оборотности запасов	4,6869	5,257	0,5701
К оборотности дебиторской задолженности	8,4465	8,2645	-0,182
К оборотности кредиторской задолженности	6,937	13,1685	6,2315
К оборотности активов	0,4902	0,4916	0,0014
К чистой прибыли	0,137	0,137	0
Рентабельность активов (ROA)	0,0671	0,0673	0,0002
Рентабельность собственного капитала (ROE)	0,1131	0,1067	-0,0064
Чистая прибыль на акцию (EPS)	0,0005	0,0005	0
Отношение рыночной цены акции к прибыли на акцию (P/E)	0,5	0,5	0

Информация, позволяющая по показателям финансового отчета анализировать результативность управления в интересах акционеров, включая и дочерние предприятия, показана на рис. 4, рис. 5.

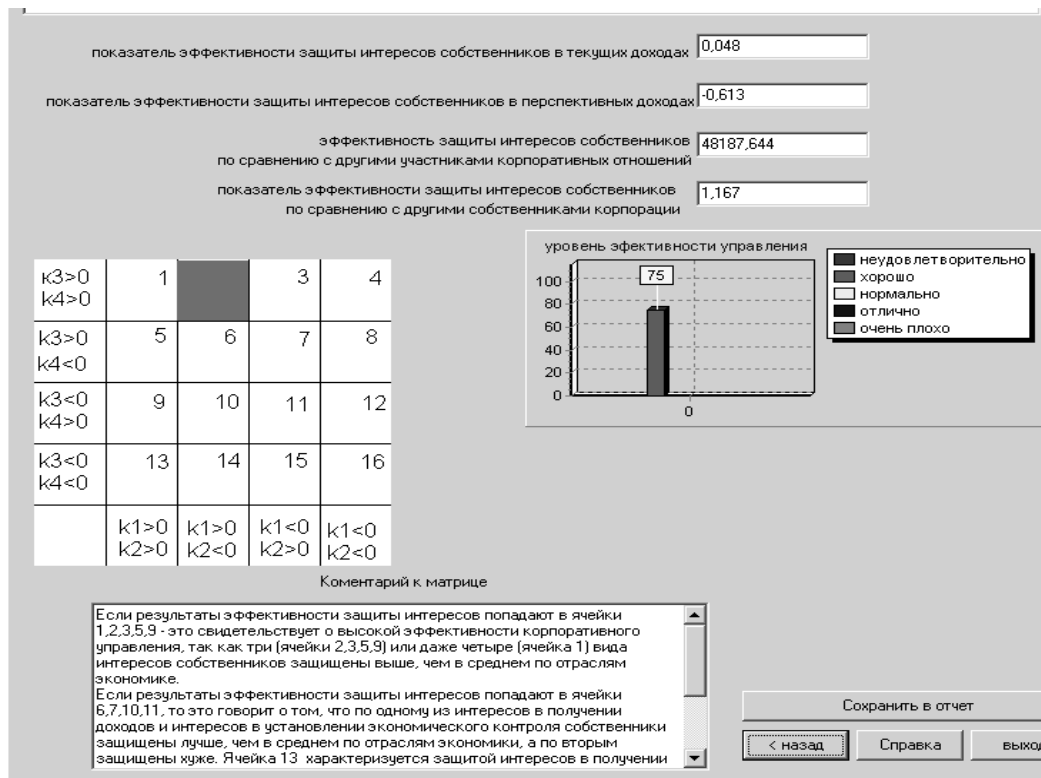


Рис. 4 Информация для оценки эффективности управления

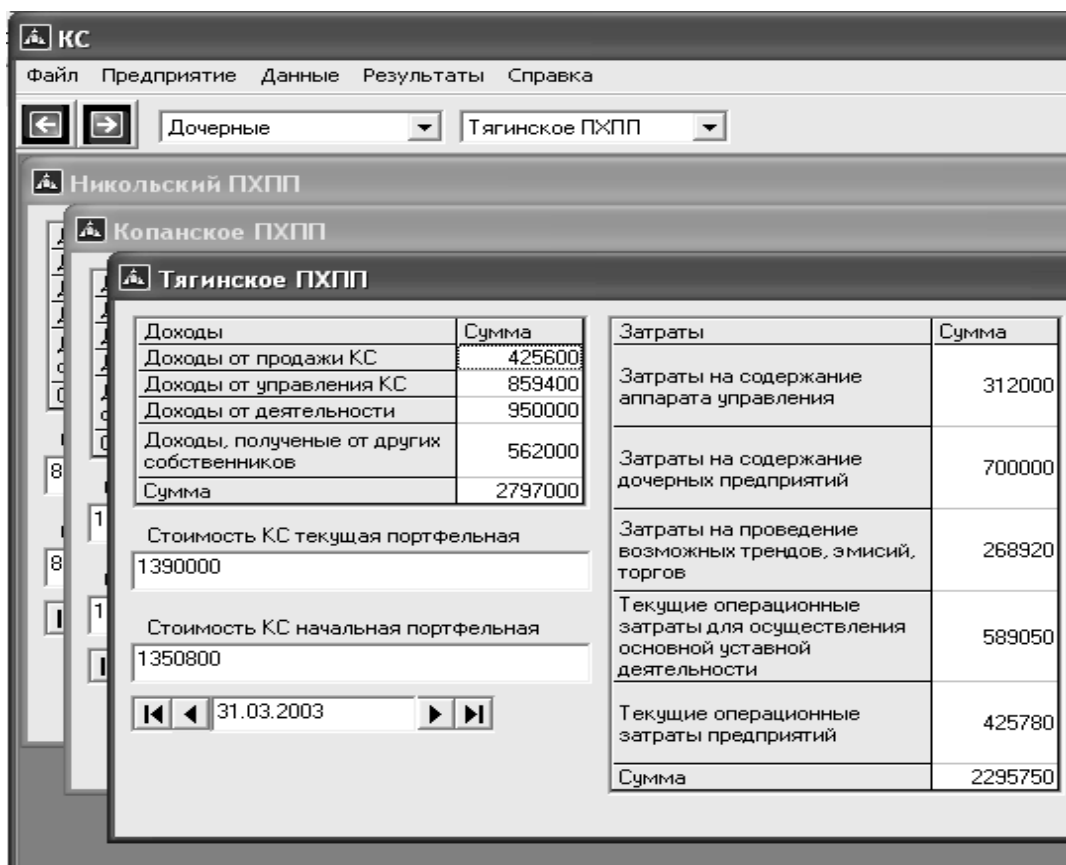


Рис. 5 Приложение для поддержки принятия решений при управлении дочерними предприятиями

**Выводы.** Управление, обеспечивающее совокупность и баланс социальной, экологической, экономической и иных составляющих развития территории, требует единого подхода к различным расположенным здесь объектам. Учитывая, что системный подход

позволяет представить организацию как сложную открытую социотехническую систему, имеющую материальные, финансовые, кадровые, информационные и другие виды ресурсов, следует переходить на новые модели управления, в частности, на модели социотехнических систем, учитывающие интегрирование технологической и социальной подсистем рассматриваемых объектов.

Современное управление объектами данного класса последовательно развивается в сторону социологизации, большего внимания к вопросам подбора и выдвижения кадров; методов и стиля управления; материального стимулирования персонала и т.д. Указанные аспекты деятельности СТО нуждаются в соответствующем информационном обеспечении. Возможное решение вопроса проиллюстрировано на примере создания инструментария для оценки эффективности управления корпоративным предприятием, заключающегося в формировании и использовании перекрестной таблицы из специальным образом рассчитанных коэффициентов. Такой подход позволяет при информационной поддержке принятия решения учитывать эффективность защиты интересов отдельных акционеров корпоративного предприятия и решать таким образом социальные проблемы работников.

In the article questions are of decision of problem of informative support of management a region and objects, located on territory.

1. Рогальский Ф.Б. Концепция открытых технологических комплексов в управлении регионом // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2000. – № 1(6). – С. 148 – 156.
2. Рогальский Ф.Б. Управление устойчивым функционированием социотехнических объектов // Системні технології. Регіональний міжвузівський збірник наукових праць. – Випуск 6 (53). – Дніпропетровськ, 2007. – С. 202–213.
3. Богданов А. А. Тектология: (Всеобщая организационная наука). – В 2-х кн. – М.: Экономика, 1989. – кн. 1. – 304 с.; кн. 2. – 351 с.
4. Димитрова Л.М. Соціологія управління та організацій. – К.: ІВЦ "Видавництво «Політехніка»", ТОВ "Ліра-К", 2005. – 156 с.
5. Холл Р. Организации: структуры, процессы, результаты: Пер с англ. – СПб.: Питер, 2000. – 512 с.
6. Кизим М.О., Забродський В.А., Зінченко В.А., Копчак Ю.С. Оцінка і діагностика фінансової стійкості підприємства: Монографія. – Х.: Видавничий дім „ІНЖЕК”, 2003. – 144 с.
7. Ковалев В.В. Анализ финансового состояния и прогнозирование банкротства. – СПб.: Аудит-Ажур, 1994. – 162 с.
8. Финансовое управление фирмой / Под ред. В.И.Терехина. – М.: Экономика, 1998. – 350 с.
9. Шеремет А.Д., Сайфуллин Р.С. Методика финансового анализа. – М.: ИНФРА-М, 1995. – 176 с.
10. Олексюк А.С. Системы поддержки принятия финансовых решений на микроуровне. – К.: Наукова думка, 1998. – 507 с.
11. Абрютин М.С., Грачев А.В. Анализ финансово-экономической деятельности предприятия. – М.: ДИС, 1998. – 256 с.
12. Рогальский Ф.Б., Сидорук М.В., Сидорук В.В. Устойчивость производственно–экономической системы при противоречивости интересов ее элементов // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2004. – №2(20). – С. 173.
13. Сидорук М.В., Рогальский Ф.Б. Использование SWOT-анализа в системе управления корпорацией // Вестник ХНТУ. – 2005. – № 3 (23). – С. 143 – 149.
14. Рогальский Ф.Б., Курилович Я.Е., Цокурено А.А. Математические методы анализа экономических систем: В двух кн. – Київ: Наукова думка, 2001. – Кн. 1: Теоретические основы. – 435 с.

## ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ ОЦЕНОК ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАЗМЕЩЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВ

Ходаков В.Е., Чёрный С.Г., Мартыновец С.Н.

**Введение.** В настоящее время при оценке и анализе качественной информации используется экспертное оценивание посредством парных сравнений, причем процедуры экспертного оценивания, применяемые для решения прогнозных задач, практически не отличаются от тех, которые принято использовать в управленческой деятельности, осуществляемой в условиях неопределенности. При этом, одна из основных проблем — получение согласованных субъективных оценок экспертов. Причем и в управлении, и в прогнозных расчетах, несмотря на большое разнообразие задач, решаемых с привлечением экспертной информации, в основном используются формальные постановки, сводящиеся к классификации и ранжированию. Это и естественно, так как довольно низкая разрешающая способность экспертов позволяет получать от них только качественную информацию, количественное представление которой возможно либо в номинальной, либо в ранговой шкале. Поэтому на практике, как правило, принимаются оценки экспертов, несогласованность которых не превышает 10-15%. Вместе с тем для получения более качественных решений необходимой предпосылкой все же должна быть минимально возможная несогласованность оценок.

**Анализ публикаций.** Применение экспертных суждений актуально в вопросах формирования модели оптимального развития и размещения производства (предприятия), что позволяет по территории выбрать применяемые технологические способы производства, определить объем и ассортимент выпуска и реализации продукции, ее перевозок и использования.

В области экспертных оценок и проведения экспертиз известны работы: Г.С. Поспелова, Ю.Н. Тюрина, А.И. Орлова, А.А. Фридмана, Э.Г. Петрова, И.И. Коваленко и др.

**Анализ проблемы и ее решение.** Рассогласованность оценок обуславливается несколькими факторами. Она может быть как естественной, зависящей от природы сравниваемых объектов, так и следствием ошибок-измерений и «непоследовательности» экспертов в своих суждениях, проявление которой возможно в условиях нечеткого представления информации об объектах и неполноты знаний об их свойствах. Понятно, что избежать естественной несогласованности и уменьшить ее не представляется возможным. Поэтому пути уменьшения несогласованности оценок экспертов следует искать в области субъективных факторов.

Ограничения в оптимизационных моделях развития и размещения отражают такие моменты, как:

- исходное состояние системы;
- социальные и экономические цели, которые должны быть достигнуты при размещении отдельных объектов или групп объектов рассматриваемой системы (например, тенденция в необходимости ускоренного развития районов);
- взаимозаменяемость продуктов, емкость рынка при разных уровнях цен;
- допустимость тенденции развития отдельных объектов или множеств объектов по социальным условиям;
- сущность и связи между объектами системы;
- возможность использования данной системой ограниченных производственных ресурсов;



- связи между последовательными во времени состояниями одного и того же объекта;
- условия транспортировки (сырье, материалы и готовая продукция (в некоторых случаях и рабочая сила)).

Условия размещения производства достаточно разнообразны, выделим два наиболее важных:

- 1) природные условия и характеристики производственной деятельности фирмы;
- 2) относительные затраты на производство на разных территориях, скорректированные с учетом сбытовых затрат и транспортных расходов при доведении продукции до потребителей как основа создания относительных преимуществ перед остальными конкурентами.

Размещение факторов производства между альтернативными способами использования осуществляется в соответствии со структурой потребительского спроса, которая в свою очередь, отражает некоторый заданный уровень национального дохода и его распределение. Модели оптимального развития и размещения производства по территории позволяют выбрать применяемые технологические способы производства, определить объем и ассортимент выпуска и реализации продукции, ее перевозок и использования.

При выборе членов экспертной группы для теории экономического районирования или рационального стандарта промышленного предприятия В. Лаунхардта можно применить теорию попарного сравнения, что позволит получить наиболее точное отражение субъективных предпочтений, поскольку на выбор здесь налагается гораздо меньше ограничений, чем при других правилах экспертного оценивания. При этом способе каждый раз эксперту приходится делать выбор всего из двух альтернатив. Естественно, это облегчает работу экспертов, но одновременно ставит вопрос о возможно недостаточном объеме информации для получения надежных оценок и это характеризуется тем, что один бит информации требуется при сравнении только одной пары из  $n$  объектов, а сравниваемых пар  $n(n-1)/2$ , следовательно  $n(n-1)/2 > \log_2(n!)$ , тогда объем затраченной информации на решение задачи ранжирования, в сумме превосходит другие.

Для получения парных сравнений объектов  $A_i (i = \overline{1, n})$  используется анкетирование, предусматривающее заполнение таблицы, в котором количество строк равняется количеству столбцов (табл.1).

Таблица 1

Матрица парных сравнений

Объекты	$A_1$	$A_2$	...	$A_n$
$A_1$	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$
$A_2$	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$
$A_n$	$a_{n1}$	$a_{n2}$	...	$a_{nn}$

Значение элемента, стоящего на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца определяется по формуле:

$$a_{ij} = \begin{cases} 0, & A_i < A_j \\ 1, & A_i \approx A_j \\ 2, & A_i > A_j \end{cases}$$

В соответствии с правилами формирования  $a_{ij}$  на пересечении  $i$ -й строки и  $j$ -го столбца должен стоять «0», если объект с номером  $i$ , по мнению эксперта, менее значим, чем объект с номером  $j$ , должна стоять «1», если объекты равнозначны, и «2», если  $i$ -й  $>$   $j$ -й [1].

Рассмотрим пример на распределение торговой зоны для расширения предприятия. В модели приняты следующие допущения:

- 1) существование рынка;
- 2) произвольная схема расселения населения;
- 3) размещение  $m$  конкурирующих фирм (предприятий)  $F_1, F_2, \dots, F_m$  в данных точках;
- 4) продукция одного качества;
- 5) предприятия характеризуются  $\rho$  признаками;
- 6) степени важности признаков при принятии решения о поездке варьируются между индивидуумами;
- 7) одна фирма (предприятие) предпочитается другой, если ее признаки по своей степени важности более близки к оценке потребителя.

Пусть  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  - множество покупателей, а  $Y = \{y_1, y_2, \dots, y_p\}$  - множество признаков фирм (предприятий) и  $Z = \{z_1, z_2, \dots, z_m\}$  - множество фирм предприятий).

Пусть  $\Phi_R : X \times Y \rightarrow [0,1]$  есть функция принадлежности нечеткого бинарного отношения  $R$ . Для всех  $x \in X$  и всех  $y \in Y$  функция  $\Phi_R(x, y)$  - степень важности признака  $y$  по оценке индивидуума  $x$  при определении им предпочтения фирмы предприятия).

Отношение  $R$  можно представить в матричной форме

$$R = \begin{matrix} & \begin{matrix} y_1 & y_2 & \dots & y_p \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \Phi_R(x_1, y_1) & \Phi_R(x_1, y_2) & \dots & \Phi_R(x_1, y_p) \\ \Phi_R(x_2, y_1) & \Phi_R(x_2, y_2) & \dots & \Phi_R(x_2, y_p) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Phi_R(x_n, y_1) & \Phi_R(x_n, y_2) & \dots & \Phi_R(x_n, y_p) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Пусть  $d : Y \times Z \rightarrow [0,1]$  есть функция принадлежности нечеткого бинарного отношения  $S$ . Для всех  $y \in Y$  и всех  $z \in Z$   $d_S(y, z)$  = степень принадлежности или совместимости фирмы  $z$  признаком  $y$ . В матричной форме отношение имеет вид

$$S = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & \dots & z_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} d_S(y_1, z_1) & d_S(y_1, z_2) & \dots & d_S(y_1, z_m) \\ d_S(y_2, z_1) & d_S(y_2, z_2) & \dots & d_S(y_2, z_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_S(y_p, z_1) & d_S(y_p, z_2) & \dots & d_S(y_p, z_m) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Теперь можно получить матрицу  $T$ :

$$T = \begin{matrix} & \begin{matrix} z_1 & z_2 & \dots & z_m \end{matrix} \\ \begin{matrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} \mu A_1(x_1, z_1) & \mu A_2(x_1, z_2) & \dots & \mu A_m(x_1, z_m) \\ \mu A_1(x_2, z_1) & \mu A_2(x_2, z_2) & \dots & \mu A_m(x_2, z_m) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu A_1(x_n, z_1) & \mu A_2(x_n, z_2) & \dots & \mu A_m(x_n, z_m) \end{bmatrix} \end{matrix}$$

элементы которой определяются функцией принадлежности

$$\mu A_i(x, z_i) = \frac{\sum_y \Phi_R(x, y) \cdot d_S(y, z_i)}{\sum_y \Phi_R(x, y)} \quad \text{для всех } x \in X, y \in Y \text{ и } z \in Z. \quad (1)$$

Сумма  $\sum_y \Phi_R(x, y)$  равна степени нечеткого подмножества [2], указывающей число важнейших признаков  $y$ , которое потребитель  $x$  используют для оценки предприятия, а  $\mu A_i(x, z_i)$  можно интерпретировать как взвешенную степень предпочтения фирмы  $z_i$  инди-

видуумом  $x$ . Функция предпочтения, описываемая уравнением (1), удовлетворяет определению выпуклого нечеткого множества

$$\mu_{A_i}[\lambda(x_1, z_i) + (1 - \lambda)(x_2, z_i)] \geq \min[\mu_{A_i}(x_1, z_i), \mu_{A_i}(x_2, z_i)] \quad (2)$$

для всех  $x_1$  и  $x_2$ , всех  $z_i \in Z$  и всех  $\lambda \in [0,1]$

Поскольку все  $\mu_{A_i}(x, z_i)$  выпуклые, их пересечения также выпуклые функции. Т.о., можно построить матрицы  $W$ :

$$W = \begin{bmatrix} \mu_{A_1}(x_1, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_1, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_1, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_1, z_m) \\ \mu_{A_1}(x_2, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_2, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_2, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_2, z_m) \\ \mu_{A_1}(x_n, z_1) \wedge \mu_{A_2}(x_n, z_2) & \dots & \mu_{A_{m-1}}(x_n, z_{m-1}) \wedge \mu_{A_m}(x_n, z_m) \end{bmatrix}$$

Порог разделения торговой зоны может быть ограничен условием

$$k < \min_{ij} \max_x \min [\mu_{A_i}(x, z_i), \mu_{A_j}(x, z_j)] \quad (3)$$

Если порог  $k$  выбран, то торговая зона  $M_i$ ,  $i=1,2,\dots,m$  описывается уровнем множеством

$$M_i = \{x | \mu_{A_i}(x) \geq \min_{ij} \max_x \min [\mu_{A_i}(x, z_i), \mu_{A_j}(x, z_j)]\} \text{ для всех } x \in M_i \quad (4)$$

Данное выражение подтвердим следующим образом. Обозначим через  $U$  число потребителей. Пусть нечеткие подмножества  $A_1$  и  $A_2$ , называемое предпочтением  $F_1$  и предпочтением  $F_2$ , представляют потребительские пространственные предпочтения и зададим соотношениями (5)-(6):

$$\mu_{A_1}(x) = \begin{cases} [1 + k(x - \alpha_1)^2]^{-1} & \text{при } k \geq 1, x \leq \alpha_1, \\ [e^{-k(x - \alpha_1)^2}]^2 & \text{при } k \geq 1, x \geq \alpha_1, \end{cases} \quad (5)$$

$$\mu_{A_2}(x) = e^{-k(x - \alpha_1)^2} \text{ при } k \geq 1, \text{ и любых } x, \quad (6)$$

где  $\mu_{A_i} : U \rightarrow [0,1]$  функция принадлежности, принимающая свои значения в множестве принадлежности  $[0,1]$ ;  $\mu_{A_2}(x)$  описывает степень предпочтения фирмы  $F_i$  потреблением  $x$  из  $U$ .

Уравнение (5)-(6) описывают выпуклые нечеткие подмножества удовлетворяющие условию (7):

$$\mu_{A_i}[\lambda x_1 + (1 - \lambda)x_2] \geq \min[\mu_{A_i}(x_1), \mu_{A_i}(x_2)], \text{ для всех } x_1 \text{ и } x_2 \in U \text{ и всех } \lambda \in [0,1] \quad (7)$$

Данное допущение выпуклости может быть оправданно в том смысле, что при нем должно предполагаться монотонное увеличение степени предпочтения с уменьшением расстояния до предприятия. После определения точного представления нечеткого понятия предпочтения, можно задать способ, с помощью которого рынок товаров может быть поделен на сегменты, соответствующие отдельным предприятиям. Поскольку нечеткие подмножества  $A_1$  и  $A_2$  ограничены максимальными степенями  $\sup_x \mu_{A_1}(x)$  и  $\sup_x \mu_{A_2}(x)$  в точках  $\alpha_1$  и  $\alpha_2$  соответственно, то их пересечение  $A_1 \cap A_2$  также ограничено выпуклым нечетким подмножеством [3] и определяется функцией принадлежности

$$\mu_{A_1 \cap A_2}(x) = \begin{cases} e^{-k(x - \alpha_2)^2} & \text{при } k \geq 1, x \leq \gamma \\ [e^{-k(x - \alpha_1)^2}]^2 & \text{при } k \geq 1, x \geq \gamma \end{cases} \quad (8)$$

принимающее максимальное значение  $\sup_x \mu_{A_1 \cap A_2}(x)$  в  $\gamma$ . Применяя теорему об отделимости [3], получаем, что наивысшая степень разделения зоны, равная  $1 - \sup_x \mu_{A_1 \cap A_2}(x)$ , достигается в точке  $\gamma$ , через которую проходит гиперплоскость.

Коэффициент относительной важности, позволяющий сравнить между собой объекты, формируется по результатам индивидуального оценивания опроса эксперта, например. Приведем пример матрицы:

$$A = \begin{vmatrix} 1 & 2 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 1 & 2 & 0 & 2 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 1 \\ 2 & 2 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 2 & 1 \end{vmatrix}$$

Последовательность итераций без учета нормирующего множителя:

$$p^0 = \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad p^1 = \begin{pmatrix} 7 \\ 5 \\ 4 \\ 5 \\ 4 \end{pmatrix} \quad p^2 = \begin{pmatrix} 33 \\ 21 \\ 18 \\ 29 \\ 18 \end{pmatrix} \quad p^3 = \begin{pmatrix} 147 \\ 93 \\ 94 \\ 137 \\ 94 \end{pmatrix} \quad p^4 = \begin{pmatrix} 706 \\ 469 \\ 462 \\ 617 \\ 462 \end{pmatrix}$$

Итерационная значимость первого порядка  $p^1$  представляет собой сумму «очков», набранных каждым объектом в результате экспертного сравнения. Для дальнейшего анализа рассмотрим матрицу R – нечеткого бинарного отношения и матрицу S (степень принадлежности к признаку):

$$R = \begin{bmatrix} 0,7 & 0,5 & 0,1 & 0,3 \\ 0,4 & 0,4 & 0,5 & 0,3 \\ 0,2 & 0,3 & 0,7 & 0,2 \\ 0,4 & 0 & 0,7 & 1 \\ 0,9 & 0,8 & 0,9 & 1 \\ 0,7 & 0,3 & 0,5 & 0,7 \\ 0,8 & 0,3 & 0,4 & 0,8 \\ 0,5 & 0,8 & 0,8 & 0,2 \\ 0,5 & 0,4 & 0,5 & 0,5 \\ 0,6 & 0,7 & 0,7 & 0,5 \\ 1 & 0,1 & 0,1 & 0,1 \\ 0,3 & 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad S = \begin{bmatrix} 0,8 & 0,5 & 0,9 & 0,7 \\ 0,5 & 0,7 & 0,8 & 0,9 \\ 0,7 & 0,9 & 0,5 & 0,4 \\ 0,5 & 0,3 & 0,4 & 0,6 \end{bmatrix}$$

Используя (1) получим матрицу T, а из матрицы T получаем матрицу W:

$$T = \begin{vmatrix} 0,644 & 0,550 & 0,750 & 0,725 \\ 0,638 & 0,638 & 0,656 & 0,638 \\ 0,643 & 0,714 & 0,607 & 0,579 \\ 0,624 & 0,538 & 0,529 & 0,552 \\ 0,625 & 0,589 & 0,639 & 0,642 \\ 0,641 & 0,555 & 0,636 & 0,627 \\ 0,639 & 0,526 & 0,643 & 0,639 \\ 0,635 & 0,691 & 0,683 & 0,657 \\ 0,632 & 0,595 & 0,642 & 0,637 \\ 0,628 & 0,628 & 0,660 & 0,652 \\ 0,746 & 0,531 & 0,823 & 0,685 \\ 0,626 & 0,587 & 0,509 & 0,526 \end{vmatrix} \quad W = \begin{vmatrix} 0,550 & 0,644 & 0,644 & 0,550 & 0,550 & 0,725 \\ 0,638 & 0,638 & 0,638 & 0,638 & 0,638 & 0,638 \\ 0,643 & 0,607 & 0,579 & 0,607 & 0,579 & 0,579 \\ 0,538 & 0,529 & 0,552 & 0,529 & 0,538 & 0,529 \\ 0,589 & 0,625 & 0,625 & 0,589 & 0,589 & 0,639 \\ 0,555 & 0,636 & 0,627 & 0,555 & 0,555 & 0,627 \\ 0,526 & 0,639 & 0,639 & 0,526 & 0,526 & 0,639 \\ 0,635 & 0,635 & 0,635 & 0,683 & 0,657 & 0,657 \\ 0,595 & 0,632 & 0,632 & 0,595 & 0,595 & 0,637 \\ 0,628 & 0,628 & 0,628 & 0,628 & 0,628 & 0,652 \\ 0,531 & 0,746 & 0,685 & 0,531 & 0,531 & 0,685 \\ 0,587 & 0,509 & 0,526 & 0,509 & 0,526 & 0,509 \end{vmatrix}$$

Используя информацию, содержащуюся в матрице W, эксперты могут сделать вывод:

$$\begin{aligned} \max_x \min [\mu_{A_1}(x, z_1), \mu_{A_2}(x, z_2)] &= 0,643; \quad \max_x \min [\mu_{A_1}(x, z_1), \mu_{A_3}(x, z_3)] = 0,746; \\ \max_x \min [\mu_{A_1}(x, z_1), \mu_{A_4}(x, z_4)] &= 0,685; \quad \max_x \min [\mu_{A_2}(x, z_2), \mu_{A_3}(x, z_3)] = 0,683; \\ \max_x \min [\mu_{A_2}(x, z_2), \mu_{A_4}(x, z_4)] &= 0,657; \quad \max_x \min [\mu_{A_3}(x, z_3), \mu_{A_4}(x, z_4)] = 0,725. \end{aligned}$$

0,643 – минимальное значение. Теперь из матрицы Т выбираем для  $k$  наибольшее возможное значение, которое было бы меньше 0,643 и получаем, что  $k=0,641$ , исходя из этого, распределим зоны:

$$M_1 = \{x_1, x_3, x_{11}\}, \quad M_2 = \{x_3, x_8\}, \quad M_3 = \{x_1, x_2, x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}\}, \quad M_4 = \{x_1, x_5, x_8, x_{10}, x_{11}\}.$$

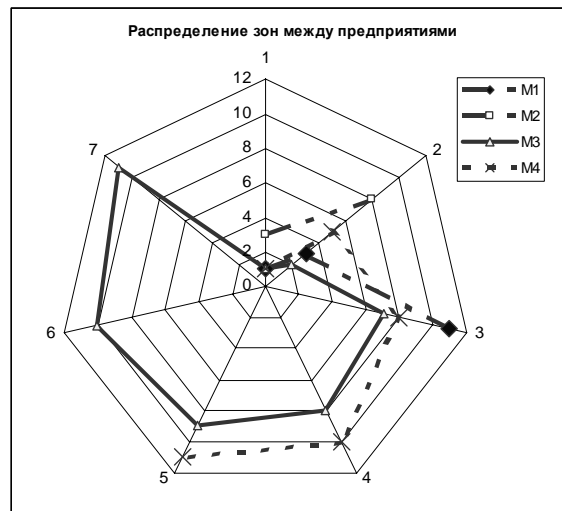


Рис. 1 Графическое распределение зон между предприятиями

За исключением фактора  $x_2, x_5$  группа  $M_3$  включает в себя группу  $M_4$ , такое происходит постоянно когда два предприятия схожи или эквивалентны по своей привлекательности и только при конечном наложении экспертной оценки специалисты выбирают одну группу.

**Вывод.** В данной работе проведен анализ проблемы разделения на сегменты в нечетких условиях с использованием теории нечетких множеств и теории попарного сравнения. Такие допущения, как о постоянстве транспортных расходов и об одинаковом достоинстве предприятий заменяются нечетким восприятием расстояния и привлекательности фирм относительно различных характерных свойств. Предпочтение, отдаваемое потребителями тому или иному предприятию, представляется в виде выпуклого нечеткого подмножества для исследования перекрытия сегментов – торговых зон. Для лучшего представления реальных условий разделения сегментов, сделана попытка ослабить допущения об однородности предприятий рынка, а перекрытие сегментов рассматривается как общий, а не частичный случай. В результате применения теории попарного сравнения налагается гораздо меньше ограничений, чем при других правилах экспертного оценивания.

The approach to a solution of the task of structure analysis structure and choice of the zone for accommodation of the enterprise with provision for opinions expert and using the device of the fuzzy sets. The Enumerated factors of the analysis of the expert groups, restrictions in оптимизационных model of the development and accomodations enterprise. The offered approach of the entering the expert group for theory economic distribution.

1. Петров Э.Г., Новожилова М.В., Гребенник И.В., Соколова Н.А. Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах. Учебное пособие/Под общей редакцией Э.Г. Петрова – ОЛДЦ-плюс, 2003.-380с.
2. Deluca, A., and S. Termini (1968). A definition of non-probabilistic entropy in the setting of fuzzy set. J. Math. Analysis & Appl., 23, 421-427
3. Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. Inf. & Control, 8, 338-353.

## РЕФЕРАТЫ

**Степанкова Г.А., Баклан І.В.** Побудова гібридних моделей на основі прихованих марківських моделей та нейронних мереж.

Зроблений огляд існуючих гібридних моделей – прихованих марківських моделей і нейронних мереж. Розглянуті принципи комбінування нейронних мереж з прихованими марківськими моделями. Приведені короткі порівняльні характеристики систем, які використовують таку архітектуру.

**Маркута О.В., Мысак В.Ф.** Программная реализация и исследование особенностей метода группового учета аргументов.

В статье представлена программная реализация МГУА. С помощью разработанного приложения были исследованы следующие особенности метода: влияние на адекватность модели уровня шумов, количества отбираемых полиномов, размерности задачи, размеров подмножеств. Были представлены результаты исследований.

**Славич В.П.** Модель автоматизованої системи управління потоками транспортних засобів.

Запропоновано модель управління режимами роботи світлофорної сигналізації на системі перехресть, що побудована на основі апарату нечіткої логіки.

**Хомченко А.Н., Козуб Н.А.** Геометрическое моделирование дискретных элементов с криволинейными границами.

Построены новые геометрические модели конечных элементов с криволинейными границами.

**Chizhenkova R.A.** Mathematical Aspects of Bibliometrical Analysis of Neurophysiological Investigations of Action of Non-ionized Radiation (Medline-Internet).

Bibliometrical data on investigations carried out in different neurophysiological objects (the brain, the cortex, neurons, nerves) with application of electromagnetic, magnetic, and electrical fields are presented. Quantitative characteristics of publications of choose subdivisions during 35-year time interval (1966-2000) are considered. Dynamics of number of papers of these trends is analyzed. Conclusion about prospects of investigations of action of non-ionized radiation in neurophysiological objects is done.

**Шелестов А.Ю** Имитационная модель взаимодействия GRID-узлов с очередью доступа к общей памяти.

В статье рассматривается модель взаимодействия Grid-узлов с очередью доступа к общей памяти, построенная на основе аппарата сетей Петри. Исследованы структурные свойства модели, в частности, показано, что построенная сеть является ограниченной, живой и не содержит недостижимых позиций. Для построенной сети проведен также анализ выполнимости свойств взаимного исключения и справедливости.

**Китаев А.И., Глухова В.И.** Анализ работы асинхронного двигателя по данным каталога.

В статье показано, что данных каталога вполне достаточно для всестороннего исследования показателей работы асинхронного двигателя. По его результатам может быть дано наглядное графическое изображение моментной, механической и всех рабочих характеристик, определены параметры схемы замещения, построены векторные диаграммы и т.д. С практической точки зрения приведенный материал будет интересен для специалистов по электроприводу и системам автоматического управления.

**Забытовская О.И.** Построение функции полезности по экспериментальным данным.

Дан анализ возможности построения функции полезности по отчетным данным по душевому потребителю, ценами и бюджету потребителя. Рассмотрен метод проверки адекватности функций полезности по функциям спроса, получаемым из функции полезности.

**Брайловський В.В., Іванчук М.М., Ватаманюк П.П., Танасюк В.С.** Керований детектор імпульсного ЯКР спектрометра.

Розроблено, виготовлено та випробувано систему детектор – схема керування, котра зменшує вплив перехідних процесів на приймальну частину імпульсного ЯКР – спектрометра.

**Ковриго Ю.М., Мисак В.Ф., Мовчан А.П., Любицький С.В.** Автоматизована система діагностики генераторів електростанцій.

Розглянуто автоматичну систему діагностики генераторів електростанцій, надана класифікація основних видів ушкоджень, виділені основні завдання діагностики. Запропоновані методи по аналізі теплового стану ротора й статора генератора, контролю допустимості й несиметрії навантаження, прогнозування часу роботи при наявності відхилень по температурних параметрах.

**Литвиненко В.И.** Прогнозирование нестационарных временных рядов с помощью синтезируемых нечетких нейронных сетей.

В статье описаны результаты исследования по применению синтеза нечеткой нейронной сети с помощью алгоритма клонального отбора для решения задачи прогнозирования нестационарных временных рядов. Предложено методика фильтрации временного ряда для удаления высокочастотной компоненты временного ряда. Проведены сравнительные исследования для оценки прогнозирования необработанного и обработанного вейвлетами временного ряда при различных функциях принадлежности. Полученные результаты показали высокую эффективность предложенного метода.

**Полякова М.В.** Определение границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов.

Предложен корреляционно-экстремальный метод определения границ сегмента упорядоченной текстуры на изображении с однородным фоном с помощью многоканального обнаружения пачки импульсов.

**Шеховцов А.В.** Інформаційний аспект: розпізнавання образів індивідуума.

Описано метод розпізнавання фото зображень. Виконуючи досить вузьку проблему вдалось застосувати задачу по ідентифікації фото зображень в пошуках заданого на перед критерію.

**Терновая Т.И., Сумская О.П., Слободянюк И.И., Булка Т.И.** Контроль качества тканей специального назначения с помощью автоматических систем.

В данной статье рассмотрены проблемы контроля качества тканей специального назначения. Предложен метод обнаружения и распознавания дефектов текстильных материалов для одежды чистых помещений. Приведены результаты имитационного моделирования, которые подтверждают эффективность его использования.

**Абрамов Г.С., Иванов П.И., Купавский И.С., Павленко И.Г.** Разработка навигационного комплекса для автоматического наведения на цель системы груз-управляемый парашют.

В работе рассматриваются вопросы выбора концепций, положенных в основу функционирования, определения состава аппаратуры, ее особенностей, а также построения навигационного комплекса для наведения системы груз-управляемый парашют на цель. .

**Кравчук А. Ф., Ладанюк А.П., Прокопенко Ю.В.** Алгоритм ситуационного управления процессом кристаллизации сахара в вакуум-аппарате периодического действия с механическим циркулятором.

В статье рассматриваются вопросы системного анализа процесса кристаллизации сахара, предложен подход к управлению вакуум-аппаратами с учетом состояния объекта, текущей ситуации и стадии развития процесса. Представлены графовые модели стадий процесса кристаллизации, используемые для разработки алгоритмов управления.

**Кузьменко А.С., Коломіц Г.В., Сүшенцев О.О.** Результати розробки методу еквівалентування функціональних особливостей fuzzy-контролерів.

Розглядається синтез структури еквіваленту нечіткого контролера на базі використання інформації про його структуру та особливості дефазифікації. Еквівалент використовується для комплексного аналізу якості інтелектуальних систем керування.

**Потапенко Е.М., Казурова А.Е.** Высокоточное управление упругой электромеханической системой с нелинейным трением.

Рассматривается управление упругой электромеханической системой, особенностью которой является наличие значительного нелинейного трения как на объекте управления, так и на двигателе. Измеряются ток якорной цепи двигателя и углы поворота ротора двигателя и объекта управления. Для этой системы разработан робастный комбинированный регулятор с наблюдателями координат вектора состояния и неопределенностей, минимизирующий время переходного процесса. Синтезирован алгоритм идентификации сопротивления якорной цепи в реальном времени. Компьютерное моделирование подтвердило динамические характеристики синтезированной системы управления.

**Соломаха А.В.** Разработка метода упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых выходными силовыми фильтрами.

Разработан метод упреждающей компенсации искажений статорного напряжения АД, вносимых выходными силовыми фильтрами, учитывающий параметры нагрузки. Предложенный метод компенсации искажений применим для управления всеми типами двигателей, питаемых от АИН с ШИМ. Численное моделирование подтвердило работоспособность разработанного алгоритма.

**Гульовата Х.Г., Цмоць І.Г., Пелешко Д.Д.** Архітектура автоматизованої системи моніторингу і дослідження характеристик мінеральних вод.

Сформульовано вимоги, вибрано принципи та роблено ієрархічну багаторівневу архітектуру автоматизованої системи моніторингу та дослідження характеристик мінеральних вод.

**Луцька Н.М., Заєць Н.А., Ладанюк А.П.** Синтез та порівняння багатовимірних регуляторів для колонної дифузійної установки цукрового заводу.

В роботі порівнюються локальні ПІ-регулятори та багатовимірні регулятори, що побудовані за LQ-, LQG-, H2-, H $\infty$ - алгоритмами на об'єкті – теплообмінна частина дифузійного відділення цукрового виробництва, що складається з колонної дифузійної установки, ошпарювача та теплообмінників. Показані переваги та недоліки використання кожної з систем автоматизації при різних збуреннях.

**Бакшанська Т.Д., Рижиков Ю.Г., Тодорцев Ю.К.** Мінімізація токсичності продуктів згорання та втрат теплоти у топкових пристроях з рециркуляцією продуктів згорання на основі узагальненого критерію оптимізації.

У статті досліджена процедура згортки приватних критеріїв, що характеризують втрати теплоти у топкових пристроях та зменшення токсичності продуктів згорання при вирішенні задачі оптимізації спалювання газу з рециркуляцією продуктів згорання. Узагальнений критерій для розглянутих умов є унімодальним, що дозволяє при вирішенні задачі оптимізації використовувати стандартні алгоритми.



**Клименко А.К.** Об обеспечении сходимости процесса адаптации посредством воспроизведения измерительной программы в обратном времени.

Рассматривается проблема обеспечения сходимости процесса в системе с адаптивной корректировкой циклически повторяющихся управляющих программ. Способом решения проблемы является воспроизведение измерительной программы в обратном времени. Способ применим как к непрерывным системам, так и к системам с квантованным по времени представлением информации. .

**Малахов В.П., Ситников В.С., Яковлева И.Д.** Адаптивная перестройка цифрового фильтра в системе автоматического управления.

Рассмотрена возможность применения адаптивных алгоритмов по методу наименьших квадратов для перестройки рекурсивного фильтра низкого порядка. Выведена передаточная функция цифрового адаптивного фильтра. Рассмотрено поведение амплитудно-частотной и фазо-частотной характеристик при изменении коэффициентов числителя и знаменателя передаточной функции. Показана возможность, осуществить раздельную перестройку коэффициента усиления и частоты среза полученного цифрового фильтра.

**Кузнєцов Ю.М., Дмитрієв Д.О.** Програмно математичний апарат керування виконавчим органом багатокординатних верстатів нових компоновок.

Наведено структурний аналіз формоутворюючих рухів в верстатах з паралельною кінематикою. Розроблено програмно-математичний апарат для кінематичного аналізу і упорядкування положеннями ланок просторових механізмів із штангами постійної довжини.

**Крючковський В.В.** Прийняття рішень при бюджетному інвестуванні на основі моделі аналізу вигід і витрат.

У статті доведено, що при прийнятті рішень при бюджетному інвестуванні обов'язковий попередній аналіз успішності проекту за методологією аналізу вигід і витрат. Такий аналіз широко використовується в багатьох країнах, зокрема Канаді і США.

**Рогальский Ф.Б.** Информационная поддержка принятия решений при управлении социотехническими системами.

В статье рассматриваются вопросы решения проблемы информационной поддержки управления регионом и объектами, расположенными на его территории.

**Ходаков В.Е., Чёрный С.Г., Мартыновец С.Н.** Формирование экспертных оценок при решении задач размещения производств.

В статье предлагается подход к решению задачи анализа структуры и выбора зоны для размещения предприятия с учетом мнений экспертов и применения аппарата нечетких множеств. Перечислены факторы анализа экспертных групп, ограничения в оптимизационных моделях развития и размещения предприятий. Предложен подход введения экспертной группы для теории экономического районирования.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Абрамов Г.С.** – Кандидат техн. наук, доцент, Херсонский национальный технический университет.

**Баклан И.В.** – Кандидат техн. наук, зав. кафедры интеллектуальных систем, Национальная Академия Управления.

**Бакшанская Т.Д.** – Аспирант кафедры «Автоматизация теплоэнергетических процессов» Одесского национального политехнического университета.

**Браиловский В.В.** – Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича.

**Булка Т.И.** – Ассистент кафедры химической технологии керамики и стекла, Национальный технический университет Украины «КПИ».

**Ватаманюк П.П.** – Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича.

**Глухова В.И.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры энергетики и электротехники Херсонского национального технического университета.

**Гульовата Х.Г.** – Аспирантка Государственного научно-исследовательского института информационной инфраструктуры.

**Дмитриев Д.О.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технологии машиностроения Херсонского национального технического университета.

**Забытовская О.И.** – Аспирант Херсонского государственного аграрного университета.

**Заец Н.А.** – Ассистент кафедры Автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

**Иванов П.И.** – Доктор техн. наук, профессор, ведущий специалист по летным испытаниям НИИ АУС, г. Феодосия.

**Иванчук М.М.** – Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича.

**Казурова А.Е.** – Аспирантка кафедры ЭПА Запорожского национального технического университета.

**Китаев А.И.** – Профессор кафедры энергетики и электротехники, Херсонского национального технического университета, кандидат техн. наук.

**Клименко А.К.** – Старший научный сотрудник, доцент кафедры компьютерных систем и сетей Бердянского госпедуниверситета, кандидат техн. наук.

**Ковриго Ю.М.** – Кандидат техн. наук., профессор, зав. кафедры АТЭП Национального технического университета Украины «КПИ», г. Киев.

**Козуб Н.А.** – Старший преподаватель кафедры информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Коломиц А.В.** – Ассистент кафедры электромеханики Криворожского технического университета.

**Кравчук А. Ф.** – Национальный университет пищевых технологий.

**Крючковский В.В.** – Кандидат физико-математических наук, профессор, декан факультета международных экономических отношений Херсонского национального технического университета.

**Кузнецов Ю.М.** – Доктор техн. наук, профессор кафедры конструирования станков и машин механико-машиностроительного института Национального технического университета Украины “КПИ”.

**Кузьменко А.С.** – Аспирант кафедры электромеханики Криворожского технического университета.

**Купавский И.С.** – Инженер-конструктор, «Судопроект», г. Феодосия.

**Ладанюк А.П.** – Профессор, заведующий кафедрой Автоматизации и компьютерно – интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

**Литвиненко В.И.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета

**Луцкая Н.Н.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры Автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий.

**Любицкий С.В.** – Старший преподаватель кафедры АТЭП Национального технического университета Украины “КПИ”, г. Киев.

**Малахов В.П.** – Ректор Одесского национального политехнического университета, зав. кафедрой „Компьютерные системы”, доктор техн. наук, профессор.

**Маркута О.В.** – Студентка кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального технического университета Украины “КПИ”, г. Киев.

**Мартыновец С.Н.** – Аспирант кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Мовчан А.П.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры АТЭП Национального технического университета Украины “КПИ”, г. Киев.

**Мысак В.Ф.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры автоматизации теплоэнергетических процессов Национального технического университета Украины “КПИ”, г. Киев.

**Павленко И.Г.** – Инженер-конструктор НИИ АУС, г. Феодосия.

**Пелешко Д.Д.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры „Автоматизированные системы управления” Национального университета „Львівська політехніка”.

**Полякова М.В.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет.

**Потапенко Е.М.** – Доктор техн. наук, профессор кафедры ЭПА Запорожского национального технического университета.

**Прокопенко Ю.В.** – Национальный университет пищевых технологий.

**Рыжиков Ю.Г.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры «Автоматизация теплоэнергетических процессов» Одесского национального политехнического университета.

**Рогальский Ф.Б.** – Кандидат техн. наук, профессор, зав. кафедры «Информатики и компьютерных технологий» Херсонского национального технического университета.

**Ситников В.С.** – Доктор техн. наук, профессор кафедры „Компьютерные системы” Одесского национального политехнического университета.

**Славич В.П.** – Старший преподаватель Херсонского факультета Харьковского национального автомобильно-дорожного университета при Херсонском национальном техническом университете.

**Слободянюк И.И.** – Инженер-технолог по разработке научно-технической документации, научно-производственный онкологический и кардиологический центр «Макс-Велл».

**Соломаха А.В.** – Аспирант кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Запорожского национального технического университета.

**Степанкова А.А.** – Магистр, Национальная Академия Управления.

**Сумская О.П.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры химической технологии и дизайна волокнистых материалов Херсонского национального технического университета.

**Сущенцов А.А.** – Старший преподаватель кафедры электромеханики Криворожского технического университета.

**Танасюк В.С.** – Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича.

**Терновая Т.И.** – Кандидат техн. наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета.

**Тодорцев Ю.К.** – Заведующий кафедрой «Автоматизации теплоэнергетических процессов» Одесского национального политехнического университета, член Украинской Ассоциации по автоматическому регулированию, доктор техн. наук, профессор.

**Ходаков В.Е.** – Заслуженный деятель науки и техники, заведующий кафедрой Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета, доктор техн. наук, профессор.

**Хомченко А.Н.** – Заслуженный деятель науки и техники, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета.

**Цмоць И.Г.** – Доктор техн. наук, профессор кафедры „Автоматизированные системы управления” Национального университета „Львівська політехніка”.

**Чёрный С.Г.** – Аспирант кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Чиженкова Р.А.** – Доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник института биофизики клетки РАН.

**Шелестов А.Ю.** – Институт космических исследований НАНУ.

**Шеховцов А.В.** – Кандидат техн. наук, профессор кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета.

**Яковлева И.Д.** – Аспирант кафедры „Компьютерные системы” Одесского национального политехнического университета.

# 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 ААЭКС  
Бражнику Александру Михайловичу  
т.: (0552) 552968, 326937  
E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

---

Рефераты научно-технического журнала аннотируются по сети INTERNET

---

Работы следует направлять в редакцию журнала по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХНТУ, Редакция журнала ААЭКС  
E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

Справки по телефонам: (0552) 552968, 326937