

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

№ 2(16) 2005

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ
УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

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

Издание Херсонского государственного технического университета

№ 2(16)

ХЕРСОН

2005

Основан в июле 1997 г.

Выходит два раза в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Тодорцев Ю.К.

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

Корректор: Лебеденко Н.О.

ОРГАНИЗАЦИИ - ОСНОВАТЕЛИ ЖУРНАЛА

Херсонский государственный технический университет
Одесский Национальный политехнический университет
Национальный технический университет Украины «КПИ»
Международный университет гражданской авиации
Одесская государственная академия холода
Днепродзержинский 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
Украинский государственный морской технический университет
Украинский государственный лесотехнический университет
Сумской государственный университет
Киевский государственный 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 14.8 Тираж - 200 экз. Формат 60x84 1/8

Свидетельство о регистрации КВ № 2997 от 10.12.1997 г.

Офсетная печать

Цена договорная

© Херсонский государственный технический университет

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Гасанов А.С.</u> Алгоритм адаптивного определения математических моделей объектов с помощью гармонического анализа	5
<u>Завальнюк И.П., Бражник А.М.</u> Исследование критических режимов автоколебательных систем	14
<u>Клименко А.К.</u> О влиянии конструктивных параметров обратной модели на её устойчивость	21
<u>Тодорцев Ю.К., Беглов К.В., Максименко И.Н.</u> Модели элементов установки теплоснабжения как объекта автоматизации	27
<u>Хомченко А.Н., Моисеенко С.В., Цыбуленко О.В.</u> Моделирование трансляционных функций формы на гексагоне	32
<u>Вайсман В.А.</u> Математическое моделирование процесса управления кинематической точностью шарико-винтовых передач	35

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<u>Крылов В.Н., Полякова М.В.</u> Частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений	40
<u>Руденко О.Г., Бессонов А.А., Бобух В.А.</u> Аппаратная реализация нечеткой сети СМАС и ее применение для задач сжатия изображений	47
<u>Тодорцев Ю.К., Бундюк А.Н., Студинский Е.</u> Система принятия решений при управлении обучением персонала	53
<u>Фанина Л.А., Бражник Д.А.</u> Использование метода компенсации информационных потоков при построении систем управления с речевым интерфейсом	57
<u>Ходаков В.С., Шеховцов А.В., Бараненко Р.В.</u> Математичні аспекти створення автоматизованої системи „Реєстр виборців України”	66

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Бабенко Н.И., Бабичев С.А., Яблуновская Ю.А.</u> Автоматизированная информационная система управления учебным заведением	73
<u>Бараненко Р.В., Шаганян С.М., Дячук М.В.</u> Аналіз алгоритмів взаємних виключень критичних інтервалів процесів у розподілених системах	80
<u>Вайсман В.А., Гогунский В.Д., Руденко С.В.</u> Формирование структур организационного управления проектами	84
<u>Гожий А.П., Коваленко И.И.</u> Системные технологии генерации и анализа сценариев	89
<u>Козак Ю.А., Колчин Р.В.</u> Модель информационного обмена в автоматизированной системе управления запасами материальных ресурсов в двухуровневой логистической системе	97
<u>Нагорный Ю.И.</u> Решение задачи автоматизированного расчета надежности иасуп с использованием модифицированного метода вероятностной логики	102

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

<u>Балтовский А.А.</u> Синтез оптимального закона управления большой системой на основе композиции локальных оптимальных решений	107
<u>Марасанов В.В., Забитовская О.И., Щербина Е.В.</u> Энтропийные методы оптимизации гравитационных моделей.	111
<u>Поливода О.В., Бражник А.М.</u> Метод компенсации ошибок идентификации при оптимальном управлении	123

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Бобриков С.А., Воевода А.Б., Лебедева Т.А.</u> Расчет цифрового управляющего устройства для линейного объекта с запаздыванием	128
--	-----

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Водічев В.А., Мухаммед М.А.</u> Дослідження системи стабілізації потужності різання металообробного верстата з фази-регулятором	134
<u>Квасніков В.П., Кочеткова О.В.</u> Проектування координатно-вимірювальної машини на нейронних мережах	138
<u>Пупена О.М, Ельперін І.В, Ладанюк А.П.</u> Особливості проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління	142
<u>Рожков С.А., Федотова О.Н.</u> Алгоритм обучения системы распознавания автоматической системы разбраковки тканей	152
<u>Тернова Т.І.</u> Алгоритм оцінювання деформацій рапорту періодичних об'єктів	162

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

<u>Сендерович Г.А.</u> Использование мощности симметричных составляющих для определения фактического вклада субъекта в искажение симметрии	169
--	-----

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

<u>Крючковский Д.А., Полетаева А.Н.</u> Динамическая система торговых отношений в интернете	177
<u>Рогальська Н.Г.</u> Моделі оптимізації фінансової діяльності великих економічних систем з використанням кореляційного аналізу	183

<u>РЕФЕРАТЫ</u>	191
-----------------------	-----

<u>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</u>	195
----------------------------------	-----

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62-50

АЛГОРИТМ АДАПТИВНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОБЪЕКТОВ С ПОМОЩЬЮ ГАРМОНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Гасанов А.С.

Введение

Математическое моделирование начинается с формализованного описания факторов и связей между ними, которые отражают течение технологического процесса. Построение различных математических моделей объектов производится на основе опытной информации о состоянии объекта (измерений) [1]. Среди них следует особенно выделить математические модели, которые строятся на основании гармонического анализа [2], поскольку, с увеличением количества членов разложения гармонического ряда может быть достигнуто сколь угодно малое различие между вычислениями модели и опытными данными (сколь угодно малые значения невязки). Однако, следует отметить, что на практике любые опытные данные измеряются с погрешностью. Кроме того, существуют стохастические колебания значений функции, которые не должны предсказываться в модели. Поэтому на практике нецелесообразно стремиться к сколь угодно малым значениям невязки.

С другой стороны, модель всегда лишь частично соответствует действительности, поэтому, когда поступает новая опытная информация, модель может быть откорректирована. Для этой цели может служить алгоритм Винера - Калмана [1]. Задачам построения адаптивных систем идентификации и управления посвящены также работы [3-5].

Целью настоящей работы является разработка алгоритма построения математической модели на основе гармонического анализа с применением адаптивных алгоритмов для уточнения параметров модели.

Постановка задачи

Рассмотрим метод построения математической модели объекта на основе гармонического анализа. Пусть требуется решить задачу прогнозирования значения функции $\varphi(t)$ на отрезке $t \in [0, T]$. Введем отображение:

$$x = -\pi + \frac{2\pi t}{T}, \quad (1)$$

и введем функцию

$$f(x) = \varphi\left(\frac{xT}{2\pi} + \frac{T}{2}\right), \quad (2)$$

с областью определения $x \in (-\pi, +\pi)$. Тогда, как известно, такая функция может быть разложена в сходящийся бесконечный ряд вида [2]

$$f(x) = \frac{1}{2}a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + \dots + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x + \dots, \quad (3)$$

где коэффициенты a_k , b_k , называемые коэффициентами Фурье, определяются формулами:

$$a_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) \cos kx dx,$$

$$b_n = 1/\pi \int_{-\pi}^{+\pi} f(x) \sin kx dx$$

Задача практического применения ряда Фурье сводится к представлению функции с помощью небольшого числа гармонических составляющих [6]. С помощью ряда Фурье можно аппроксимировать заданную функцию $y = f(x)$ на конечном интервале «равномерно хорошо» [2]. Это означает, что учитываются приближения функции во всех точках интервала.

Решение задачи

Рассмотрим процедуру определения коэффициентов ряда Фурье в выражении (3) с помощью метода наименьших квадратов (МНК). В точках измерений $i = \overline{1, n}$ значения модели:

$$f(x_1) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos x_1 + a_2 \cos 2x_1 + \dots + a_n \cos nx_1 + b_1 \sin x_1 + b_2 \sin 2x_1 + \dots + b_n \sin nx_1$$

$$f(x_2) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos x_2 + a_2 \cos 2x_2 + \dots + a_n \cos nx_2 + b_1 \sin x_2 + b_2 \sin 2x_2 + \dots + b_n \sin nx_2$$

$$\dots$$

$$f(x_n) = \frac{1}{2} a_0 + a_1 \cos x_n + a_2 \cos 2x_n + \dots + a_n \cos nx_n + b_1 \sin x_n + b_2 \sin 2x_n + \dots + b_n \sin nx_n, \quad (4)$$

где $x_i, y_i - i$ – ое значение аргументов соответственно.

Введем обозначения η_i как разность между измеренным значением функции y_i и приближенным значением $f(x_i)$ при $x = x_i$, т.е.

$$\eta_i = y(x_i) - \frac{1}{2} a_0 - a_1 \cos x_i - a_2 \cos 2x_i - \dots - a_n \cos nx_i - b_1 \sin x_i - b_2 \sin 2x_i - \dots - b_n \sin nx_i \quad (5)$$

Значения a_i и b_i находятся из условия минимума суммы квадратов отклонений

$$S = \sum n_i^2 = \sum [y_i - a_0 - a_1 \cos x_i - \dots - a_n \cos nx_i - b_1 \sin x_i - \dots - b_n \sin nx_i]^2,$$

где m – количество значений y и x . Функция S , как положительно определенная квадратичная форма, достигает минимума при

$$\frac{\partial S}{\partial a_0} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial a_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial a_n} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial b_1} = 0, \quad \frac{\partial S}{\partial b_n} = 0.$$

Выполнив дифференцирование в (4) получим систему алгебраических уравнений с равным количеством неизвестных n уравнений

$$\begin{bmatrix}
 m & \sum_{i=1}^m \cos x_i & \sum_{i=1}^m \cos 2x_i & \dots & \sum_{i=1}^m \cos nx_i & \sum_{i=1}^m \sin x_i & \sum_{i=1}^m \sin 2x_i & \dots & \sum_{i=1}^m \sin nx_i \\
 \sum_{i=1}^m \cos x_i & \sum_{i=1}^m \cos^2 x_i & \sum_{i=1}^m \cos 2x_i \cos x_i & \dots & \sum_{i=1}^m \cos nx_i \cos x_i & \sum_{i=1}^m \sin x_i \cos x_i & \dots & \dots & \sum_{i=1}^m \sin nx_i \cos x_i \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 \sum_{i=1}^m \cos nx_i & \sum_{i=1}^m \cos x_i \cos nx_i & \dots & \dots & \sum_{i=1}^m \cos^2 nx_i & \sum_{i=1}^m \sin x_i \cos nx_i & \dots & \dots & \sum_{i=1}^m \sin nx_i \cos nx_i \\
 \sum_{i=1}^m \sin x_i & \sum_{i=1}^m \cos x_i \sin x_i & \dots & \dots & \sum_{i=1}^m \cos nx_i \sin x_i & \dots & \sum_{i=1}^m \sin^2 x_i & \dots & \sum_{i=1}^m \sin nx_i \sin x_i \\
 \sum_{i=1}^m \sin nx_i & \sum_{i=1}^m \cos x_i \sin nx_i & \dots & \dots & \dots & \dots & \sum_{i=1}^m \cos nx_i \sin nx_i & \sum_{i=1}^m \sin x_i \sin nx_i & \sum_{i=1}^m \sin^2 nx_i
 \end{bmatrix} \times$$

$$\times \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_n \\ b_0 \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum y_i \cos x_i \\ \dots \\ \sum y_i \cos nx_i \\ \sum y_i \sin x_i \\ \sum y_i \sin nx_i \end{bmatrix} \quad (6)$$

Решив систему (6), найдем значения неизвестных параметров модели a_i и b_i .

Рассмотрим теперь рекуррентные соотношения (фильтр Винера-Калмана [1,3]) для определения неизвестных параметров модели. Систему (4) представим в матричном виде:

$$\begin{bmatrix} 1 & \cos x_1 & \cos 2x_1 & \dots & \cos nx_1 & \sin x_1 & \dots & \sin nx_1 \\ 1 & \cos x_2 & \cos 2x_2 & \dots & \cos nx_2 & \sin x_2 & \dots & \sin nx_2 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos x_k & \cos 2x_k & \dots & \cos nx_k & \sin x_k & \dots & \sin nx_k \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ b_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_k \end{bmatrix}$$

или

$$X_k \vec{a}_k = \vec{y}_k, \quad (7)$$

где $\vec{a} = (a_0, a_1, a_2, \dots, a_n, b_1, \dots, b_n)^T$. Произведя $k+1$ -ое измерение из (7) получим $X_{k+1} \vec{a}_{k+1} = \vec{y}_{k+1}$, где

$$X_{k+1} = \begin{bmatrix} & & & X_k & & & & \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & \cos x_{k+1} & \cos 2x_{k+1} & \dots & \cos nx_{k+1} & \sin x_{k+1} & \dots & \sin nx_{k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_k \\ \dots \\ \vec{a} \end{bmatrix}$$

$$\vec{y}_{k+1} = \begin{cases} \vec{y}_k \\ y_{k+1} \end{cases}, \quad \vec{a} = (1 \quad \cos x_{k+1} \quad \cos 2x_{k+1} \quad \dots \quad \cos nx_{k+1} \quad \sin x_{k+1} \quad \dots \quad \sin nx_{k+1})$$

Применяя рекуррентные формулы из [1] имеем:

$$\begin{aligned} P_{k+1} &= P_k - P_k \vec{a}^T (\vec{a} P_k \vec{a}^T + 1)^{-1} \vec{a} P_k \\ \vec{a}_{k+1} &= P_k \vec{a}^T (\vec{a} P_k \vec{a}^T + 1)^{-1} (y_{k+1} - \vec{a} \vec{a}_k) \end{aligned} \quad (8)$$

Алгоритм построения математической модели с помощью гармонического анализа

Представим общий алгоритм построения и адаптации параметров математической модели объекта. Для построения математической модели объекта обычно используется опытная информация о состоянии объекта, которую можно использовать для априорного

определения параметров модели [3]. Для этой цели в случае построения модели с помощью гармонического анализа можно использовать МНК (соотношения (6)). На рис. 1 представлен алгоритм построения математической модели объекта по априорным данным.

Алгоритм, представленный на рис. 1, состоит из следующих основных этапов.

1. Ввод исходных данных и преобразование по формулам (1) и (2).

2. Вычисление нулевого члена разложения функции $f(x)$ (модели) в ряд Фурье. В

качестве начального приближения можно взять среднее значение: $a_0 = \overline{f(x_i)}$.

3. Для следующего члена разложения в ряд Фурье проводится вычисление параметров по МНК.

4. Вычисляется невязка значений модели и исходной функции в точках измерений по формуле

$$f(x), \quad (9)$$

5. Если невязка удовлетворяет заданному критерию

$$\delta < \varepsilon, \quad (10)$$

то модель можно считать построенной. Если нет, – то добавляется еще один член ряда Фурье и заново проводится этап 3 вычисление невязки по формуле (9) и проверки условия (10).

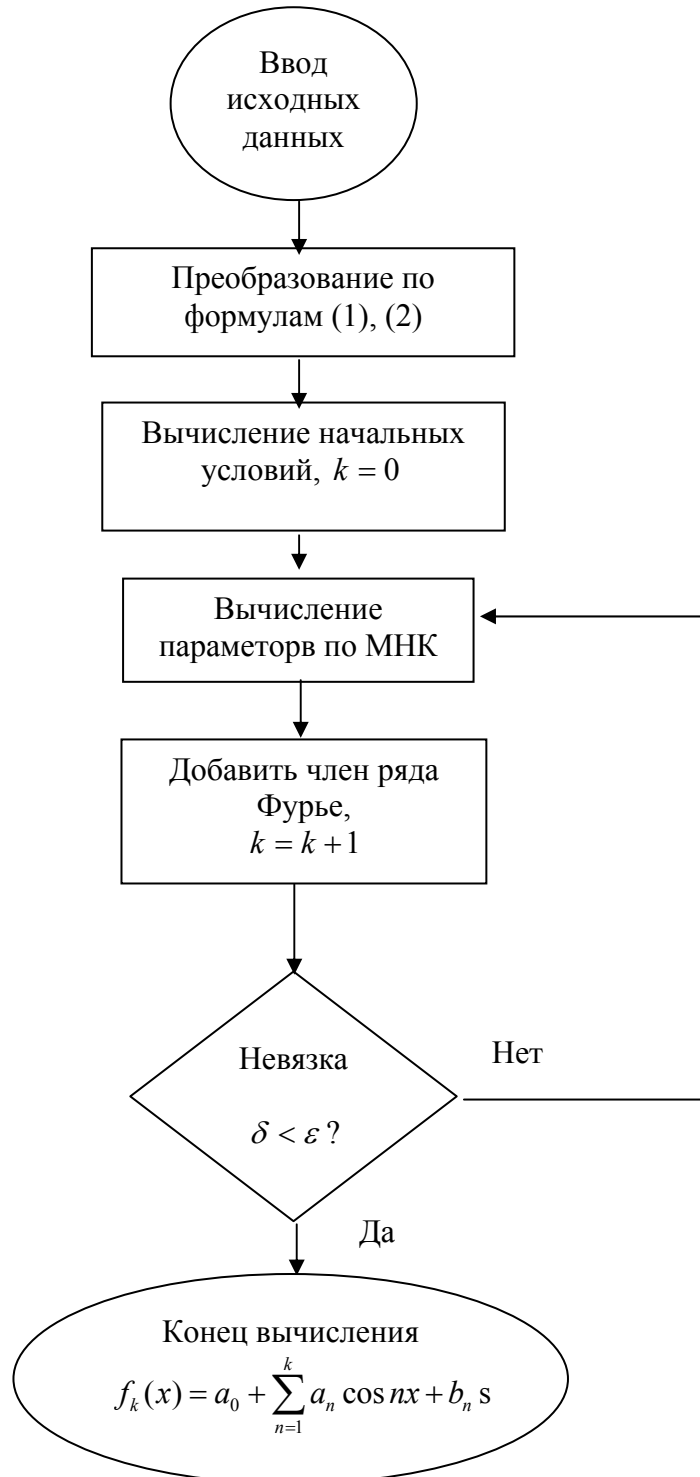


Рис. 1. Алгоритм построения математической модели по априорным данным

Отметим, что на практике в связи со стохастическим характером функции и ошибками измерений не следует задавать слишком малым значение ε в формуле (10). Значение ε должно быть порядка величины среднеквадратической ошибки измерений.

Представим далее алгоритм уточнения математической модели в процессе прогнозирования и поступления новых данных (см. рис. 2).

В начале производится прогноз с помощью модели, построенной по априорным данным. Затем, при поступлении новых данных, производится адаптация параметров модели по Винеру-Калману (10) и производится новый прогноз. В дальнейшем, при поступлении новых данных цикл адаптации и прогнозирования повторяется.

Результаты расчетов

Проверим сходимость и устойчивость предложенного метода по определению неизвестных параметров a_n , b_n определяющих аппроксимацию временной зависимости $\varphi(t_i)$, представленной в таблице 1, на интервале $t \in [0, T]$, где $T = 48$ – интервал прогнозирования.

Таблица 1

Временная зависимость $y(t)$

t	x	y	t	x	y	t	x	y	t	x	y
1	-3.011	0.7	13	-1.440	6.2	25	0.131	5.7	37	1.702	5.0
2	-2.880	2.1	14	-1.309	6.2	26	0.262	5.7	38	1.833	5.0
3	-2.749	3.9	15	-1.178	6.2	27	0.393	5.6	39	1.963	4.9
4	-2.618	5.3	16	-1.047	6.2	28	0.524	5.6	40	2.094	4.9
5	-2.487	6.0	17	-0.916	6.2	29	0.654	5.5	41	2.225	4.8
6	-2.356	6.2	18	-0.785	6.1	30	0.785	5.5	42	2.356	4.7
7	-2.225	6.2	19	-0.654	6.1	31	0.916	5.4	43	2.487	4.7
8	-2.094	6.2	20	-0.524	6.0	32	1.047	5.3	44	2.618	4.6
9	-1.963	6.2	21	-0.393	6.0	33	1.178	5.3	45	2.749	4.5
10	-1.833	6.2	22	-0.262	5.9	34	1.309	5.2	46	2.880	4.4
11	-1.702	6.2	23	-0.131	5.9	35	1.440	5.2	47	3.011	4.4
12	-1.571	6.2	24	0.000	5.8	36	1.571	5.1	48	3.142	4.3

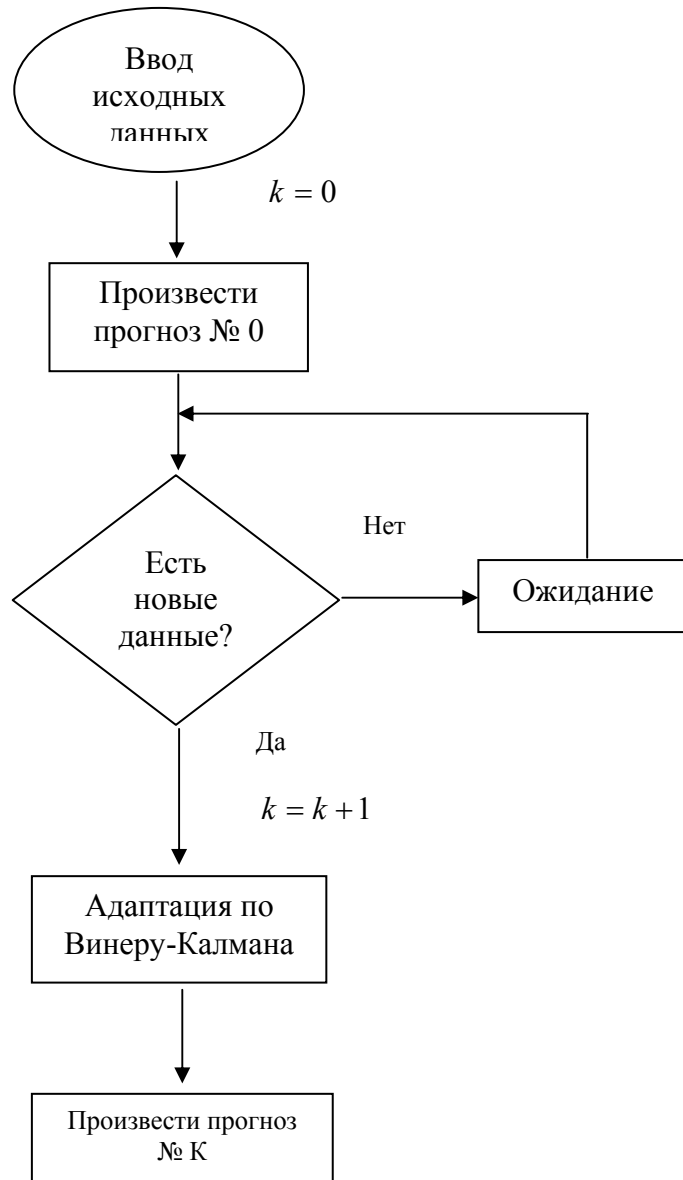


Рис. 2 Адаптация параметров модели в процессе прогнозирования.

В данном случае будем считать, что априорные данные о представленной зависимости отсутствуют, и начальные значения параметров модели берутся произвольными.

Далее проведем вычисления параметров модели a_n, b_n по рекуррентным формулам (8), и проверим сходимость к апостериорным оценкам тех же параметров, полученных с помощью МНК по формулам (6) $a_n^{МНК}, b_n^{МНК}$.

Вычисления проведем для случаев максимального количества членов разложения $n_{\max} = 0, 1, 2$, то есть на примерах моделей, когда ряды Фурье имеют вид

$$\begin{aligned}
 y_0 &= a_0; \\
 y_2 &= a_0 + a_1 \cos x + b_1 \sin x; \\
 y_3 &= a_0 + a_1 \cos x + a_2 \cos 2x + b_1 \sin x + b_2 \sin 2x.
 \end{aligned}$$

На рис. 3, 4 показаны отклонения значений неизвестных параметров, вычисленных детерминированным МНК и адаптивным методом (по рекуррентным формулам (8)) при $n_{\max} = 1$, $n_{\max} = 2$ в зависимости от количества измерений.

На этих рисунках по оси ординат отложена невязка ($a_i - a_i^{\text{МНК}}$), а по оси абсцисс количество итераций.

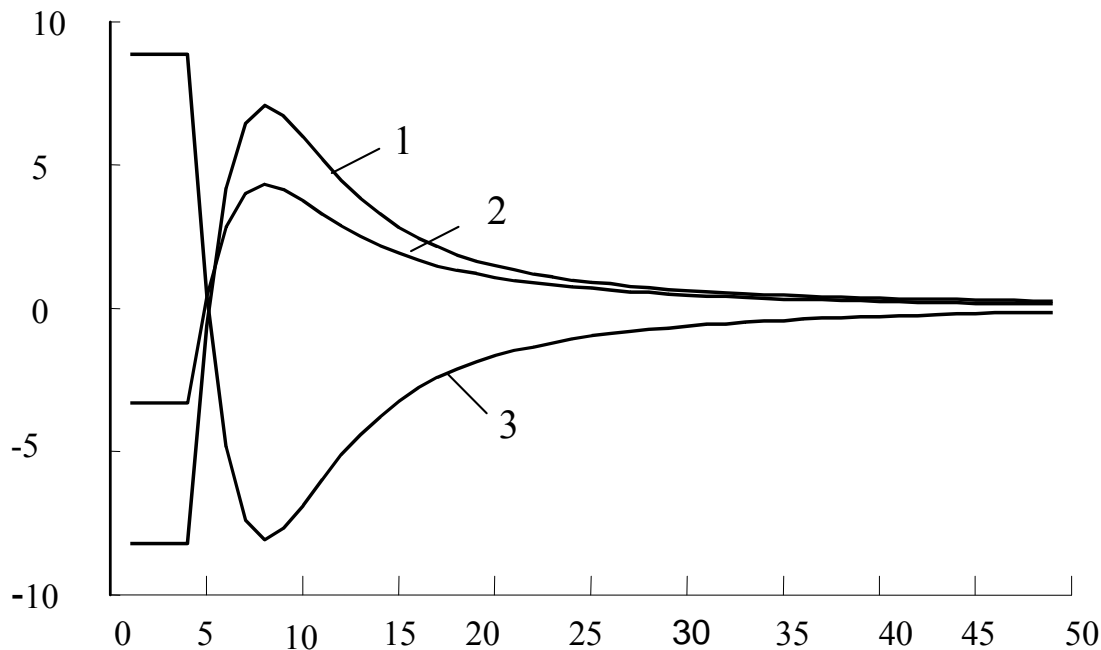


Рис. 3 Текущие отклонения параметров a_0 (кривая 1), a_1 (кривая 2), b_1 (кривая 3) при $n_{\max} = 1$ от рассчитанных по МНК

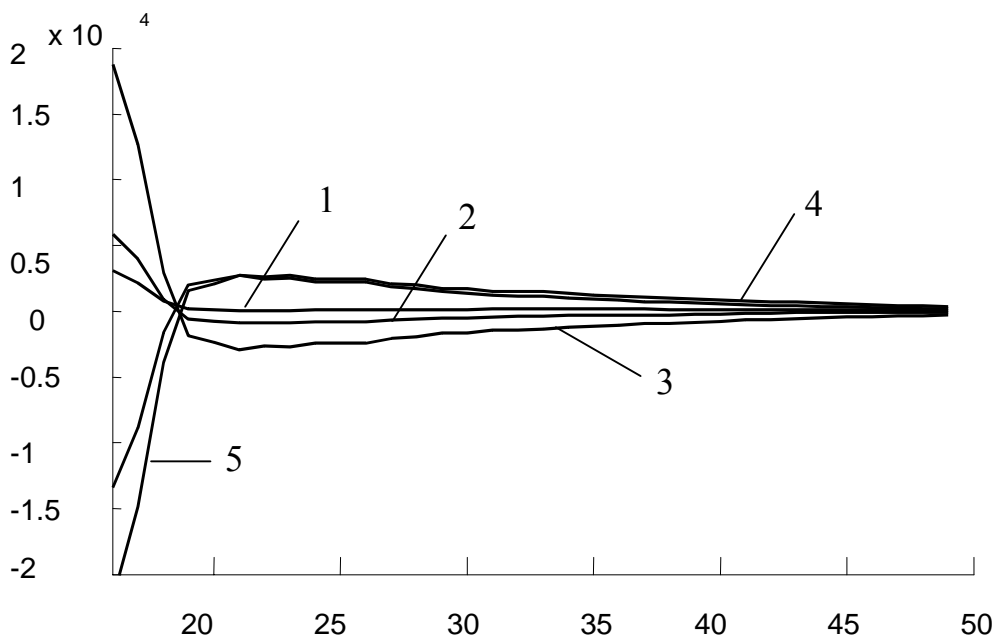


Рис. 4 Текущие отклонения параметров a_0 (кривая 1), a_1 (кривая 2), b_1 (кривая 3), a_2 (кривая 4), b_2 (кривая 5) при $n_{\max} = 2$ от рассчитанных по МНК

Анализ графиков свидетельствует о сходимости значений параметров, вычисленных при помощи адаптивных формул (8) к значениям, вычисленным *a posteriori* по МНК уже при количестве итераций, равной 50.

Заключение

Сформулирован алгоритм построения математической модели объекта с помощью гармонического анализа и адаптивного уточнения параметров. Используется алгоритм Винера-Калмана для адаптивного уточнения численных параметров математических моделей. Алгоритм применялся для построения математической модели зависимости, заданной таблицей 1. Бралось ограниченное количество членов ряда Фурье $n_{\max} = 1$, $n_{\max} = 2$. Показана сходимость и устойчивость рекуррентных соотношений (8) к соотношениям, определяемым по МНК.

Таким образом, полученная математическая модель объекта, может быть использована в системе управления, в котором модель корректируется на каждом шаге измерения по формуле (8). При этом для корректировки модели на каждом шаге используется только последняя точка измерений.

Problems of applying of Winner-Kalman filter for adaptive defining of objects mathematics model with using of harmony analyse are considered in this article. Equations for providing of necessary calculation and example for characterising the convergence of recurrent formulas are given.

1. Р. Ли. Оптимальные оценки, определение характеристик и управление.—М.: Наука, 1966.—176 с.
2. К. Ланцош. Практические методы прикладного анализа. Справочное руководство / Под ред. А.М. Лопшица.—М.: Госфизматлит, 1961.—521 с.
3. Згуровский М.З., Подладчиков В.Н. Аналитические методы Калмановской фильтрации для систем с априорной неопределенностью.—К.: Наукова думка, 1995.—283 с.
4. Гасанов А.С. Адаптивные методы построения математических моделей объектов / Кибернетика и вычислительная техника.—2004.—№ 142.—С. 57-68.
5. Бидюк П.И., Гасанов А.С., Подладчиков В.Н. Прогнозирование значений параметров динамических систем с помощью адаптивного фильтра Калмана / Кибернетика и системный анализ.—2001.—№ 4.—С. 21–33.
6. Гасанов А.С. Адаптивные методы построения математических моделей объектов с помощью гармонического анализа / Международная научная конференция “Интеллектуальные системы принятия решений и прикладные аспекты информационных технологий” (IDMIT'2005).—Евпатория: Херсонский морской институт, 2005.—Том 1.—С. 56–60.

ИССЛЕДОВАНИЕ КРИТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Завальнюк И.П., Бражник А.М.

Введение. Важную группу динамических систем представляют системы, в которых возможны колебания. Большинство реальных колебательных систем в различных областях техники неконсервативны (с изменяющимся во времени запасом энергии). Среди них выделяется особый класс так называемых автоколебательных систем, преобразующих энергию источника в энергию незатухающих колебаний, причем основные характеристики незатухающих колебаний (амплитуда, частота, форма колебаний и т.д.) определяются параметрами системы и в некоторых пределах не зависят от выбора исходного начального состояния. Энергия представляет собой не только основной инвариант динамической системы, но и является мерой взаимодействия различных систем. По своему физическому смыслу внутренняя энергия системы является мерой ее возможности совершения работы. Задача изменения энергии за счет внешних воздействий (управлений) может иметь как теоретическое, так и практическое значение. Например, для энергосберегающих технологий важной задачей является преобразование энергии системы без неоправданных потерь энергии внешних воздействий.

Работа той или иной системы сопровождается потерей устойчивости одними режимами её функционирования и рождением новых, устойчивых. Изменения могут накапливаться плавно, а могут происходить скачком в виде катастроф [1-3]. При потере устойчивости предшествующего режима система выбирает новый устойчивый режим, который может наследовать некоторые свойства предыдущего, а может быть и резко отличным.

Постановка задачи. Большой интерес представляет исследование поведения динамических систем при переходе в критический режим функционирования, а также при изменении функции диссипации.

Анализ последних исследований и публикаций. Для объяснения физической природы автоколебаний в [4] рассмотрен энергетический баланс колебаний. Отмечено, что наряду с формами энергии, используемыми для объяснения собственных колебаний (потенциальной и кинетической энергий) в автоколебаниях определенную роль играют потеря энергии на преодоление сил демпфирования E_D и подводимая извне энергия E_Z . Если действующие в системе силы демпфирования незначительны, то происходит переход потенциальной энергии в кинетическую и наоборот, как в случае собственных колебаний. При автоколебаниях общее количество энергии, переходящей из одной формы в другую, зависит также от E_D и E_Z . Здесь нет необходимости знать E_D и E_Z в каждый момент времени t ; чтобы получить общую картину колебания, вполне достаточно знать ΔE_D , т. е. потерю энергии на преодоление сил демпфирования за период колебания, а также подводимую извне энергию ΔE_Z за тот же период. Если $\Delta E_D - \Delta E_Z > 0$, то в течение каждого периода колебания энергия у системы отбирается, и происходят затухающие колебания. Если, наоборот, $\Delta E_D - \Delta E_Z < 0$ то энергия системы увеличивается, и колебания нарастают.

Кроме того, в [4] рассмотрены случаи, когда ΔE_D и ΔE_Z являются или не являются функциями амплитуды колебаний. Утверждается, что вид функции подводимой энергии ΔE_Z зависит от механизма возбуждения

Цель статьи. Исследовать поведение автоколебательной системы при переходе и выходе из критического режима функционирования.

Решение задачи. Проведем анализ работы динамической системы, описываемой системой дифференциальных уравнений 1-го порядка:

$$\begin{cases} \frac{dx_1}{dt} = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \\ \frac{dx_2}{dt} = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 \end{cases} \quad (1)$$

Для упрощения исследования, эту систему можно преобразовать в одномерную динамическую систему 2-го порядка (при условии, что $x_1 = y$, $x_2 = \frac{dy}{dt}$, $a_{11} = 0$, $a_{12} = 1$), описываемую следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{d^2y}{dt^2} - a_{22} \frac{dy}{dt} - a_{21}y = 0 \quad (2)$$

Структурная схема моделирования в программе MATLAB представлена на рис. 1.

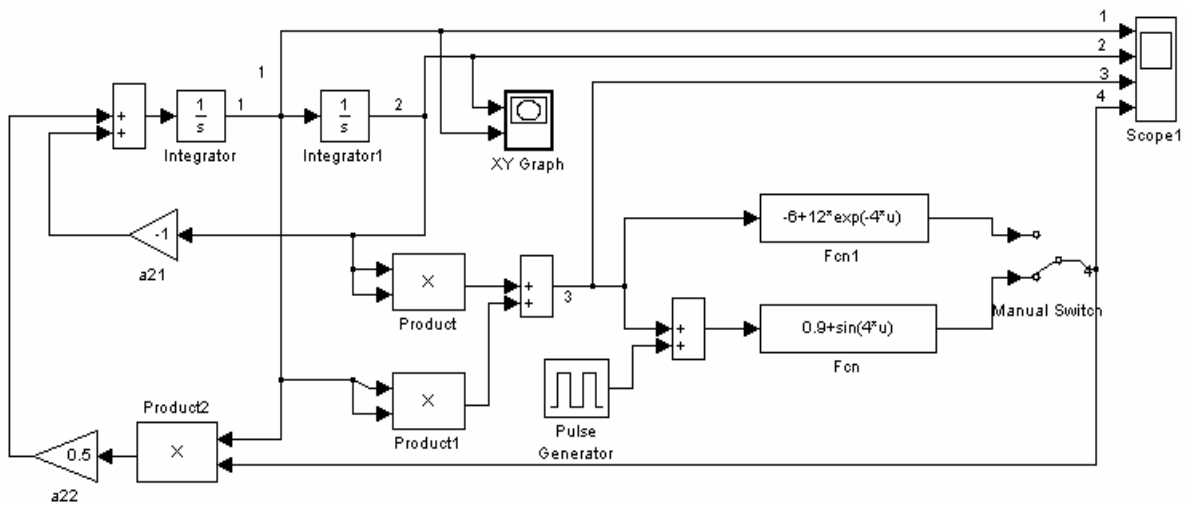


Рис. 1 Схема моделирования исследуемой динамической системы.

Диссипация энергии в системе определяется:

$$E = \varphi(x_1^2 + x_2^2) \quad (3)$$

При отрицательной диссипации (поглощение энергии) уравнение (3) принимает вид

$$E = 0,9 + \sin(4 \cdot (x_1^2 + x_2^2)) \quad (4)$$

Система под действием импульсов генератора Pulse Generator переходит из одного автоколебательного режима на другой, характеризующихся различными уровнями энергии и параметрами колебаний. Переходы осуществляются при смене фронта импульса, а главное за один период колебаний системы, что доказывает квантовый характер поведения системы.

В структурной схеме предусмотрен переключатель Manual Switch. В нижнем положении ключа процесс идет по нижней ветви схемы, т.е. благодаря импульсу генератора система получает «толчок» (поглощается порция энергии), выходит из состояния устойчивых колебаний и переходит за один период колебаний на другой уровень устойчивых колебаний. Причем новый режим характеризуется большей амплитудой колебаний – на фазовом портрете (рис.2) можно проследить смену предельных циклов (от меньшего к большему). Осциллограммы интересных сигналов представлены на рис.3.

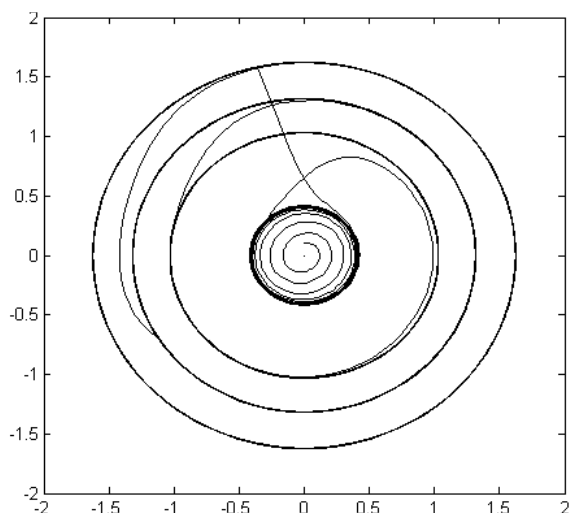


Рис. 2 Фазовый портрет системы.

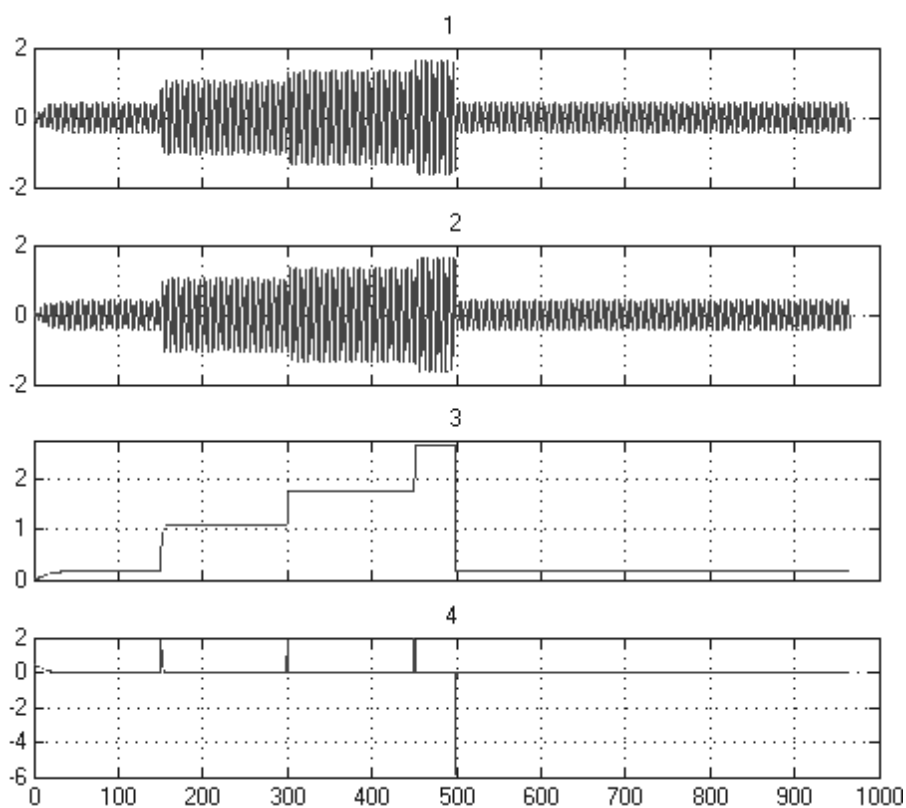


Рис. 3 Осциллограммы сигналов: 1,2 – сигналы $\frac{dy}{dt}$ и y , показывающие колебания системы; 3 – осциллограмма, определяющая энергию в системе; 4 – осциллограмма, показывающая изменение количества энергии при переходе системы с одного предельного цикла на другой.

Таким образом, система выполняет функции дискретного накопителя энергии.

В верхнем положении ключа процесс идет по верхней ветви схемы, что, обеспечивает изменение функции диссипации энергии:

$$E = -6 + 12 \cdot \exp(-4 \cdot (x_1^2 + x_2^2)) \quad (5)$$

При этом система переходит из внешнего (конечного) предельного цикла на внутренний (начальный) предельный цикл – на фазовом портрете (рис.2) наблюдается

резкая смена предельных циклов (от большего к меньшему). Следовательно, за один период колебаний система переходит в начальный режим автоколебаний, что сопровождается выделением накопленной энергии.

Проанализировав графики изменения количества энергии в различных режимах работы системы (рис. 4, рис. 5) можно сделать вывод, что существует возможность ударного высвобождения энергии при изменении функции диссипации.

Исследуем поведение системы, описываемой уравнением (2), в случае, когда переход в критический режим функционирования осуществляется под действием внешних колебаний. Введем звено:

$$\frac{d^2 z}{dt^2} + b_1 \frac{dz}{dt} + b_2 z = 0 \quad (6)$$

где $b_1 = 0$, что обеспечивает режим автоколебаний

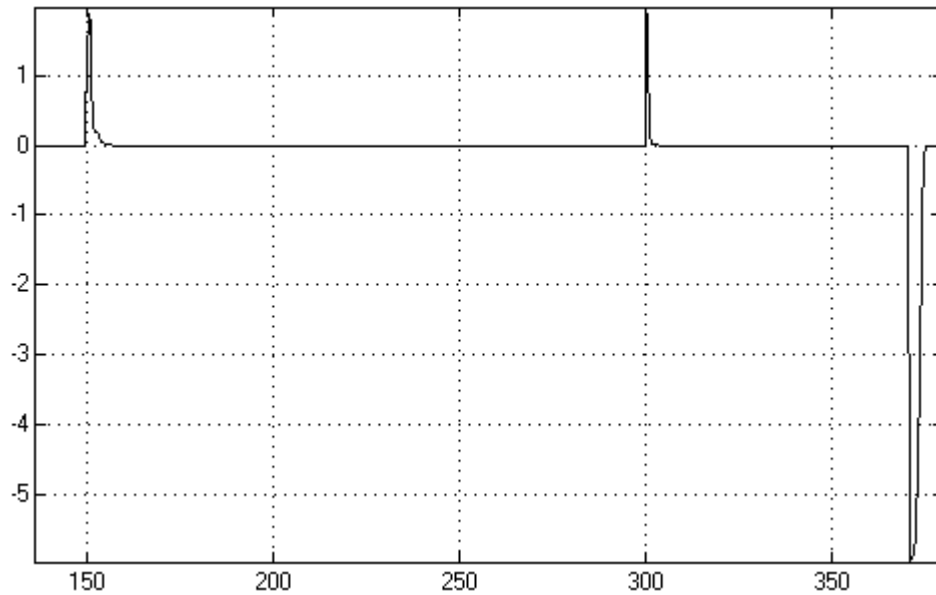


Рис. 4. Изменение количества энергии при переходе системы со второго предельного цикла на начальный.

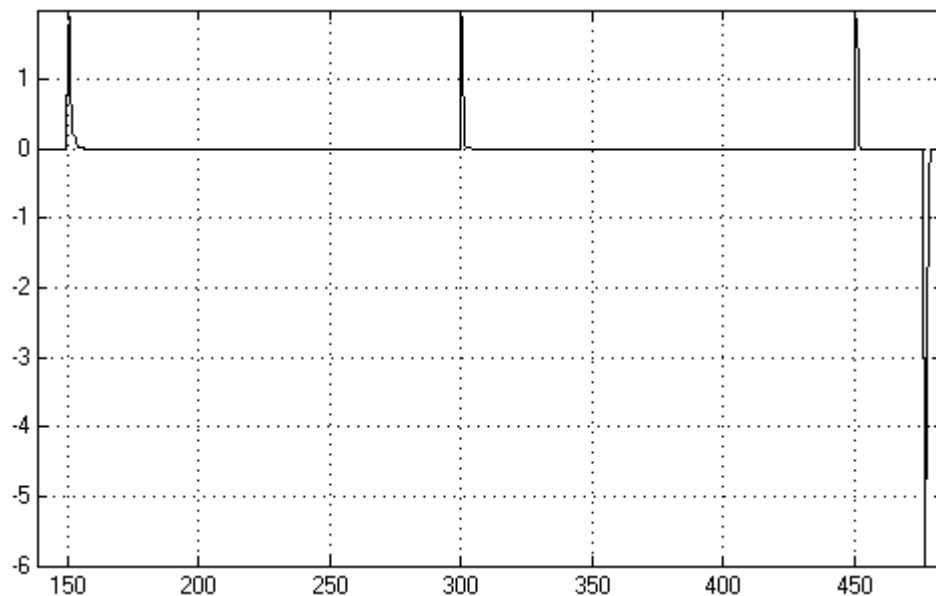


Рис. 5 Изменение количества энергии при переходе системы с третьего предельного цикла на начальный

В структурной схеме моделирования (рис.6) колебательное оно образовано блоками Sum1, Intefrator1, Integrator2 и множителем b₂.

Введем функцию диссипации энергии в системе, описываемую уравнением (7) и имеющую вид, изображенный на рис.7.

$$E(u) = -0.7 \cdot \cos(4 \cdot u) + u^2, \quad (7)$$

где $u = x_1^2 + x_2^2$.

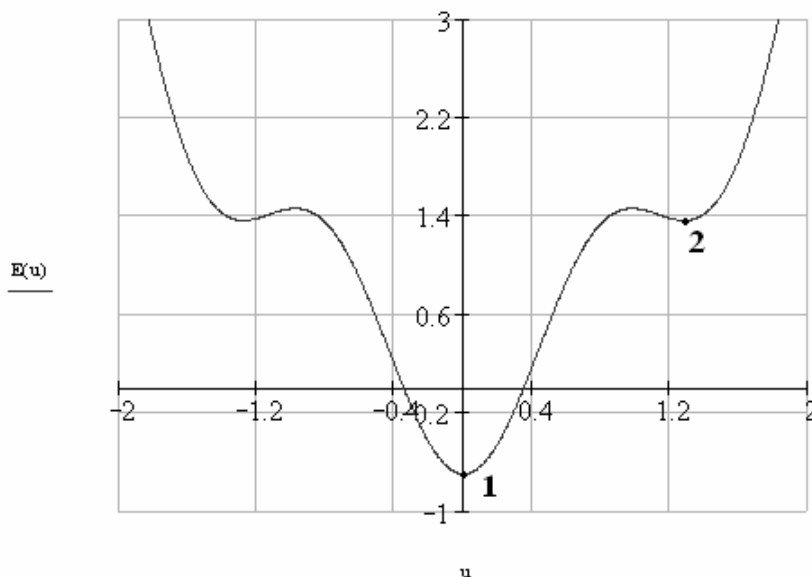


Рис.7 Вид функции, определяющей диссипацию энергии в системе.

Используя функцию такого вида можно организовать некоторую потенциальную яму, из которой система выходит под действием управления, и в которую возвращается при снятии управления (переходы из положения 1 в 2 и обратно), причем с выделением накопленной энергии

Кроме того, условия перехода системы из одного состояния в другое имеют вид:

- 1) $\frac{dE}{dt} > 0$ if $\lambda_{Re} > 0$ - происходит поглощение энергии;
- 2) $\frac{dE}{dt} < 0$ if $\lambda_{Re} < 0$ - происходит выделение энергии; (8)
- 3) $\frac{dE}{dt} = 0$ if $\lambda_{Re} = 0$ - система находится в потенциальной яме;

где λ_{Re} - действительная часть корней характеристического уравнения исследуемой системы.

Таким образом, под действием резонансного звена система переходит из начального состояния в критический режим функционирования, т.е. перемещается на границу устойчивости, что сопровождается появлением предельного цикла. Существенно, что возврат на исходный цикл в этом случае осуществляется при снятии управления (при помощи Manual Switch – рис.6). Тогда система скачком, за один период колебаний переходит на внутренний предельный цикл с выделением накопленной энергии.

Описанные процессы иллюстрируют фазовый портрет системы (рис.8) и осциллограммы сигналов (рис.9)

где λ_{Re} - действительная часть корней характеристического уравнения исследуемой системы.

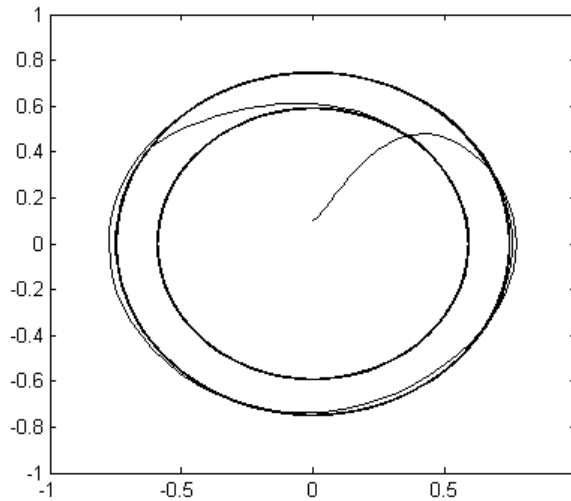


Рис. 8 Фазовый портрет системы.

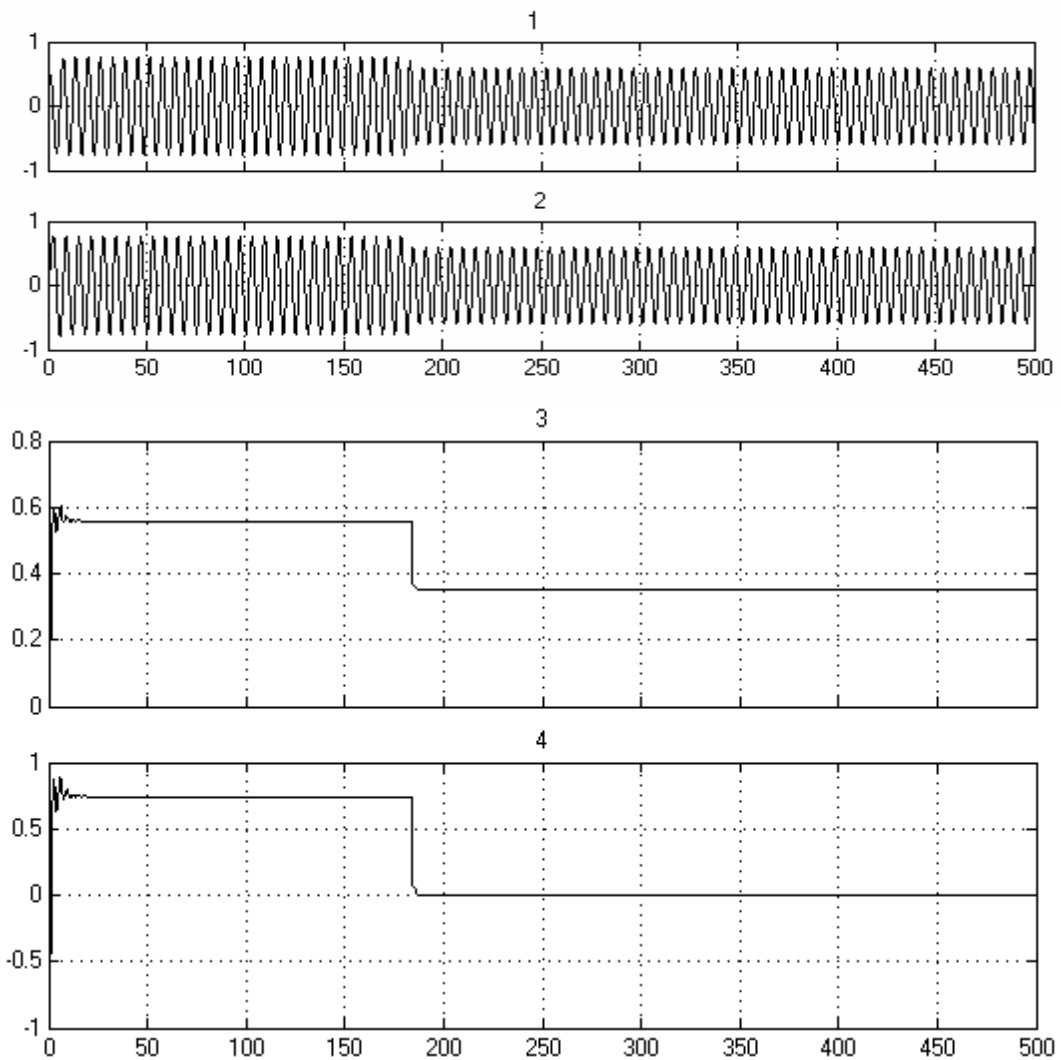


Рис. 9 Осциллограммы сигналов: 1,2 – сигналы $\frac{dy}{dt}$ и y , показывающие колебания системы; 3 – осциллограмма, определяющая энергию в системе; 4 – осциллограмма, показывающая изменение количества энергии при переходе системы с одного предельного цикла на другой.

Таким образом, под действием резонансного звена система переходит из начального состояния в критический режим функционирования, т.е. перемещается на границу устойчивости, что сопровождается появлением предельного цикла. Существенно, что возврат на исходный цикл в этом случае осуществляется при снятии управления (при помощи Manual Switch – рис.6). Тогда система скачком, за один период колебаний переходит на внутренний предельный цикл с выделением накопленной энергии.

Описанные процессы иллюстрируют фазовый портрет системы (рис.8) и осциллограммы сигналов (рис.9)

Выводы:

1. Автоколебательные системы могут проявлять свойство накапливания энергии при переходе в критический режим функционирования.
2. Динамические системы данного класса, в случае снятия управления, выделяют всю накопленную энергию при определенном виде функции диссипации. При этом осуществляется переход с внешнего предельного цикла на внутренний предельный цикл.
3. Переход происходит за один период колебаний системы, т.е. наблюдается квантовый характер перехода.
4. Изучение критических (предельных) режимов работы данного класса систем позволит предотвратить последствия ударов в системах, возникающих при снятии управления, т.е. при резком снижении напряженности режима.

The behaviour autooscillation systems is considered when change the functions of dissipation. It is installed that turning the system from one condition in other carries the quantum nature. It is determined that when removing of management system comes out of critical mode and selects the dug energy.

1. Анищенко В.С. Сложные колебания в простых системах: Механизмы возникновения, структура и свойства динамического хаоса в радиофизических системах.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 312 с.
2. Анищенко В.С. Устойчивость, бифуркации, катастрофы // Соросовский образовательный журнал.- 2000.- Т.6, №6. - С. 98-115.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф.-3-е изд., доп. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат.лит., 1990. – 128 с.
4. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 304 с., ил.
5. Яворский Б.М., Детлаф А.А. Справочник по физике.- 3-е изд., испр.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. – 624 с.
6. Фрадков А.Л. Кибернетическая физика: принципы и примеры. – СПб.: Наука, 2003. – 208 с., ил.

УДК 519.7

О ВЛИЯНИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАТНОЙ МОДЕЛИ НА ЕЁ УСТОЙЧИВОСТЬ

Клименко А.К.

1. Постановка проблемы и её связь с практическими заданиями

Последние годы характеризуются бурным развитием компьютерных информационных технологий. Использование аналитических преобразований совместно с численными методами даёт возможность создавать новые подходы для решения задач в различных областях науки и техники.

Для решения многих задач управления и контроля требуется применение обратной модели (ОМ) динамического объекта (ДО). Идеальная ОМ реального объекта, как известно [1], неосуществима. На аналоговых средствах техники удавалось создавать лишь приближенные ОМ для ДО, описываемых уравнениями не выше второго порядка. Применение средств вычислительной техники позволило найти технические решения ОМ [2,3], приближающие её показатели качества к идеальным и не зависящие от порядка описываемых ДО уравнений. Кроме того, на этих средствах удалось разработать и ОМ для многосвязного ДО [4].

При создании дискретной ОМ возникают две проблемы.

Первой из них является определение пределов изменения конструктивных параметров ОМ, в которых обеспечивается её устойчивость, а второй — уточнение этих параметров для получения желаемых показателей качества.

При создании дискретной обратной модели обе эти проблемы решаются путём нахождения двух конструктивных параметров – дискретности времени T и временного сдвига τ . Уменьшение этих параметров даёт возможность приближать показатели качества создаваемой модели к идеальной, но сопровождается повышением колебательности ОМ вплоть до потери устойчивости.

В техническом решении ОМ, приведенном в работах [2,3], не возникает проблемы обеспечения устойчивости в случае, когда ДО описывается уравнением первого порядка. Повышение порядка уравнения приводит к проблеме как устойчивости, так и показателей качества. В ОМ [5] удаётся подавить колебательность, но проблема обеспечения устойчивости сохраняется. В работе [6] предлагается техническое решение ОМ, обеспечивающее возможность улучшать её показатели качества за счёт одновременного уменьшения параметров T и τ . Устойчивость в этом случае может быть обеспечена при определенном соотношении между этими параметрами.

В данной работе рассматривается проблема определения области устойчивости создаваемой ОМ в функции двух конструктивных параметров: дискретности времени T и временного сдвига τ .

Проблема рассматривается на примере ОМ [6] с получением выводов о применимости полученных результатов к другим техническим решениям её.

2. Анализ известных решений и применение их к исследованию устойчивости ОМ

Каждая из ОМ, рассматриваемых в данной работе, является замкнутой импульсной системой без непрерывной части. В её математическом описании нет алгебраического характеристического уравнения, поэтому для исследования её на устойчивость целесообразно обращаться к критерию Найквиста. Для этого прежде всего нужно найти математическое выражение частотной характеристики ОМ в разомкнутом состоянии.

Обратная модель создаётся для линейного стационарного динамического объекта (ДО), который устойчив и функционирует в непрерывном времени. В качестве математического описания ДО может выступать его передаточная функция $W(s)$ или переходная характеристика $h(t)$. Далее в качестве математического описания ДО будем рассматривать его переходную характеристику (кривую переходного процесса). Последняя может быть получена как обратное преобразование Карсона-Хевисайда от его передаточной функции или найдена экспериментальным путём. Полагаем, что переходный процесс равен нулю в начальный момент времени и устанавливается на конечном интервале T_2 , т.е.

$$h(t)|_{t \leq 0} = 0, \quad h(t)|_{t > T_2} = h_{уст}, \quad (1)$$

где $h_{уст}$ — установившееся значение переходного процесса.

Переходная характеристика может быть представлена в дискретном времени:

$$h(n, \gamma) = h(n + \gamma) = h(t)|_{t=(n+\gamma)T}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N_2, \quad (2)$$

где T — шаг квантования (дискретность времени),

γ — дробная часть дискретного времени,

N_2 — время затухания переходного процесса ($N_2 = T_2 / T$).

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

В качестве математического описания ДО при конструировании ОМ используется числовой массив его импульсной переходной функции (ИПФ), который может быть получен из переходной характеристики (2) в дискретном времени:

$$k(n, \gamma) = k(n + \gamma) = h(n + \gamma) - h(n - 1 + \gamma), \quad n = 0, 1, 2, \dots, N_2. \quad (3)$$

При разработке ОМ задаются численные значения дискретности времени T и временного сдвига $\gamma = \tau$ в выражениях (2) и (3).

Математическое описание приведенной в [3] ОМ имеет вид:

$$c(n) = \left\{ x(n) - \sum_{m=1}^{N_2} c(n-m)k(m+\tau) \right\} / k(\tau), \quad (4)$$

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

m — переменная суммирования,

τ — конструктивный временной сдвиг, удовлетворяющий условиям:

$$0 < \tau \leq 1,$$

$$|k(\tau)| = |k(n+\tau)|_{n=0} > 0. \quad (5)$$

На основании приведенных в [3] материалов можно показать, что описываемая уравнением (4) ОМ устойчива по Найквисту, если на комплексной плоскости точку с координатами $-1, j0$ не охватывает частотный годограф

$$K(j\bar{\omega}) = \sum_{n=1}^{N_2} \frac{k(n+\tau)}{k(\tau)} \cos(\bar{\omega}n) - j \sum_{n=1}^{N_2} \frac{k(n+\tau)}{k(\tau)} \sin(\bar{\omega}n), \quad 0 \leq \bar{\omega} \leq 2\pi, \quad (6)$$

где $\bar{\omega}$ — приведенная к дискретному времени частота ($\bar{\omega} = \omega T$).

Приведенные выше зависимости (1-6) предназначены для использования при решении задач данной работы.

3. Постановка задач

Сформулированное выше условие устойчивости относится к техническому решению ОМ, приведенному в работе [3]. Оно не дает сведений о конкретном влиянии

конструктивных параметров T и τ на устойчивость. Кроме того, нет сведений о возможности использования этого условия при исследовании на устойчивость ОМ по работе [6].

Задачами данной работы являются:

- нахождение условия устойчивости ОМ по техническому решению [6],
- определение границы устойчивости обратных моделей на плоскости параметров

T и τ независимо от их технического выполнения.

4. Изложение материалов исследования

Известная из [6] ОМ описывается математической зависимостью

$$c(n) = \left[Bx(n) - \sum_{m=1}^{N_2} c(n-m)k(m+\tau) \right] / k(\tau), \quad (7)$$

где B – постоянный коэффициент, определяемый в процессе моделирования.

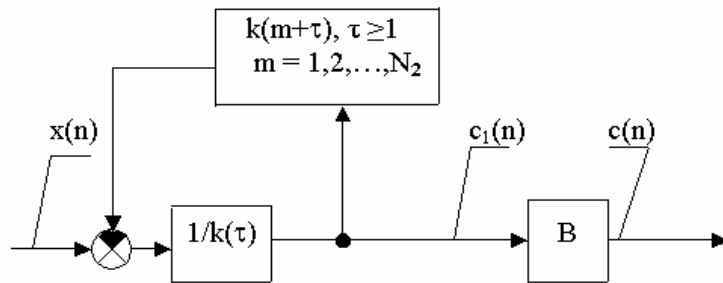


Рис.1 Структурная схема обратной модели

Эта ОМ может быть представлена как импульсная следящая система с изображённой на рис.1 структурной схемой. Звено с коэффициентом передачи B находится вне замкнутого контура и на устойчивость не влияет. Замкнутый же контур описывается уравнением (4), а его частотная характеристика в разомкнутом состоянии имеет вид (6).

Отсюда следует, что условия устойчивости у технических решений ОМ по [3] и [6] идентичны.

Для определения границы устойчивости ОМ на плоскости параметров T и τ поступаем следующим образом.

Как известно [7], частотная характеристика разомкнутой импульсной системы симметрична относительно действительной оси и пересекает её при относительной частоте $\bar{\omega} = \pi$. Полагаем, что разомкнутый контур устойчив и его частотный годограф не пересекает действительной оси при $\pi > \bar{\omega} > 0$. Тогда необходимым и достаточным условием устойчивости замкнутого контура будет выполнение неравенства:

$$K(j\bar{\omega}) \Big|_{\bar{\omega}=\pi} > -1. \quad (8)$$

Подставляем в неравенство (8) выражение для $K(j\bar{\omega})$ из (6) и решаем его, принимая во внимание, что $\sin(\pi n) = 0$, а $\cos(\pi n) = (-1)^n$. В результате решения получаем условие устойчивости:

$$k(\tau) > \sum_{i=1}^{N_2} (-1)^{i+1} k(i+\tau). \quad (9)$$

Обозначим правую часть неравенства (9) символом \tilde{S}_k и назовём её остаточной

суммой знакопеременного ряда чисел ИПФ ДО. Сам же числовой массив $k(n + \tau)$ получен из математического описания ДО при выбранных параметрах T и τ ОМ с использованием зависимостей (3) и (5).

Условие устойчивости (9) словесно можно сформулировать так: численные значения дискретности времени T и конструктивного временного сдвига τ ОМ должны выбираться таким образом, чтобы первый член числового ряда ИПФ ДО $k(\tau)$ был больше остаточной суммы \tilde{S}_k .

Переменные $k(\tau)$ и \tilde{S}_k являются функциями конструктивных параметров ОМ: T и τ . На рис.2 в качестве примера приведены графики зависимостей $k(\tau)$ и \tilde{S}_k от величины дискретности T при постоянном значении τ . При весьма малой дискретности имеет место $k(\tau) < \tilde{S}_k$, что свидетельствует о неустойчивости ОМ. При росте дискретности остаточная сумма \tilde{S}_k сначала увеличивается вместе с $k(\tau)$, а затем быстро уменьшается. При определённом значении дискретности $T = T^*$ справедливо равенство $k(\tau) = \tilde{S}_k$, что свидетельствует о границе устойчивости.

В случае изменения параметра τ изменится и значение дискретности T^* , соответствующее границе устойчивости. Поэтому возникает потребность построить кривую границы устойчивости в плоскости параметров T и τ . Границе устойчивости соответствует преобразование неравенства (9) в равенство. Перенеся сумму из правой

части неравенства в левую и заменив знак неравенства на знак равенства, получим уравнение для построения кривой границы устойчивости:

$$\sum_{i=0}^{N_2} (-1)^i k(i + \tau) = 0.$$

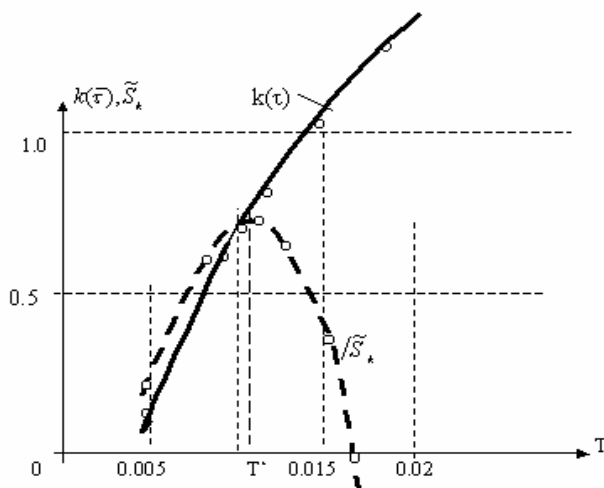


Рис.2 Графики зависимостей $k(\tau)$ и \tilde{S}_k от дискретности T

Левая часть полученного уравнения представляет собой полную сумму знакопеременного ряда из числового массива ИПФ ДО. Она является функцией двух переменных. Обозначим её символом

$$S_k(T, \tau) = \sum_{i=0}^{N_2} (-1)^i k(i + \tau).$$

Уравнение границы устойчивости получает вид:

$$S_k(T, \tau) = 0. \quad (10)$$

5. Экспериментальная часть

Порядок построения кривой границы устойчивости на плоскости параметров T и τ для проверки полученных теоретических результатов состоит в следующем.

1. Задаются исходные данные о ДУ, для которого создается ОМ. Таковыми является математическое описание кривой переходного процесса $h(t)$ в непрерывном времени.

2. Задаются первые приближенные значения конструктивных параметров T и τ . Например, $\tau = 1$, а дискретность T принимается равной одной десятой от времени затухания переходного процесса T_2 .

3. Вычисляется числовой массив $h(n)$ по формуле (2), учитывая, что $\gamma = \tau$.

4. Вычисляется числовой массив $k(n+\tau)$ по формуле (3).

5. Вычисляется полная сумма знакопеременного ряда и проверяется соответствие полученного значения уравнению (10).

6. Если $S_k(T, \tau) = 0$, то при заданных параметрах T и τ ОМ находится на границе устойчивости. Это можно отметить постановкой точки на плоскости параметров и перейти к п.2, задав новое значение τ .

7. Если $S_k(T, \tau) > 0$, что свидетельствует об устойчивости ОМ, вернуться к п.2, уменьшить ранее заданную величину T и повторить операции по пунктам 3-5. В случае, если $S_k(T, \tau) < 0$, сделать то же самое, но при увеличении T .

По полученным данным строится кривая границы устойчивости.

Пример такой кривой приведен на рис.3. Находящаяся ниже полученной кривой область параметров 1, отмеченная штриховкой, является областью неустойчивости.

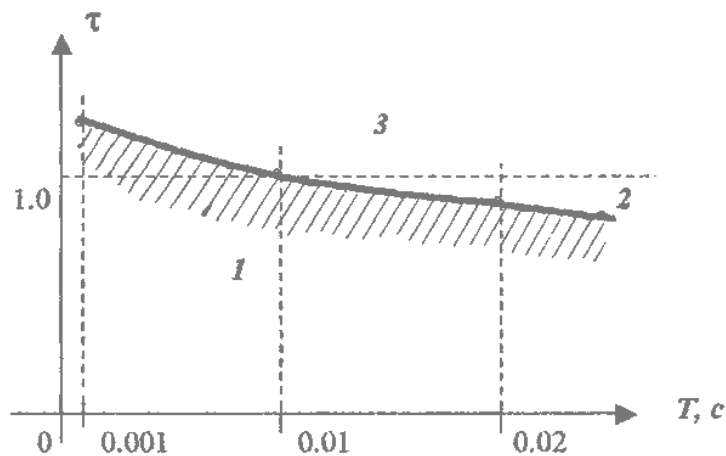


Рис.3 Граница устойчивости на плоскости параметров T и τ

Полученные результаты подтверждены моделированием. При этом были использованы как специально разработанные программы, так и пакет прикладных программ MathCad.

6. Выводы по результатам исследования и перспективы

Наличие графика границы устойчивости на плоскости параметров облегчает разработку обратной модели для данного ДУ. Сам график может выступать как составная часть математического описания ДУ.

Процесс конструирования ОМ сводится к выполнению следующих операций.

Из исходного математического описания ДО строится кривая переходного процесса и устанавливается время его угасания. Определяются первоначальные значения параметров T и τ , Вычисляются числовые массивы $h(n)$ и $k(n)$.

Строится кривая границы устойчивости (10).

По кривой границы устойчивости выбирается техническое решение ОМ.

Выбор совокупности значений T и τ в области 1 по рис.3 неприемлем, т.к. не обеспечивает устойчивости ОМ. Если желаемые параметры находятся в области 2, то может быть использовано техническое решение ОМ из [3] или [5]. При нахождении совокупности конструктивных параметров ОМ в области 3 выбирается техническое решение [6].

Полученные результаты создают предпосылки для разработки методики численного конструирования ОМ с получением желаемых показателей качества. Работа в этом направлении ведётся.

Изложенные результаты могут быть использованы и в инженерно-педагогических учебных пособиях для освоения новых способов решения задач на основе современных компьютерных технологий.

Influence of step-type behavior of time and shift of time for stability of discrete inverse model is considered. The condition of stability as a function of initial parameters of modeling object and design data of inverse model is determined. The limit of stability on a plane of parameters is considered.

1. Петров Б.Н., Кухтенко А.И. Теория проектирования инвариантных систем. Современные методы проектирования систем автоматического управления / Под ред. Б.Н. Петрова, В.В. Солодовникова, Ю.И. Топчеева. – М.: Машиностроение, 1967. – С. 18 – 78.
2. Клименко А.К., Клименко В.Г. Корректирующее устройство. А.с. 1406563 (СССР).
3. Клименко А.К. Обратная динамическая модель для решения задач управления и контроля качества // Методы менеджмента качества . – 1999. - № 8. – С. 32 – 39.
4. Клименко А.К. Обратная модель для контроля качества многосвязных динамических объектов // Методы менеджмента качества. – 2000. - № 5. – С. 36-40.
5. Клименко А.К. О подавлении колебаний в дискретной обратной модели // Надёжность и качество 2002: Труды международного симпозиума /Под ред. Н.К.Юркова.— Пенза : Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2002. – С. 138-139.
6. Клименко А.К. Обратная модель с улучшенными показателями качества // Надёжность и качество 2003: Труды международного симпозиума /Под ред. Н.К.Юркова.— Пенза : Информационно-издательский центр Пенз. гос. ун-та, 2003. – С.237-239.
7. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. – М.: Физматгиз, 1963. – С.269.

МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТОВ УСТАНОВКИ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

Тодорцев Ю.К. Беглов К.В. Максименко И.Н.

Постановка задачи

Установки теплоснабжения, использующие нетрадиционные источники энергии являются перспективными с точки зрения экономии ресурсов топлива и снижения вредного воздействия на окружающую среду. Для увеличения срока эксплуатации, экономичного использования тепла и топлива, эффективной работы установки необходимо применение средств автоматизации. Одна из таких установок, представленная в [1], как объект управления ранее не рассматривалась.

Путь решения задачи

Для автоматизированного управления установкой теплоснабжения необходимо знать свойства этой установки в целом и отдельных её элементов. В данной статье рассмотрены модели отдельных элементов установки теплоснабжения в линейном приближении.

Структурная схема установки теплоснабжения изображена на рис. 1.

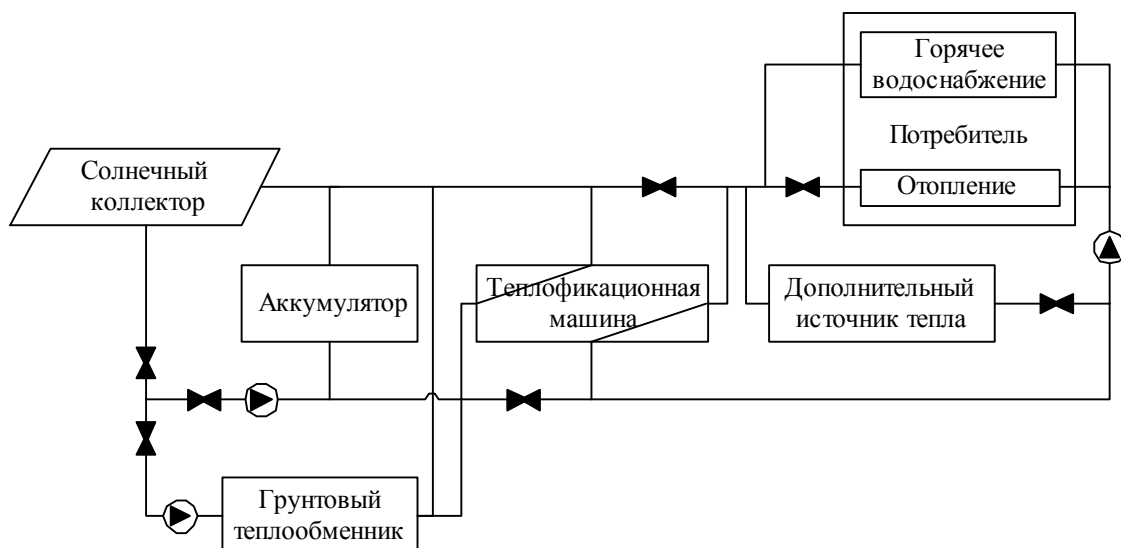


Рис. 1 Структурная схема установки теплоснабжения

Установка теплоснабжения состоит из следующих элементов:

- солнечный коллектор;
- аккумулятор тепла;
- грунтовый теплообменник;
- помещение потребителя;
- дополнительный источник тепла;
- теплофикационная машина.

Основным элементом рассматриваемой установки является плоский солнечный коллектор. Структурная схема солнечного коллектора представлена на рис. 2.

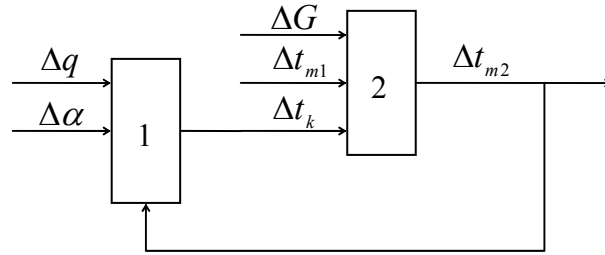


Рис. 2 Структурная схема солнечного коллектора

Солнечный коллектор условно разбит на два звена.

Звено 1 – отражает связь между удельным тепловым потоком солнечной инсоляции q , коэффициентом теплоотдачи от стенки солнечного коллектора к теплоносителю α , который является функцией скорости теплоносителя, температурой теплоносителя на выходе солнечного коллектора t_{m2} и температурой стенки солнечного коллектора t_k .

Звено 2 – отражает связь между расходом теплоносителя через солнечный коллектор G_m , температурами теплоносителя на входе солнечного коллектора t_{m1} , стенки солнечного коллектора t_k и температурой теплоносителя на выходе солнечного коллектора t_{m2} .

Исходя из приведённой структурной схемы и теплового баланса для рассматриваемого элемента установки, была получена система дифференциальных уравнений, которая устанавливает связь между указанными параметрами:

$$\begin{cases} \frac{dt_k}{d\tau} = -\frac{\alpha F_k}{m_k c_{pk}} \Delta t_k + \frac{F_k}{m_k c_{pk}} \Delta q - \frac{F_k (t_k - t_{m2})}{m_k c_{pk}} \Delta \alpha + \frac{\alpha F_k}{m_k c_{pk}} \Delta t_{m2} \\ \frac{dt_{m2}}{d\tau} = -\frac{(G_m c_{pm} + \alpha F_k)}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m2} + \frac{c_{pm} (t_{m1} - t_{m2})}{m_m c_{pm}} \Delta G_m + \frac{G_m c_{pm}}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m1} + \frac{\alpha F_k}{m_m c_{pm}} \Delta t_k \end{cases}, \quad (1)$$

где F_k , F_m – площади теплообмена со стороны теплового потока от солнца и стенки солнечного коллектора, соответственно;

m_k , m_m – массы солнечного коллектора и теплоносителя, соответственно;

c_{pk} , c_{pm} – удельные теплоёмкости стенки солнечного коллектора и теплоносителя, соответственно;

Δ – изменение соответствующей величины.

Переходя к описанию свойств солнечного коллектора в матричной форме записи динамических систем [2], были получены следующие матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} B_{11} & B_{12} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & B_{21} & B_{22} \end{pmatrix}, \quad C = (0 \ 1), \quad D = (0 \ 0 \ 0 \ 0),$$

где: $A_{11} = \frac{-\alpha F_k}{m_k c_{pk}}$, $A_{12} = \frac{\alpha F_k}{m_m c_{pm}}$, $A_{21} = \frac{\alpha F_k}{m_k c_{pk}}$, $A_{22} = \frac{-(G_m c_{pm} + \alpha F_k)}{m_m c_{pm}}$, $B_{11} = \frac{F_k}{m_k c_{pk}}$,
 $B_{12} = \frac{-F_k (t_k - t_{m2})}{m_k c_{pk}}$, $B_{21} = \frac{(t_{m1} - t_{m2})}{m_m}$, $B_{22} = \frac{G_m}{m_m}$.

Следующим элементом установки является аккумулятор тепла. Для рассматриваемой установки теплоснабжения выбран аккумулятор теплоты ёмкостного типа для краткосрочного аккумулирования. Параметрическая схема бака-аккумулятора тепла изображена на рис. 3.

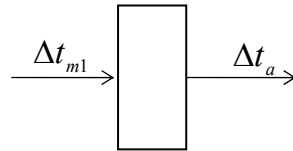


Рис. 3 Параметрическая схема бака-аккумулятора тепла

Температура в аккумуляторе t_a зависит от температуры теплоносителя на входе в аккумулятор t_{m1} . На основе данной схемы и теплового баланса для бака-аккумулятора получено дифференциальное уравнение:

$$\frac{dt_a}{d\tau} = -\frac{G_m}{m_a} \Delta t_a + \frac{G_m}{m_a} \Delta t_{m1}, \quad (2)$$

где G_m – расход теплоносителя, проходящего через аккумулятор;

m_a – масса конструкции аккумулятора.

Для описания свойств рассматриваемого аккумулятора в матричной форме записи динамических систем были получены следующие матрицы:

$$A = (A_{11}), \quad B = (B_{11}), \quad C = (1), \quad D = (0),$$

где: $A_{11} = -\frac{G_m}{m_a}$, $B_{11} = \frac{G_m}{m_a}$.

Следующим элементом установки теплоснабжения является грунтовый теплообменник. Поле грунтовых теплообменников является источником тепловой энергии либо аккумулятором тепловой энергии в зависимости от температур теплоносителя и грунта. Поле грунтовых теплообменников – набор трубок Фильда, расположенных в грунте на некотором расстоянии друг от друга. Грунтовый теплообменник-аккумулятор представляет собой трубку Фильда погруженную в грунт. Расчётная схема теплообменника приведена на рис.4 а). Теплообменник можно представить в виде цилиндра диаметром d_z и высотой h_z . Структурная схема грунтового теплообменника представлена на рис. 4 б).

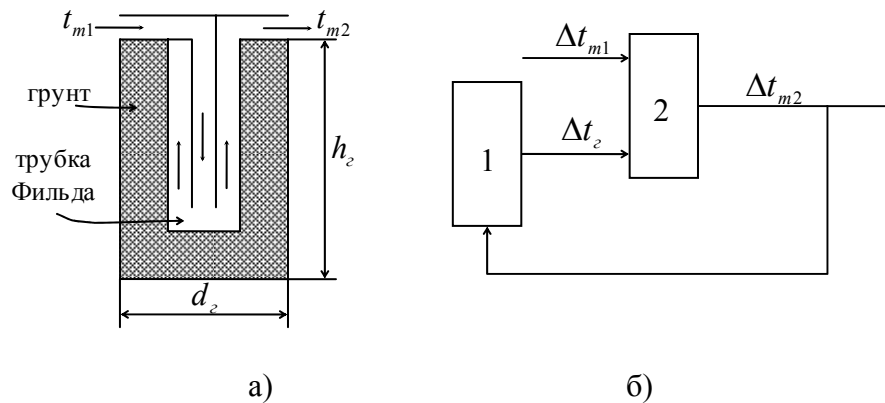


Рис. 4 Расчётная (а) и структурная (б) схемы грунтового теплообменника

Грунтовый теплообменник условно разбит на два звена.

Звено 1 – отражает связь между температурой теплоносителя на выходе грунтового теплообменника t_{m2} и температурой грунта t_z .

Звено 2 – отражает связь между температурами объёма грунта теплообменника t_z , теплоносителя на входе теплообменника t_{m1} и температурой теплоносителя выходе t_{m2} .

Система дифференциальных уравнений, полученная из структурно-параметрической схемы и теплового баланса для рассматриваемого элемента установки, устанавливает связь между указанными параметрами:

$$\begin{cases} \frac{dt_{m2}}{d\tau} = \frac{-(G_m c_{pm} + \alpha F)}{m_m c_{pm}} \Delta t_{m2} + \frac{G_m}{m_m} \Delta t_{m1} + \frac{\alpha F}{m_m c_{pm}} \Delta t_z \\ \frac{dt_z}{d\tau} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}} \Delta t_z + \frac{\alpha F}{m_z c_{pz}} \Delta t_{m2} \end{cases}, \quad (3)$$

где G_m – расход теплоносителя;

c_{pm} , c_{pz} – удельные теплоёмкости теплоносителя и грунта теплообменника, соответственно;

m_m , m_z – массы теплоносителя, проходящего через теплообменник, и объёма грунта теплообменника, соответственно;

α – коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к объёму грунта теплообменника;

F – площадь теплообмена со стороны теплоносителя.

Переходя к описанию свойств грунтового теплообменника в матричной форме записи динамических систем, были получены следующие матрицы:

$$A = \begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix}, B = \begin{pmatrix} B_{11} \\ 0 \end{pmatrix}, C = (0 \quad 1), D = (0),$$

$$\text{где: } A_{11} = \frac{-(G_m c_{pm} + \alpha F)}{m_m c_{pm}}, A_{12} = \frac{\alpha F}{m_m c_{pm}}, A_{21} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}}, A_{22} = -\frac{\alpha F}{m_z c_{pz}}, B_{11} = \frac{G_m}{m_m}.$$

При этом были приняты следующие обозначения:

В качестве следующего элемента установки теплоснабжения рассмотрим помещение потребителя. Для данной установки теплоснабжения рассматривается помещение жилого дома. Параметрическая схема помещения изображена на рис. 5.

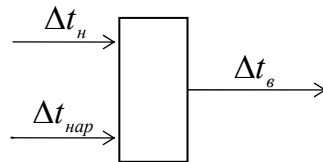


Рис. 5 Параметрическая схема помещения потребителя

Помещение представляет собой прямоугольную комнату с окном площадью $F_{ок}$, стенами общей площадью F_c и установленным нагревателем с площадью теплообмена F_n . Данная схема отражает связь между температурами окружающей среды $t_{нар}$, поверхности нагревателя t_n и воздуха в помещении $t_в$.

Приведённая схема и тепловой баланс для помещения потребителя являются основой для полученного дифференциального уравнения, которое устанавливает связь между указанными параметрами:

$$\frac{dt_в}{d\tau} = \frac{-(\alpha_n F_n + k_c F_c + k_{ок} F_{ок})}{m_в c_{pv}} \Delta t_в + \frac{\alpha_n F_n}{m_в c_{pv}} \Delta t_n + \frac{k_c F_c + k_{ок} F_{ок}}{m_в c_{pv}} \Delta t_{нар}, \quad (4)$$

где $m_в$ – масса воздуха в помещении;

c_{pv} – удельная теплоёмкость воздуха в помещении;

α_n – коэффициент теплоотдачи от нагревателя воздуху в помещении;

$k_c, k_{ок}$ – коэффициенты теплопередачи через стену и окна помещения, соответственно.

Матрицы, полученные при переходе к описанию свойств солнечного коллектора в матричной форме записи динамических систем, имеют следующий вид:

$$A = (A_{11}), B = (B_{11} \quad B_{12}), C = (1), D = (0 \quad 0),$$

$$\text{где: } A_{11} = \frac{-(\alpha_n F_n + k_c F_c + k_{ок} F_{ок})}{m_g c_{pg}}, B_{11} = \frac{\alpha_n F_n}{m_g c_{pg}}, B_{12} = \frac{k_c F_c + k_{ок} F_{ок}}{m_g c_{pg}}.$$

Следующий элемент рассматриваемой установки теплоснабжения – дополнительный источник тепла, в качестве которого выбран водогрейный котёл на газообразном топливе. Динамические свойства таких котельных агрегатов достаточно подробно описаны в [3, 4, 5, 6].

Приведённые матрицы элементов установки теплоснабжения можно объединить в единую систему матриц. Однако, структура полученной системы является переменной и зависит от режима работы установки теплоснабжения.

Выводы

Рассмотренные модели позволяют составить обобщённую модель установки теплоснабжения при различных видах взаимосвязей между данными элементами, что позволит синтезировать систему оптимального управления установкой теплоснабжения.

The heat supply system uses the alternative power sources (solar – ground). It consists from the elements. The mathematics models of the elements are described in this paper. These models let write the generalized model of the heat supply system at various kind of conduction between the elements. These models can be used for at synthesizing a regulator of optimum control by such system.

1. Денисова А.Е., Тодорцев Ю.К., Максименко И.Н. К вопросу об автоматизации интегрированной установки теплоснабжения с возобновляемыми источниками энергии // АЭКС. – 2004. – № 2 (14). – С. 227 – 231 .
2. Ротач В.Я. Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами: Учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат. 1985. – 296 с., ил.
3. Демченко В.А. Автоматизация и моделирование технологических процессов АЭС и ТЭС.: Учебное пособие. – Одесса: Астропринт, 2001. – 306 с., ил.
4. Профос П. Регулирование паросиловых установок. – М.: Энергия, 1967. – 368 с.
5. Чермак И., Петерка В., Заворка И. Динамика регулируемых систем в теплоэнергетике и химии. – М.: Мир, 1972. – 623 с.
6. Остапенко Ю.О. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів керування. – К.: Задруга, 1999. – 422 с.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРАНСЛЯЦИОННЫХ ФУНКЦИЙ
ФОРМЫ НА ГЕКСАГОНЕ

Хомченко А.Н. , Моисеенко С.В. , Цыбуленко О.В.

Постановка проблемы, анализ предшествующих публикаций

Дискретный элемент в форме правильного шестиугольника (гексагона) с узлами интерполяции в вершинах широко применяется в расчетах ядерных реакторов и других конструкций с фрагментами сотовой геометрии [1,2]. Попытка построить средствами матричной алгебры стандартный шестипараметрический полином, решающий задачу лагранжевой интерполяции на гексагоне, оказалась неудачной [1], так как привела к вырождению СЛАУ. Эта особенность гексагона стимулировала развитие геометрических подходов к построению гексагональных функций формы. Именно благодаря геометрическому моделированию появился дробно-рациональный базис гексагона [1,3], а вскоре и полиномиальный [4]. В работе [5] впервые показана возможность распространения геометрического моделирования на полиномиальные базисы гексагонов высших порядков.

Геометрическое конструирование на гексагоне полиномиальной функции формы, как правило, приводит к появлению “лишних” членов высших порядков, что вызывает anomальное поведение базисной функции внутри гексагона и/или на его границе. В некоторых случаях такие аномалии не имеют нежелательных последствий благодаря полному или частичному сглаживанию при ансамблировании функций формы [2]. В других случаях [3] могут потребоваться специальные приемы нормализации “базиса” для создания необходимых интерполяционных качеств и вычислительных свойств модели.

Цель работы – проиллюстрировать возможность геометрического конструирования системы полиномиальных функций формы, решающих задачу лагранжевой интерполяции на гексагоне по известным значениям искомой функции в вершинах элемента. Гексагон рассматривается как самостоятельный вычислительный шаблон, оснащенный унитарным набором функций формы для восстановления финитной полевой функции. Поэтому традиционные для МКЭ вопросы ансамблирования элементов и межэлементной непрерывности здесь не рассматриваются.

Основная часть. В плоскости $0xy$ рассмотрим правильный шестиугольник, вписанный в окружность единичного радиуса с центром в начале координат (рис. 1).

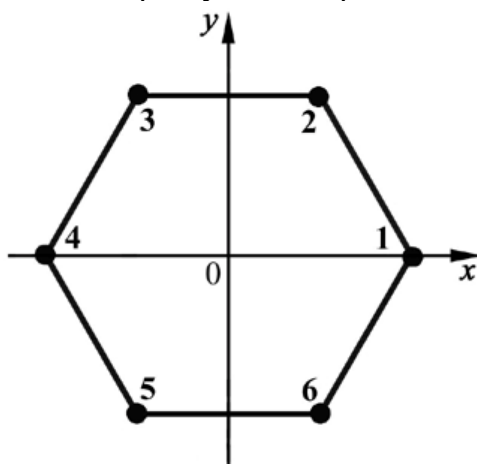


Рис.1 Гексагональный элемент с 6-ю узлами

Главная задача заключается в построении набора из шести полиномов $p_i(x,y)$, удовлетворяющих интерполяционной гипотезе Лагранжа:

$$p_i(x_k, y_k) = \delta_{ik} \quad (k = \overline{1,6}), \quad (1)$$

где δ_{ik} - символ Кронекера.

Мы начнем построение с функции $p_1(x,y)$, которая ассоциируется с узлом $1(1;0)$. Из условий (1) следует, что эта функция равна единице в “своём” узле и нулю в остальных узлах. Геометрически $p_1(x,y)$ – это поверхность, “нависающая” над гексагоном и образованная перемещением (трансляцией) выпуклой параболы $Y(y) = \frac{1}{3}(3 - 4y^2)$ по

вогнутой параболе $X(x) = \frac{1}{6}(2x^2 + 3x + 1)$. Такие поверхности в теории

конструкционных оболочек называют трансляционными. Таким образом, мы получаем первую функцию в виде:

$$p_1(x, y) = \frac{1}{18}(2x^2 + 3x + 1)(3 - 4y^2). \quad (2)$$

Остальные функции получаются из (2) вращением системы координат на угол, кратный 60° . На рис.2 показана функция $p_1(x,y)$.

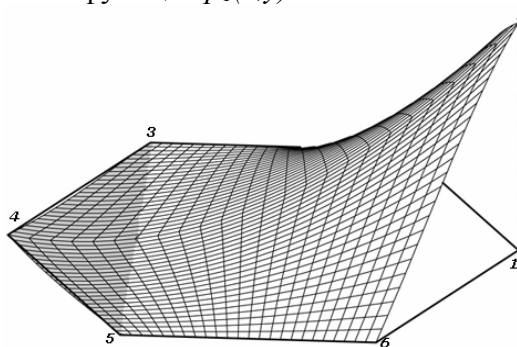


Рис.2 График функции $p_1(x,y)$

Заметим, что поверхности $p_1(x,y)$ и $p_4(x,y)$ симметричны относительно координатной плоскости $y=0$. Вообще, поверхность $p_i(x,y)$ симметрична относительно вертикальной диагональной плоскости, проходящей через узел i и центр гексагона. Все функции $p_i(x,y)$ одинаковы, что является следствием симметрии гексагона. При безусловном соблюдении интерполяционной гипотезы всё же имеет место нарушение весового баланса в системе трансляционных функций формы. Подобный недостаток был обнаружен в несовершенной системе полиномов Ишигуро [1,3]. Однако, в отличие от сильно избыточной модели Ишигуро, здесь дисбаланс гораздо слабее

$$1 \leq \sum_{i=1}^6 p_i(x, y) \leq 1,08(3). \quad (3)$$

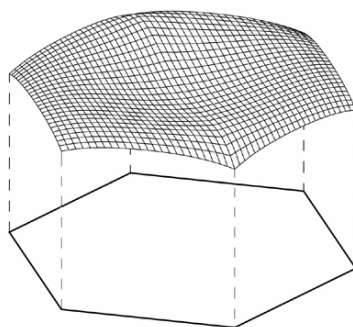


Рис.3. Сумма функций формы гексагона

Рис.3 дает наглядное представление об отклонениях суммы (3) от стандарта. Как видим, трансляционный базис практически не отличается от синтетического [6], что позволяет рассчитывать на практическую пригодность построенной системы функций. Ясно, что в большинстве задач интерполяции потенциального поля трансляционный базис будет давать вполне приемлемые результаты. В условиях повышенных требований к точности вычислений можно нормализовать трансляционный базис с целью полного устранения дисбаланса, как это было сделано с полиномами Ишигуро [1,3]. Правда, в этом случае нормирующий множитель должен обеспечить немонотонное сжатие поверхности (рис.3) к плоскости Oxy . Ясно, что это приведет к новому дробно-рациональному базису.

Выводы. Идея разделения переменных в интерполяционном коэффициенте Лагранжа $p_1(x,y)$ дает простой и наглядный способ конструирования трансляционных функций формы на гексагоне. Слабое нарушение весового баланса не влияет существенно на вычислительные качества модели и при необходимости может быть устранено с помощью функционального нормирующего множителя. Возникающий при этом новый дробно-рациональный базис будет описан в последующих публикациях.

The possibility of geometrical model operation of translating basis functions such as the Lagrange for restitution of a potential field on hexagon is explored. The appearance feeble weight dizbalance in a system of functions of the shape is analyzed.

1. Ishiguro M. Construction of hexagonal basis functions applied in the Galerkin-type finite element method // J. Inf. Process. 1984. V. 7, №2. – P.89-95.
2. Хомченко А.Н. К расчету температурных полей в сотовых структурах методом конечных элементов // Инж.-физ. журнал. – 1987. – Т.52, №2. – С.301-305.
3. Хомченко А.Н. О дробно-рациональной интерполяции на шестиугольном конечном элементе//Вісник Запорізького Державного університету (Серія: фізико-математичні науки).-2002.-№3.-С.84-84.
4. Хомченко А.Н. Об одном проекционно-сеточном алгоритме вычислительной механики // VI Всесоюз. съезд по теор. и прикл. механике: Аннот. докл. - Ташкент, 1986.-С.628-629.
5. Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н. Геометрическое моделирование полиномиальных базисов гексагональных конечных элементов // Матем. моделирование. - К.: Институт математики НАМ Украины, 1996.-С.84-87.
6. Хомченко А.Н. Синтетична модель гексагонального скінченного елемента // Прикладна геометрія та інженерна графіка. Праці / Тавр. держ. агротехн. академія. – Вип.4, т.20. – Мелітополь: ТДАТА, 2003.- С.9-13.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ
КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ТОЧНОСТЬЮ ШАРИКО-ВИНТОВЫХ ПЕРЕДАЧ

Вайсман В.А.

Актуальной проблемой современного машиностроения является совершенствование технологии шарико-винтовых передач (ШВП) и расширение ассортимента изделий, где они применяются, что связано с тем, что ШВП организует передачу крутящего момента при помощи подшипников качения. Этот подход является энергетически оправданным, т.к. приводит к экономии затрат. Кроме того, значительное увеличение количества циклов и надежность определяют широту применения ШВП – от автомобильных подъемников до атомных электростанций. В последнем случае требования к точности геометрических параметров винта, гайки и шариков весьма высоки, т.к. погрешности изготовления значительно снижают нагрузочную способность, долговечность и надежность работы передачи.

Анализ последних публикаций [1-4] показал, что отечественными учеными недостаточно внимания уделяется проблеме математического моделирования процесса управления точностью изделий станкостроения, как одного из основных свойств, характеризующих их качество. А ведь проблема качества и повышения конкурентоспособности становится ключевой для предприятий Украины, способствуя очевидному росту интереса к стратегическим вопросам бизнеса и к проблеме качества, а также к подходам и методам их решения.

Одной из **нерешенных задач** в этой области является математическое моделирование процесса управления кинематической точностью ШВП. При этом необходимо учитывать, что неточности, вызываемые случайными факторами, оказывают существенное влияние на кинематику передачи, что приводит к снижению ее эффективности в составе соответствующих механизмов и машин.

Изложение исследований. Для проведения статистических расчетов кинематической точности шариковых винтовых передач (ШВП) необходимо определить вероятностные характеристики случайной функции, которая в каждом опыте, сводящемся к случайному выбору винта из имеющейся совокупности винтов, принимает конкретный вид. При этом областью задания этой функции $E = E(s)$ следует считать диапазон изменения s , соответствующий измеряемой длине резьбы винта.

При расчете параметров кинематической точности ШВП в качестве исходных данных принимаются наборы экспериментально полученных точек $A_i(\gamma_i, e_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ (каждой ШВП соответствует свой набор) в декартовой системе координат $O\gamma e$, по оси абсцисс которой откладывается угол γ поворота винта, а по оси ординат – отклонение e от действительного перемещения точки касания шарика с канавкой от номинального.

Перейдем от аргумента γ к аргументу s – расстоянию указанной точки касания от ее начального положения, соответствующего $\gamma=0$, отсчитываемому по теоретической траектории этой точки, представляющей собой винтовую линию. Если R и h – соответственно, радиус и шаг этой линии, то ее параметрические уравнения в соответствующей декартовой системе координат будут следующими:

$$x = R \cos \gamma, y = R \sin \gamma, z = \frac{h}{2\pi} \gamma \quad [1].$$

Поэтому

$$s = \int_0^\gamma \sqrt{x'^2 + y'^2 + z'^2} d\gamma = \int_0^\gamma \sqrt{(-R \sin \gamma)^2 + (R \cos \gamma)^2 + (h/2\pi)^2} d\gamma = \sqrt{R^2 + (h/2\pi)^2} \gamma.$$

$s = \sqrt{R^2 + (h/2\pi)^2} \lambda$ - формула перехода от γ к s . Будем считать, что в дальнейшем, согласно этой формуле, величина γ заменена на s .

Теоретически, при неограниченном увеличении n , набор точек $A_i(\gamma_i, e_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ трансформируется в некоторую кривую, представляющую собой для данной ШВП графическую зависимость e от s . Соответствующую этой кривой непрерывную функцию $e = e(s)$ будем считать реализацией случайной функции неслучайного аргумента $E = E(s)$, представляющей собой зависимость случайного отклонения E действительного перемещения от номинального (для совокупности всех винтов данного типоразмера) от s .

Таким образом, $E = E(s)$ - случайная функция, которая в каждом опыте, сводящемся к случайному выбору винта из имеющейся совокупности винтов, принимает конкретный вид $e = e(s)$ зависимости e от s для этого винта. При этом областью задания функции $E = E(s)$ будем считать диапазон изменения s , соответствующий измеряемой длине резьбы винта. Иными словами, каждый конкретный винт отождествляется с одной из реализаций $e = e(s)$ случайной функции $E = E(s)$.

Пусть E - случайная величина, являющаяся сечением случайной функции $E = E(s)$ при произвольном фиксированном значении аргумента $s = s_0$. Необходимо выяснить, подчиняется ли E нормальному закону распределения. Известно несколько способов проверки этой гипотезы [5]. Однако, как показывает практический опыт применения этих способов, оптимально использовать одновременно два из них: по размаху варьирования и по χ^2 -критерию.

Первый из них весьма прост, служит для быстрой проверки и при положительном результате ориентирует на применение второго способа - для точной проверки нормальности распределения. Первый способ применим для случая $3 < n < 1000$. Его суть заключается в следующем: вычисляется размах варьирования $R = e_{\max} - e_{\min}$, где $e_{\max} = \max \{e_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$; $e_{\min} = \min \{e_i\}$, $i = 1, 2, \dots, n$; подсчитывается отношение R/S , где

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (e_i - \bar{e})^2}, \quad e_i - \text{экспериментально полученные значения случайной величины } E =$$

$$E(s_0) \text{ и } \bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n e_i - \text{среднее этих значений, и это значение сопоставляется с критическими}$$

верхней и нижней его границами, приведенными в табл. 1 [5].

Таблица 1

Объем выбор ки	Нижние границы						Верхние границы					
	Вероятность ошибки											
	0,00 0	0,00 5	0,01 0	0,02 5	0,05 0	0,10 0	0,10 0	0,05 0	0,02 5	0,01 0	0,00 5	0,00 0
3	1,73 2	1,73 5	1,73 7	1,74 5	1,75 8	1,78 2	1,99 7	1,99 9	2,00 0	2,00 0	2,00 0	2,00 0
4	1,73 1	1,83 0	1,87 0	1,93 0	1,98 0	2,04 0	2,40 9	2,42 9	2,43 9	2,41 5	2,44 7	2,44 9
...
1000	1,99 9	5,50 0	5,57 0	5,68 0	5,79 0	5,92 0	7,11 0	7,33 0	7,54 0	7,80 0	7,99 0	44,7 0

Если R/S оказывается меньше нижней или больше верхней границы, то нормального распределения нет. Если же R/S оказывается в пределах между нижней и верхней границами, то можно рассчитывать, что E приближенно подчиняется нормальному закону распределения. Следовательно, можно перейти к применению

методики по χ^2 -критерию. Ее суть состоит в следующем. Производится группирование экспериментально полученных чисел:

$$e_i, i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

Для этого промежуток $\langle e_{\min}, e_{\max} \rangle$, содержащий эти числа, разбивается на k интервалов одинаковой длины Δe и подсчитывается количество элементов выборки (1), попавших в каждый из указанных интервалов $v_j, j = 1, 2, \dots, k$. Значениям e , находящимся в одном и том же j -ом интервале, приписывается значение e_j^* , которое соответствует середине указанного интервала (при этом наблюдения, попадающие на границу $(j - 1)$ -го и j -го интервалов, следует относить к интервалу с номером 1).

После группирования данные удобно представлять таблицей следующего вида:

Таблица 2

Номера интервалов	Средины интервалов e_j^*	Частоты интервалов v_j
1	e_1^*	v_1
2	e_2^*	v_2
...
k	e_k^*	v_k

Примечание: v_j – абсолютная частота для j -го интервала, т.е. количество элементов выборки (1), попавших в этот интервал.

Предварительное количество k_{np} интервалов группирования рекомендуется находить из полуэмпирического соотношения $k_{np} = 1 + 3,32 \lg n$ с округлением в сторону ближайшего целого числа.

После этого определяется длина интервалов $\Delta e = \frac{e_{\max} - e_{\min}}{k_{np}}$. Середина промежутка

$\langle e_{\min}, e_{\max} \rangle$ $\frac{e_{\max} + e_{\min}}{2}$ принимается в качестве центра некоторого интервала, после чего

легко можно найти границы и окончательное количество k указанных интервалов так, чтобы в совокупности они перекрывали промежуток $\langle e_{\min}, e_{\max} \rangle$. После этого заполняется табл.2, являющаяся фрагментом таблицы 3.

В таблице 3

$$\bar{e} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^k v_j e_j^*,$$

$$\bar{S} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum_{j=1}^k v_j (e_j^*)^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{j=1}^k v_j e_j^* \right)^2 \right]},$$

$$f(z_j) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z_j^2/2}, \quad k' = \frac{nb}{\bar{S}},$$

где b – длина интервалов; $n_{critj} = k' f(z_j)$ – ожидаемая по стандартному нормальному распределению (т.е. по распределению с плотностью вероятности $f(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-z^2/2}$) частота для j -го интервала.

Расчетное значение χ^2 для всех интервалов вычисляется по формуле

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^k \frac{(v_j - n_{critj})^2}{n_{critj}}$$

Таблица 3

Номера Интервалов	Середины интервалов e_j^*	Частоты интервалов v_j	$(e_j^*)^2$	$v_j e_j^*$	$v_j (e_j^*)^2$	$e_j^* - \bar{e}$	$z_j = \frac{e_j^* - \bar{e}}{S}$	$f(z_j)$	$v_{crj} = k \cdot f(z_j)$	$v_j - v_{crj}$	$(v_j - v_{crj})^2$	$(v_j - v_{crj})^2 / v_{crj}$
1	e_1^*	v_1	$(e_1^*)^2$	$v_1 e_1^*$	$v_1 (e_1^*)^2$	$e_1^* - \bar{e}$	z_1	$f(z_1)$	v_{cr1}	$v_1 - v_{cr1}$	$(v_1 - v_{cr1})^2$	$\frac{(v_1 - v_{cr1})^2}{v_{cr1}}$
...
k	e_k^*	v_k	$(e_k^*)^2$	$v_k e_k^*$	$v_k (e_k^*)^2$	$e_k^* - \bar{e}$	z_k	$f(z_k)$	v_{crk}	$v_k - v_{crk}$	$(v_k - v_{crk})^2$	$\frac{(v_k - v_{crk})^2}{v_{crk}}$

Это значение сравнивается с табличным χ^2 (ν , $p\%$) при заданном уровне значимости $p\%$ (например, 10%-ном) и числе степеней свободы $\nu = k - 1 - 2$ (т.к. оцениваются два параметра \bar{x} и \bar{S}). В случае, если $\chi^2 \leq \chi^2$ (ν , $p\%$), то гипотеза о нормальности закона распределения случайной функции $E = E(s)$ принимается, в противном же случае – отвергается.

Вывод. Положительный результат такой проверки существенно упрощает исследование кинематической точности винтов ШВП. Если будет установлено, что $E(s)$ обладает этими свойствами, то в процессе последующего производства винтов данного типоразмера можно будет подвергать изучению не всю серию винтов, а всего лишь несколько (либо даже один из этих винтов), что, разумеется существенно сократит затраты времени на контроль точности и повысит эффективность производства.

In the article the decision of task of statistical research of kinematics exactness of ball-shaped helical gears is expounded, that allows to handle the process of rise of their quality, to minimize the expenditures of time on the control of exactness of wares and promote efficiency of the ball-shaped helical gears production.

1. Емельянов И.Я., Воскобойников В.В., Масленок Б.А. Основы проектирования механизмов управления ядерных реакторов.– М.: Атомиздат, 1978.– С.223.
2. Рудя Н., Сизонтов В. Горизонты станкостроения // Деньги и технологии.— 2003.— №9.— С. 24-28.
3. Грузнов И.И. Механизмы интенсификации обновления продукции (теоретические и прикладные основы).– Одесса: ОНПУ, 2004.– 288 с.
4. Осипов В.Н., Диленко В.А., Стрелец А.А. Оценка конкурентоспособности продукции производственного назначения.– Одесса: ИПРРЭИ НАН Украины, 2004.– 152 с.
5. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. – М.: Высшая школа, 1982. – 224 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 681.3.01:519.67

ЧАСТОТНО-ДЕТЕКТОРНЫЙ МЕТОД ТЕКСТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ
ИЗОБРАЖЕНИЙ

Крылов В.Н., Полякова М.В.

Постановка проблемы. Быстрый рост научно-технического прогресса обуславливает необходимость автоматизации обработки больших объемов видеоинформации. Повышения эффективности решения задач анализа и распознавания достигают за счет повышения эффективности их составляющих, в том числе и сегментации. Процедура сегментации имеет важное, а в некоторых отраслях и решающее значение для автоматизированных систем распознавания изображений, она обеспечивает снижение объема обрабатываемой информации, инвариантность к трансформациям интенсивности.

Задача сегментации ставится как разбиение изображения на однородные области. Ее можно рассматривать в двух постановках:

- разбиение изображения на однородные по определенному признаку области;
- выделение на изображении одного или нескольких сегментов по определенному признаку для дальнейшей обработки.

В первом случае изображение можно представить в виде совокупности значений интенсивности на объединении сегментов. Значения интенсивности изображения на каждом из сегментов подвергаются дальнейшей обработке, хотя методы обработки могут отличаться для каждого из сегментов.

Сегментация изображений в такой постановке задачи используется как один из этапов решения задачи сжатия изображений. При сегментации изображений в такой постановке задачи сохраняется объем визуальной информации.

Во втором случае дальнейшей обработке подвергается один фрагмент изображения (в случае решения задачи поиска характерного фрагмента изображения) или несколько фрагментов изображения (в случае решения задачи анализа сцен). При решении задачи сегментации в такой постановке необходимо выделить границы информативных фрагментов. Так как дальнейшей обработке подвергаются только характерные фрагменты, объем видеоинформации уменьшается.

В данной работе задача сегментации изображения рассматривается в первой постановке [1]. Необходимо найти разбиение $\Omega = \bigcup_{i=1}^k \Omega_i$ области определения изображения $I(x,y)$ на непересекающиеся области, в каждой из которых вектор признаков текстуры медленно меняется. Процедура построения разбиения Ω на однородные области называется сегментацией изображения.

Решение этой проблемы соответствует государственным научно-техническим программам, которые сформулированы в законе Украины «Про научную и научно-техническую деятельность» и в законе Украины «Про национальную программу информатизации».

Анализ последних публикаций. Нерешенные части общей проблемы. Обрабатываемое изображение является локально неоднородным. Поэтому процесс сегментации текстурных изображений целесообразно проводить на разных уровнях детализации текстуры в зависимости от поставленной задачи. В ряде важных практических задач изображение можно распознать по крупным или мелким деталям текстуры, в других — информативной частью являются типы пространственных взаимодействий между тоновыми производными элементами текстуры [2]. Если изменения тоновых производных элемен-

тов текстуры в пределах небольшого участка изображения малы, то доминирующий признак участка — детали текстуры (тон). Если тоновые производные элементы текстуры существенно изменяются, то доминирующим признаком являются пространственные взаимодействия тоновых производных элементов (текстура). Т. о. при сегментации изображение целесообразно подвергнуть преобразованию, обладающему свойством пространственно-частотной локализации для учета текстурного и тонового признаков.

Локализация пространственных частот изображения обеспечивает выполнение сегментации по текстурному признаку. Однако ее разрешение по частоте может оказаться недостаточным для сегментации по тоновому признаку, что в свою очередь, ухудшает качество выделения границ текстурных областей. Т.к. в результате локализации пространственных частот интенсивность изображения сконцентрирована в определенной частотной полосе, в ряде прикладных задач его можно представить в виде модулированного высокочастотного колебания.

Пусть $x=1, \dots, N$; $y=1, \dots, M$ — пространственные координаты. Представим значения интенсивности m -й строки текстурного изображения с однородным фоном в виде разбиения на последовательные непересекающиеся сегменты

$$I(x, y_m) = \bigcup_{i=1}^k \left\{ h_i(x, y_m) = c_i(x, y_m) + \sum_{j=1}^n A_{ij}(x, y_m) \cos \psi_{ij}(x, y_m) + N_i(x, y_m), x \in [q_{i-1}, q_i] \right\}, \quad (1)$$

где $c_i(x, y_m)$ — представление фона на i -м сегменте m -й строки изображения, $A_{ij}(x, y_m)$, $\psi_{ij}(x, y_m)$ — соответственно амплитуда и фаза j -го амплитудно-частотного модулированного колебания i -м сегменте m -й строки изображения, $N_i(x, y_m)$ — белый гауссовский шум с нулевым средним и дисперсией σ_i^2 , $q = (q_0, \dots, q_{k+1})$ — вектор границ текстурных областей m -й строки изображения, причем $q_0=1$, $q_{k+1}=N+1$, N — количество пикселей в строке изображения.

Для выявления изменений тоновых производных элементов текстуры необходимо выделить сигнал, который в неявной форме содержится в модулированном высокочастотном колебании. Этот аспект учитывают методы текстурной сегментации изображений на семантически однородные области с учетом модуляции, согласно которым производится

- оценка значений признака сегментации;
- статистическая оценка центра группирования этого признака;
- морфологическая обработка границ сегментов для улучшения качества сегментированного изображения.

Представителем методов текстурной сегментации, использующий в качестве признака сегментации амплитуду и приращение фазы сигнала изображения, является метод амплитудно-частотной демодуляции работы [3], работающий по следующей схеме:

- производится оценка амплитуды и приращений фазы сигнала изображения, которая включает пространственно-частотную локализацию изображения, а также применение пространственной нелинейной демодуляции;
- выполняется оценка центра группирования амплитуды и приращения фазы сигнала изображения с помощью кластерного анализа;
- производится морфологическая обработка, регуляризирующая границы однородных сегментов изображения с помощью изотропного морфологического “majority” фильтра и усиливающая пространственное соответствие однородных сегментов их семантической интерпретации путем объединения сегментов.

Преимуществом этого метода текстурной сегментации является высокое качество выделения границ сегментов, недостатком — низкая помехоустойчивость как результат

применения кластерного анализа при оценке центра группирования признака. Чтобы избежать этого недостатка, предлагается проводить оценку центра группирования признака сегментации с помощью методов детектирования сигналов [4]. На вход детектора подается модулированное колебание, содержащее только высокочастотные составляющие: несущее колебание и колебания боковых частот. На выходе выделяется модулирующий сигнал. Детектирование позволяет определить момент изменения амплитуды и частоты сигнала с высокой помехоустойчивостью в результате использования фильтра нижних частот и отличается быстродействием.

Таким образом, целью работы являлась разработка помехоустойчивого метода текстурной сегментации изображений с пространственно-частотной локализацией значений интенсивности на основе частотного детектирования.

Изложение основного материала. Методология текстурной сегментации изображений с применением детектирования включает три этапа: локализацию пространственных частот изображения, детектирование, контурную сегментацию. В результате локализации пространственных частот учитывается статистическая пространственная взаимозависимость производных элементов текстуры (текстурный признак). Последующая контурная сегментация результата детектирования позволяет учесть структурную информацию о пространственной организации производных элементов текстуры (тоновой признак).

Тогда согласно предлагаемой методологии текстурная сегментация изображений производится следующим образом:

- путем использования полосового фильтра выделяется область пространственных частот, в которой локализована амплитудно-частотная модулирующая составляющая изображения;

- к результату локализации изображения в области пространственных частот применяется детектирование, которое изменение признака текстуры преобразует в изменение интенсивности;

- после детектирования проводится контурная сегментация изображения;

- обработка проводится по строкам и столбцам изображения, к результату обработки применяется логическое сложение по схеме ИЛИ.

Разработанный на основе этой методологии частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений использует частотное детектирование сигналов изображений и заключается в следующем (рис. 1).

Локализация значений интенсивности строки или столбца изображения в области пространственных частот производится с помощью линейки полосовых фильтров. После этого выполняется жесткое амплитудное ограничение по формуле:

$$I_o(x, y_m) = \begin{cases} a, & I_j(x, y_m) \geq 0, \\ 0, & I_j(x, y_m) < 0. \end{cases} \quad (2)$$

где $a > 0$ — некоторая константа, $I_j(x, y_m)$ — результат полосовой фильтрации j -м фильтром.

При жестком амплитудном ограничении [4] гармонического сигнала на выходе получаем меандр с амплитудой импульсов a . При обработке узкополосного гауссовского шума по формуле (2) выходной сигнал отличается от меандра тем, что пересечения нуля случайны.

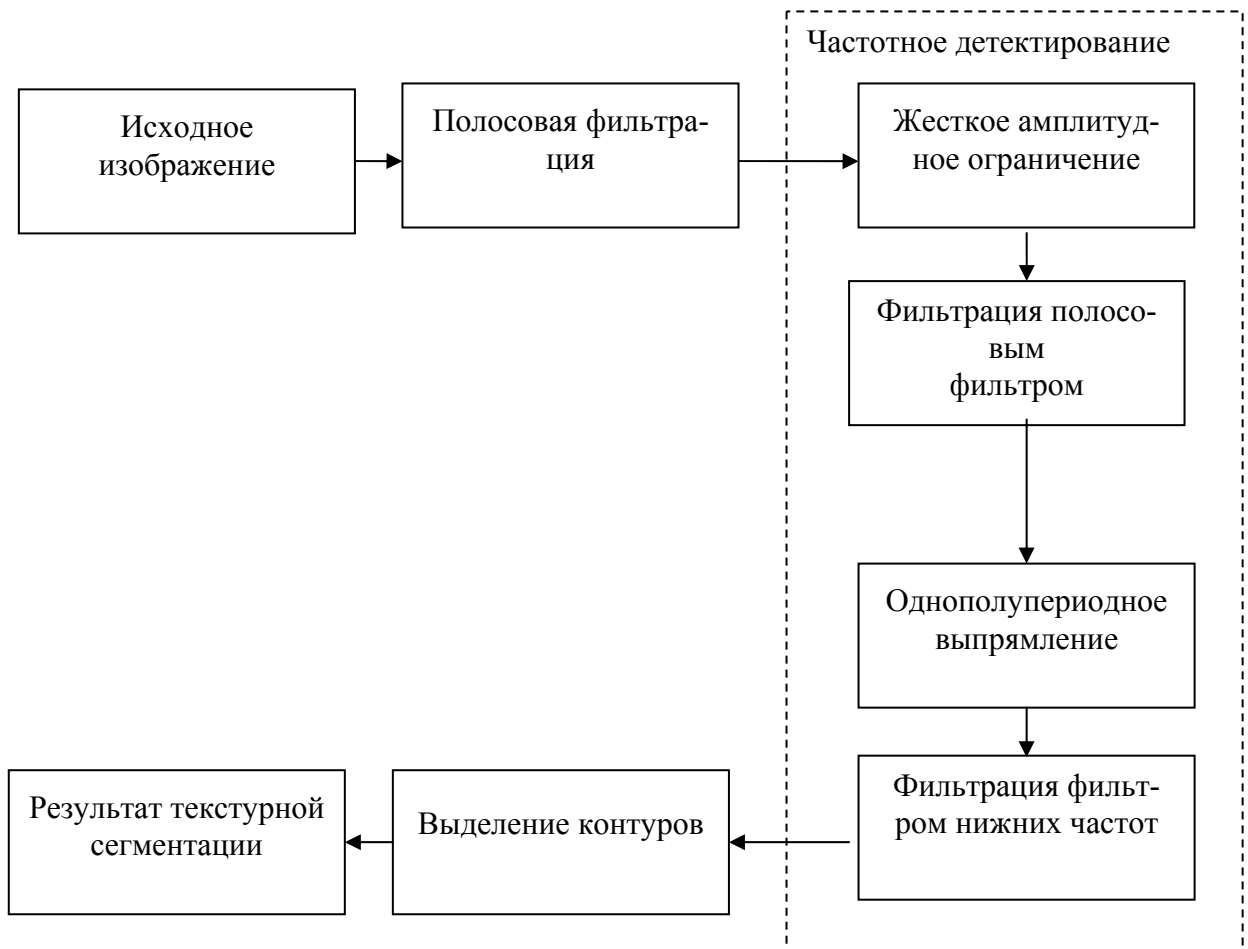


Рис. 1 Функциональная схема частотно-детекторного метода текстурной сегментации изображения.

После амплитудного ограничения для выделения сообщения из частотно-модулированного сигнала, спектр которого состоит только из высокочастотных составляющих (несущая частота и боковые частоты модуляции) необходимо нелинейное преобразование. Для частотного детектирования используется композиция двух преобразований: преобразования частотной модуляции в амплитудную и амплитудного детектирования. Для преобразования частотной модуляции в амплитудную используется полосовой фильтр с неравномерной частотной характеристикой. При точной настройке фильтра на несущую частоту в качестве резонансной сигнал искажается: частота изменения огибающей получается вдвое выше частоты полезной модуляции. Поэтому несущая частота должна устанавливаться на скате амплитудно-частотной характеристики фильтра. Недостатками того подхода является ограниченный линейный участок на скате амплитудно-частотной характеристики фильтра и необходимость настройки фильтра на частоту, отличную от частоты модулированного колебания.

После преобразования частотной модуляции в амплитудную применяем амплитудное детектирование. В составе амплитудного детектирования выполняется однополупериодное выпрямление по формуле линейного детектирования

$$I_A(x, y_m) = \begin{cases} I_j(x, y_m), & I_j(x, y_m) \geq 0, \\ 0, & I_j(x, y_m) < 0. \end{cases}$$

где $I_j(x, y_m)$ — результат полосовой фильтрации j -м фильтром. Затем проводится низкочастотная фильтрация.

В [4] проведена оценка помехоустойчивости частотного детектора при входном сигнале $s(t) = A \cos(\omega_0 t + (\omega_d / \Omega) \sin \Omega t)$. Замечено, что при увеличении отношения частоты девиации ω_d к наивысшей частоте модуляции Ω_{\max} можно получить большой выигрыш в отношении сигнал/шум частотного детектирования по сравнению с амплитудным детектированием. Это связано с тем, что для частотного детектора $q_{\text{вых}} / q_{\text{вх}}^2 = 3(\omega_d / \Omega_{\max})^2$.

Преимущества частотного детектирования сохраняются при высоких значениях отношения сигнал/шум, если обеспечивается ограничение амплитуды колебания на входе детектора. При высоких значениях отношения сигнал/шум имеет место подавление сигнала за счет использования амплитудного детектирования как структурного элемента частотного.

При проведении экспериментальных исследований предложенного частотно-детекторного метода текстурной сегментации изображения оценивались его помехоустойчивость, качество определения границ сегментов, эффективность. 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 [5]. Вероятность выявления действительных границ сегментов можно легко вычислить, сравнивая идеально и реально сегментированные изображения по критерию Прэтта [5]

$$R = (1/I) \sum_{i=1}^{I_A} 1/(1 + \alpha d_i^2), \quad (3)$$

где $I = \max(I, I_A)$; I, I_A — число точек границ сегментов идеально и реально сегментированных изображений соответственно; α — масштабный множитель; d_i — расстояние между точкой действительной границы сегмента и линией, которая состоит из точек идеальной границы сегмента, измеренное по нормали к этой линии. Значение критерия (3) нормализовано так, что $R=1$ для точно выделенной границы. Множитель $1/I$ обеспечивает штраф за смазанные и разбитые границы сегментов.

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

$$F = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (I_{i,j}^t - I_{i,j}^{\text{эм}})^2}}{P}, \quad (4)$$

где P — длина границ выделенных сегментов в пикселах, M, N — размеры изображения.

Для оценки эффективности сегментации использовался показатель

$$E = \frac{n \log_2 q}{k + 1},$$

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

В результате экспериментальных исследований получены графики зависимости критерия Прэтта, а также показателей качества определения границ текстурных областей и эффективности сегментации от отношения сигнал/шум по мощности (рис. 2). При оценке этих показателей использовалось тестовое изображение, состоящее из 256×256 элементов, интенсивность которых менялась в диапазоне $0 \dots 127$. Тестовое изображение формировалось по формуле:

$$I(x, y_m) = \begin{cases} \sin 2\pi f_0 x, & 1 \leq y \leq 127, \\ \sin 2\pi f_1 x, & 128 \leq y \leq 256, x = 1, \dots, 256, \end{cases} \quad (5)$$

где $f_0 = 30$ период/м, $f_1 = 15$ период/м. На тестовое текстурное изображение был наложен независимый гауссовский шум со среднеквадратичным отклонением $\sigma_{вх}$. Затем значения интенсивности этого изображения переводились на интервал $[0,255]$. Отношение сигнал/шум по мощности определялось как $q = \frac{A_0^2}{\sigma_{вх}^2}$, где A_0 — амплитуда синусоидальной решетки (5).

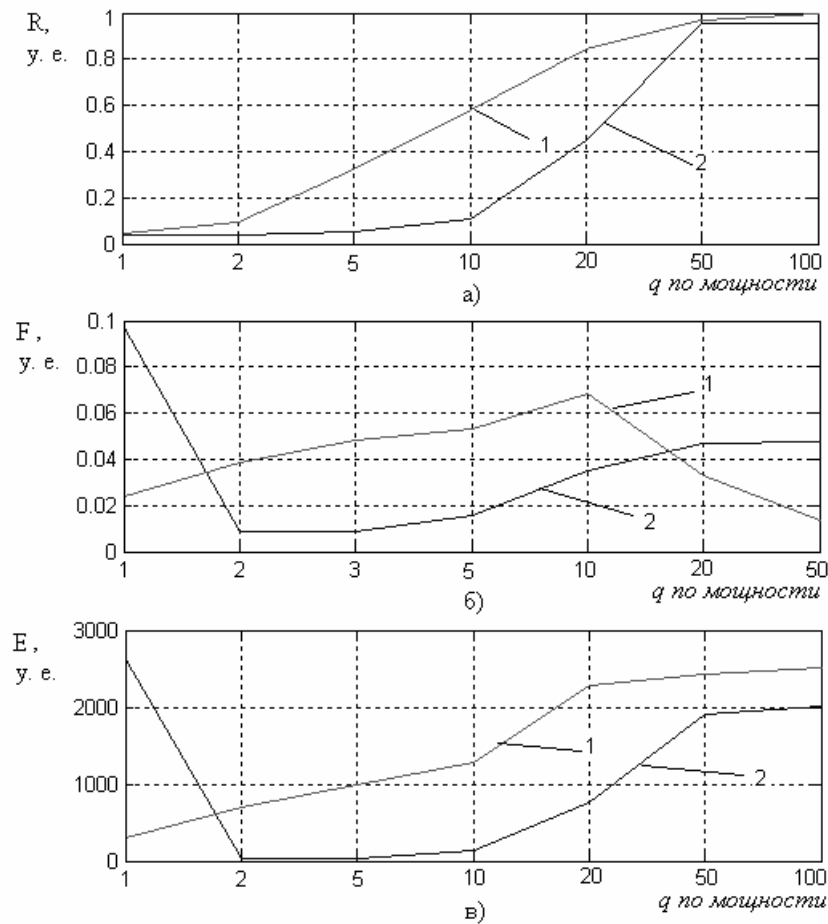


Рис. 2 Зависимость критерия Прэтта (а), показателя качества (б) и эффективности (в) сегментации от отношения сигнал/шум для метода амплитудно-частотной демодуляции (2) и частотно-детекторного метода (1) текстурной сегментации

Анализируя полученные результаты, следует заметить, что предложенный частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений превосходит по помехоустойчивости известный метод в 1,1 — 6 раз при отношениях сигнал/шум 2 — 50 по мощности. При высоких и низких отношениях сигнал/шум получены сходные по помехоустойчивости результаты. По эффективности амплитудно-детекторный метод текстурной сегментации изображений превосходит метод работы [3] в 1,5 — 3 раза. Сравнительная оценка качества выделения границ текстурных областей показала, что частотно-детекторный метод превосходит метод работы [3] в 1,3 — 3 раза при отношениях сигнал/шум 50 и выше по мощности. При отношениях сигнал/шум 20 и менее по мощности известный метод [3] превосходит предложенный частотно-детекторный метод текстурной

сегментации до 4,8 раз. Это обусловлено тем, что применение разработанного метода приводит к утолщению контура. В этом случае результат сегментации предложенным методом требует дополнительную морфологическую обработку. На рис. 3 приведены результаты текстурной сегментации предложенным методом и методом работы [3] тестового изображения при отношении сигнал/шум 5 по мощности. Очевидно, что в случае текстурной сегментации частотно-детекторным методом выполнение морфологической обработки менее затруднено, чем при применении метода амплитудно-частотной демодуляции. Т. о. после дополнительной морфологической обработки предложенный частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений можно рекомендовать для текстур, отличающихся частотой, при отношениях сигнал/шум 2 и выше по мощности в задачах, где требуются методы текстурной сегментации с высокой помехоустойчивостью.

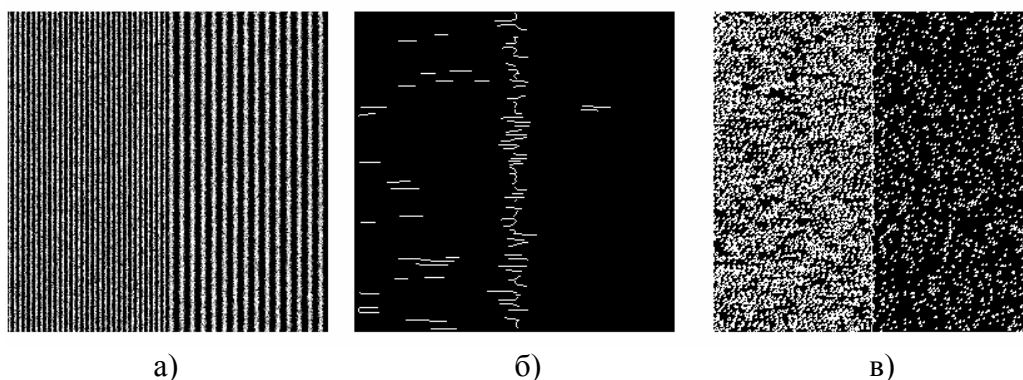


Рис. 3 Тестовое изображение при отношении сигнал/шум 5 по мощности (а) и результаты его текстурной сегментации предложенным методом (б), а также методом работы [3] (в)

Частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений на основе модели (1) может использоваться для различения типа рельефа местности при дешифровке аэрофотоснимков и изображений, полученных со спутников. Его можно применять также для структурно-тектонического дешифрования космоизображений в геолого-поисковых работах, а также при решении других задач обработки изображений, описываемых моделью (1).

The noise stability frequency detector method of segmentation of images with space-frequency localization of intensity values is proposed.

1. Morel J.-M., Solimini S. Variational Methods in Image Segmentation. — Boston: Birkhauser, MA, 1995. — 297 p.
2. Харалик Р. Статистический и структурный подходы к описанию текстур // ТИИЭР. — 1979. — Т. 67, № 5. — С. 98 — 120.
3. Navlicek J.P., Harding D.S., Bovik A.C. The multicomponent AM-FM image representation // IEEE Trans. Image Proc. — 1996. — Vol. 5, № 6. — P. 1094 — 1100.
4. Гоноровский И.С. Радиотехнические цепи и сигналы. — М.: Радио и связь, 1986. — 512 с.
5. Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Т. 2. — М.: Мир, 1982. — 790 с.

АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОЙ СЕТИ СМАС И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ЗАДАЧ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Руденко О.Г., Бессонов А.А., Бобух В.А.

Введение. Получающие в последнее время все более широкое распространение искусственные нейронные сети (ИНС) являются особенно эффективными при решении задач идентификации и управления нелинейными динамическими объектами в реальном времени, обработки и фильтрации сигналов и изображений.

Высокая скорость обучения и малый объем требуемой памяти, достигаемые за счет специального кодирования информации, делает сеть *СМАС* – *Cerebellar Model Articulation Controller* (церебральная модель артикуляционного контроллера) особенно привлекательной для реализации в микроконтроллерных системах управления нелинейными объектами [1].

Дополнительного положительного эффекта можно достичь, переходя от традиционной сети *СМАС*, использующей прямоугольные активационные функции, к нечеткой или фаззи *СМАС* (*FCMAS*), функции принадлежности которой отличны от прямоугольных [2, 3].

Сеть FCMAS. Основной особенностью *FCMAS* является лингвистическое описание действий, выполняемых в соответствии с текущим состоянием объекта, что позволяет включать в алгоритм ее работы знания эксперта, а сама сеть при этом может рассматриваться как экспертная система реального времени.

Нечеткие правила описывают возможные состояния системы и соответствующие им действия. Правила, реализуемые нечеткой нейросетью *СМАС*, имеют вид [4]

$$\text{IF } x_1 \text{ IS } X_{1,i} \text{ AND } \dots x_N \text{ IS } X_{N,i} \text{ THEN } f_i = w_m, \quad i = \overline{1, \rho}, \quad (1)$$

где $X_{1,i}, \dots, X_{N,i}$ – лингвистические значения в антецеденте i -го правила; f_i – функция в консеквенте i -го правила; w_m – настраиваемые параметры консеквента i -го правила; ρ – задаваемый априорно параметр, определяющий число активных функций принадлежности; N – размерность входного сигнала.

При использовании в качестве t -нормы произведения степень выполнения i -го правила вычисляется в соответствии с выражением

$$\Phi_i = \prod_{j=1}^N \phi_{ij}(x_j), \quad i = \overline{1, \rho}, \quad (2)$$

где $\phi_{ij}(x_j)$ – функция принадлежности на j -ом входе в антецеденте i -го правила.

Выходной сигнал нечеткой сети *СМАС* вычисляется следующим образом:

$$y = H(a^T \Phi(x))w, \quad (3)$$

$$\text{где } \Phi(x) = \begin{bmatrix} \Phi_1(x) & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \Phi_2(x) & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \Phi_n(x) \end{bmatrix}, \quad \Phi_i = \frac{\prod_{j=1}^N \phi_{ij}(x_j)}{\sum_{k=1}^{\rho} \prod_{j=1}^N \phi_{kj}(x_j)}, \quad i = \overline{1, \rho};$$

$H(\bullet)$ – используемый оператор хеширования информации; a – вектор ассоциаций, полученный на этапе кодирования информации; w – весовые параметры сети.

Алгоритмы хеширования информации в FCMAS. Хеширование заключается в отображении большой требуемой памяти в меньшую, физически реализуемую. Объем

большей памяти определяется размерностью вектора ассоциаций, полученного на этапе кодирования. Если адреса ячеек большей памяти лежат в интервале $[1, M]$, а меньшей – в интервале $[1, m]$, то функция преобразования адреса (хеш-функция) должна удовлетворять требованию

$$1 \leq H(k) < m, \quad \forall 1 \leq k \leq M.$$

Выбор функции $H(k)$ является весьма трудной задачей, однако многочисленные исследования показали, что хорошие результаты обеспечивает применение двух основных типов хеш-функций, один из которых основан на делении, а другой – на умножении [5].

Хеш-функция, реализующая метод, основанный на делении, имеет вид

$$H(k) = 1 + k \bmod m, \quad (4)$$

где $k \bmod m$ означает деление по модулю m .

Адрес ячейки памяти с меньшим объемом при методе хеширования, основанном на умножении, вычисляется по следующей формуле:

$$H(k) = 1 + \left\lfloor m \left[\left(\frac{F}{w} k \right) \bmod 1 \right] \right\rfloor, \quad (5)$$

где w – размер машинного слова; F – некоторая целая константа, взаимно простая с w ; $\lfloor \bullet \rfloor$ – означает округление в сторону ближайшего целого числа.

В качестве F возможно использование чисел Фибоначчи.

Хеш-функция, основанная на делении, равномерно распределяет большую память в меньшую в соответствии с адресом.

Функция, описываемая уравнением (5), «тасует» элементы памяти.

Обучение сети. Обучение сети РСМАС состоит в настройке вектора ее весовых параметров w на основании предъявления ей обучающих пар $\{x(k), y(k)\}$ и сравнения реакции сети $y(k)$ с требуемой $y(k)$. Соответствующий алгоритм обучения может быть записан следующим образом:

$$w(k+1) = w(k) + \frac{y(k) - y(k)}{\|\Phi(x(k))a(k)\|^2} \Phi(x(k))a(k). \quad (6)$$

Однако в ряде случаев для улучшения аппроксимирующих свойств сети возникает необходимость настройки не только весовых параметров сети, но и параметров базисных функций. Наиболее эффективным оказывается применение такого подхода для настройки центров μ и дисперсий σ гауссовых функций активации.

Настройка данных параметров может быть осуществлена, например по алгоритму, аналогичному алгоритму Уидроу-Хоффа:

$$m(k+1) = m(k) + \frac{y(k) - y(k)}{\left\| \frac{\partial y(k)}{\partial m(k)} \right\|^2} \frac{\partial y(k)}{\partial m(k)}, \quad (7)$$

где m – вектор настраиваемых параметров.

В случае использования гауссовых функций в качестве m используются центры μ и дисперсии σ , а векторы частных производных $\frac{\partial y(k)}{\partial \mu(k)}$ и $\frac{\partial y(k)}{\partial \sigma(k)}$ вычисляются по формулам

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \mu_{ji}(k)} = 2w_i(k) \prod_{s=1}^N e^{-\frac{(x_s - \mu_{si}(k))^2}{\sigma_{si}(k)^2}} \frac{(x_j - \mu_{ji}(k))}{\sigma_{ji}(k)^2},$$

$$\frac{\partial y(k)}{\partial \sigma_{ji}(k)} = 2w_i(k) \prod_{s=1}^N e^{-\frac{(x_s - \mu_{si}(k))^2}{\sigma_{si}(k)^2}} \frac{(x_j - \mu_{ji}(k))^2}{\sigma_{ji}(k)^3},$$

где i – номер возбужденной функции принадлежности; j – номер компонент векторов ассоциаций и весов, соответствующих данной функции принадлежности.

Аппаратная реализация. Рассмотрим кодирование переменной x_i , представляющей собой n -разрядное двоичное число. Так как входной слой сети СМАС содержит ρ ступеней квантования, таких, что для любой ступени существует другая ступень, на которой области квантования сдвинуты относительно рассматриваемой ступени на один уровень квантования входной переменной x_i , являющейся двоичным числом, то такой сдвиг соответствует единице младшего разряда входной переменной. Присвоим ступени квантования индекс $j = \overline{0, \rho - 1}$.

В связи с тем, что область квантования содержит ρ уровней квантования входной переменной, функция принадлежности, соответствующая любой области квантования, определена в ρ точках. Аргументом этой функции будет являться значение

$$u = (x_i + j) \bmod \rho, \quad (8)$$

где \bmod – функция вычисления остатка от целочисленного деления.

Номер активной функции принадлежности на ступени j можно определить как

$$v = (x_i + j) \operatorname{div} \rho, \quad (9)$$

где div – функция целочисленного деления.

Как известно, аппаратная реализация операции деления на произвольное число является либо ресурсоёмкой либо медленной. Поэтому предлагается выбирать значения ρ , равные 2^m . В этом случае операция деления может быть заменена операцией сдвига на m разрядов вправо, а остаток от деления, записанный в m младших разрядах, исчезает.

В классическом варианте сети СМАС активационные функции нейронов областей квантования имеют прямоугольную форму. Однако, как показывают исследования, лучший результат достигается при использовании функций высших порядков (линейных, квадратичных, кубических), а также тригонометрических и степенных функций.

Аппаратная реализация широкого спектра функций принадлежности, отличных от прямоугольных, сложна и ресурсоёмка. Поэтому целесообразно функцию активации задавать таблично в ОЗУ, содержащем $2m$ ячеек. Разрядность ячеек ОЗУ h определяется областью допустимых значений функции принадлежности, а также необходимой точностью задания значений функции принадлежности. Если, например, $m = 8$, то необходимо ОЗУ ёмкостью 256 ячеек. Блоки ОЗУ такого объёма имеются в большинстве современных ПЛИС (например, семейство ACEX1K фирмы ALTERA). Подобная реализация функций активации является простой и гибкой, так как позволяет задать функцию любого вида.

Структура блока кодирования переменной x_i представлена на рис.1. Код переменной x_i зашелкивается в регистре RgX, откуда поступает на сумматор $\Sigma 1$. На второй вход этого сумматора поступает m – разрядное значение номера ступени j , на которой в данный момент происходит кодирование. Это значение формируется устройством случайной выборки ступени, служащим для устранения диагональной структуры ассоциативного поля, и, соответственно, улучшения аппроксимирующих свойств сети. С выхода сумматора n – разрядный код поступает на логический сдвигатель (LSh – Logical Shifter), позволяющий изменять значение m . Значение u определяют m младших разрядов выходного кода LSh, а

значение v – соответственно старшие $k = n - m$ разрядов. Значение u через мультиплексор $MX1$ поступает на адресные входы ОЗУ хранения функции принадлежности. Мультиплексор $MX1$, а также буфер $B1$ служат для инициализации ОЗУ значениями функции принадлежности от устройства управления. С выхода ОЗУ h – разрядное значение функции принадлежности поступает на регистр Rg VFS, а с регистра – на выход VFS_i (Value of Function on Stair i) блока кодирования (CB – Coding Block). Значение v поступает на регистр Rg NNS, а оттуда – на выход NNS_i (Number of Neuron on Stair i) блока. Тактирующие импульсы на регистры, а также сигналы управления ОЗУ формируются устройством управления, общим для всей структуры.

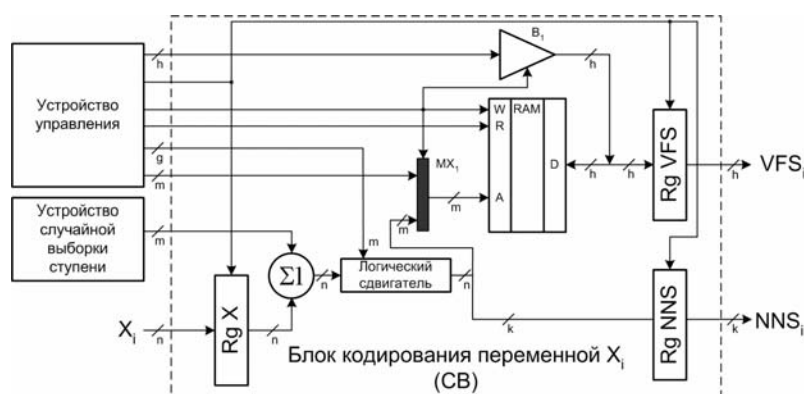


Рис. 1. Блок кодирования переменной x_i

Таким образом, для кодирования переменной x_i с помощью m ступеней квантования необходимо 2^m тактов. При $m < 5$ такое кодирование может осуществляться с частотой 10 – 20 МГц, то есть в реальном времени для обработки телевизионных изображений. В течение этих 2^m тактов значение x_i хранится во входном регистре RgX и обновляется по их истечении.

Устройство случайной выборки ступени может представлять собой m -разрядный линейный рекуррентный регистр с обратными связями, определяемыми простым полиномом. Такой регистр генерирует $2^m - 1$ различных кодовых комбинаций, обладающих статистическими свойствами равномерно распределённой случайной последовательности. Одна комбинация является запрещённой, так как на очередном такте работы регистра приводит к генерации самой себя. Так как работа блока кодирования предусматривает использование 2^m комбинаций, необходимо предусмотреть её аппаратную генерацию и подстановку вместо кода регистра на любом такте (при этом не производится очередной сдвиг регистра). Вид последовательности определяется начальной установкой регистра. Эта операция производится однократно перед первым обучением сети. Регистры, отвечающие за различные входные переменные, должны быть проинициализированы различными значениями. Эти значения, равно как и начальные значения весов в сети, могут быть сформированы аппаратным датчиком случайных чисел [6]. Рассмотрим возможную структуру аппаратной реализации сети СМАС, представленную на рис. 2. Сеть обрабатывает две входные переменные, каждая из которых кодируется блоками CB, содержащими равное число ступеней квантования. Функционирование такой структуры состоит в следующем. На j -м такте блоки CB формируют значения номеров функций принадлежности в текущих ступенях (NNS_1 и NNS_2) и значения их функций активации (VFS_1 и VFS_2). Значения VFS поступают на умножитель $M1$, формирующий произведение функций активации текущих ступеней. Значение этого произведения поступает на умножитель $M2$, вычисляющий произведение веса и произведения функций активации. Адрес веса в ОЗУ весов определяется алгоритмом хеширования, входным параметром которого является комбинация значений NNS. Накапливающий сумматор $\Sigma 2$ вычисляет сумму произведений весов и функций активации и после выполнения m тактов в регистре RgY формирует значение функции, со-

ответствующее входным переменным. С помощью сумматора $\Sigma 3$ формируется код ошибки e_k , определяемый как разность полученного y и требуемого y_k значений функции. Значение ошибки поступает на блок реализации алгоритма обучения, который в течение m тактов вычисления накапливал адреса выборки весов, значения весов и произведений функций активации. Получив значение ошибки, алгоритм обучения модифицирует участвовавшие в вычислении веса и записывает их в ОЗУ весов по соответствующим адресам. Координацию работы узлов сети осуществляет устройство управления.

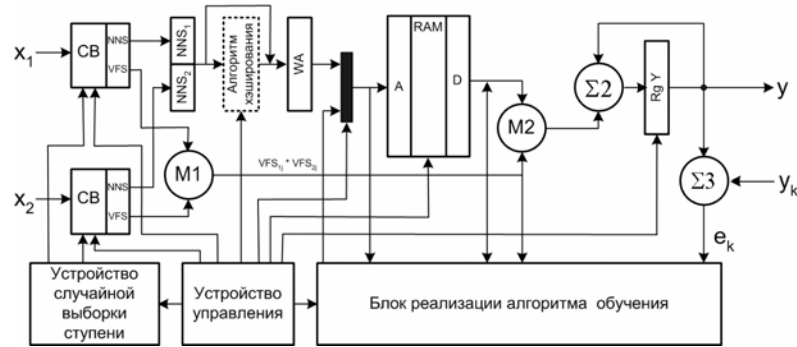
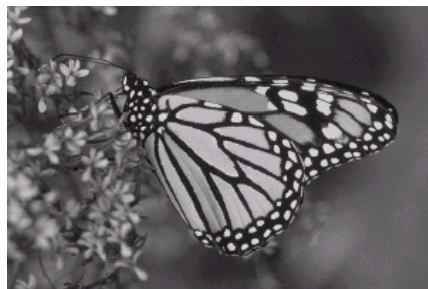


Рис. 2. Вариант аппаратной реализации сети СМАС

Практические результаты. В качестве тестовой рассматривалась задача кодирования изображения, приведенного на рис.3 а). Размерность данного изображения составляет 300×200 пикселей, т.е. для его хранения в формате bmp необходимо 60 Кб памяти, а для хранения весовых параметров сети, с помощью которой осуществлялось кодирование, требуется 8 Кб. Таким образом, коэффициент сжатия составил 7,5 раза. Результаты кодирования данного изображения с помощью сети FCMAC представлены на рис.3 б)-д). Изображение на рис.3 б) получено с помощью сети с косинусоидальными функциями принадлежности, на рис.3 в) – с гауссовыми, а на рис.3 г) – с гауссовыми, параметры которых настраивались по алгоритму (7).



а)



б)



в)



г)

Рис. 3 Результат сжатия изображения

Как видно из результатов, настройка параметров функций принадлежности позволяет более точно восстанавливать кодируемые изображения.

Основные результаты и выводы. Как показывают результаты моделирования, нейронная сеть FCMAC является достаточно эффективной и удобной при решении задач обработки, в частности сжатия изображений. Существенная экономия требуемой памяти в сочетании с простыми алгоритмами обучения делают ее особенно привлекательной для реализации в микроконтроллерных системах. Следует отметить, что приведенная в статье аппаратная реализация сети FCMAC является универсальной и может использоваться не только в задачах обработки изображений, но и для аппроксимации функций, идентификации нелинейных объектов и управления ими, т.к. во-первых, при этом возможно использование любых базисных функций, а во-вторых – в схеме предусмотрен блок хеширования информации. Дело в том, что вопрос выбора базисных функций нейронной сети FCMAC остается открытым и определяется характером решаемой прикладной задачи. Хеширование же необходимо при обработке больших объемов информации (изображения высокого качества, объекты большой размерности).

In this paper some questions of FCMAC hardware realization and its application for an image compression are considered. The results of some simulated examples performed with assistance of Matlab are presented. It testified the effectiveness of FCMAC for problem solving of image processing in real time.

1. Albus J.S. A new approach to manipulator control: the cerebellar model articulation controller (CMAC) // ASME Trans., J. Dynamic Systems, Measurement and Control, 1975. – Vol. 97. – №3. – P. 220-227.
2. Руденко О.Г., Бессонов А.А. О выборе базисных функций в нейронной сети CMAC // Проблемы управления и информатики. –2004. –№2. – С. 143-154.
3. Руденко О.Г., Бессонов А.А. Адаптивное управление нелинейными объектами с помощью нейронной сети CMAC // Проблемы управления и информатики. – 2004. –№5. – С. 16-30.
4. K. S. Hwang, C. S. Lin and C. L. Chang. Fuzzy Cerebellar Model Articulation Controller // Proc. of the Second Chinese World Congress on Intelligent Control and Intelligent Automation. - 1997. - Pp. 1536-1541.
5. Кнут Д.Э. Искусство программирования, том 3. Сортировка и поиск, 2-е изд. - М.: Вильямс, 2000. С. 549-597.
6. Торба А.А., Елаков С.Г., Степченко А.З. Генерация равновероятных случайных последовательностей на основе физических датчиков // «Радиотехника»: Всеукр. межвед. науч.-техн. сб. - Харьков. ХТУРЭ. - 2001. - Вып. 119. - С. 108-113.

СИСТЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОБУЧЕНИЕМ ПЕРСОНАЛА

Тодорцев Ю.К., Бундюк А.Н., Студинский Е.

Одной из важнейших проблем на АЕС является организация подготовки персонала для безаварийной эксплуатации оборудования станции. По результатам итогового контроля умений и знаний обучаемых руководство станции принимает решение о целесообразности их привлечения к дальнейшей работе. Поэтому постоянно приходится совершенствовать методику проведения контрольных процедур с использованием современных методов [1].

Все большее распространение получает методика, основанная на принципах модульного тестирования. Учебный курс завершается итоговым тестированием. При этом имеется возможность самоконтроля усвоения материала путем проведения промежуточного тестирования. Для этого учебный курс представляется набором модулей, каждый из которых является логически связанной частью курса. Число модулей зависит от объема учебного курса. Практически может быть 2-4 модуля.

В данной статье учебный курс состоит из 2-х модулей, а разработанные тесты базируются на таких основных принципах построения ответов как альтернативность, множественность и куммулятивность [2].

Тесты с альтернативными ответами применяют для предварительной оценки знаний. Тестовые задания предусматривают наличие двух вариантов ответа типа „верно” – „неверно”.

Тесты с множественными ответами позволяют проверить умения правильно использовать полученные знания. В этом типе тестовых задач в предложенных нескольких ответах правильным может быть только один ответ.

Тесты с куммулятивными ответами используют для проверки полноты знаний и умений. Один из ответов может быть наилучшим, самым правильным и полным.

Построение тестов

Для тестирования знаний по каждому модулю разрабатываются массивы вопросов и массивы ответов на них. На каждый вопрос предлагается 2-4 ответа, среди которых один наиболее полный и правильный. Для текущего модульного контроля выбирается определенное количество вопросов случайным образом отобранное из подготовленного массива вопросов.

Проверка этой методики была проверена при тестировании студентов заочной формы обучения по дисциплине „Компьютерная графика”. Был сформирован массив вопросов (КГМВ) из ста вопросов по материалу всей дисциплины. Для первого (промежуточного) тестирования случайным образом выбираются десять вопросов из первой половины массива. Для второго (промежуточного) тестирования выбор производится из второй половины вопросов, а для итогового тестирования выбор ведется из всего массива.

Для оценки ответов обучаемых формируется массив ответов (КГМО). Каждый вопрос теста связан с соответствующим набором ответов.

Каждый правильный ответ оценивается одинаковым баллом, который определяется отношением максимального балла за модульный тест (Бмакс), например, равного 50 к числу вопросов, включенных в тест. Так при 10 вопросах в тесте каждый ответ оценивается 5-ю баллами.

Компьютерная поддержка

В данной работе рассматривается компьютерная система контроля знаний обучаемых (КСКЗО), используемая для модульного тестирования по учебным курсам. Для

компьютерного обеспечения тестов использован пакет LabView 7.0 фирмы National Instrument. Информационная база занимает около 6 Мб дискового пространства.

Данная система представлена программой, структурно реализованной в виде последовательно выполняемых процедур. Каждая процедура имеет свое математическое описание, оформленное в виде кадра. В программе содержится 14 кадров (0-13).

После запуска пакета на экран выводится окно, в котором можно выделить такие компоненты: идентифицирующая часть, рабочая зона и итоговая строка.

Идентифицирующая часть позволяет определить учебный курс, номер модульного контроля, группу и ФИО обучаемого.

Рабочая зона содержит набор информационных полей для каждого выводимого вопроса: поле для предлагаемого вопроса, четыре поля для предлагаемых ответов, два поля для оценки ответа и комментария к нему. Повторный ответ на вопрос не допустим.

Итоговая строка содержит: общий балл теста, результат тестирования и кнопку выхода. Результат тестирования “Зачтено” возможен при общем балле ≥ 30 , в противном случае результатом будет “Незачтено”. Идентифицирующая часть интерфейса представлена на рис. 1



Рис. 1 Идентифицирующая часть окна интерфейса

Формирование кадров

Окно системы содержит набор информационных полей, управление каждым из которых обеспечивается соответствующим кадром программы.

0-й кадр формирует поля для названия учебного курса, номера текущего контроля, группы и ФИО обучаемого, кнопки подтверждения ответа и устанавливает связь со следующим кадром. Схема кадра представлена на рис 2.

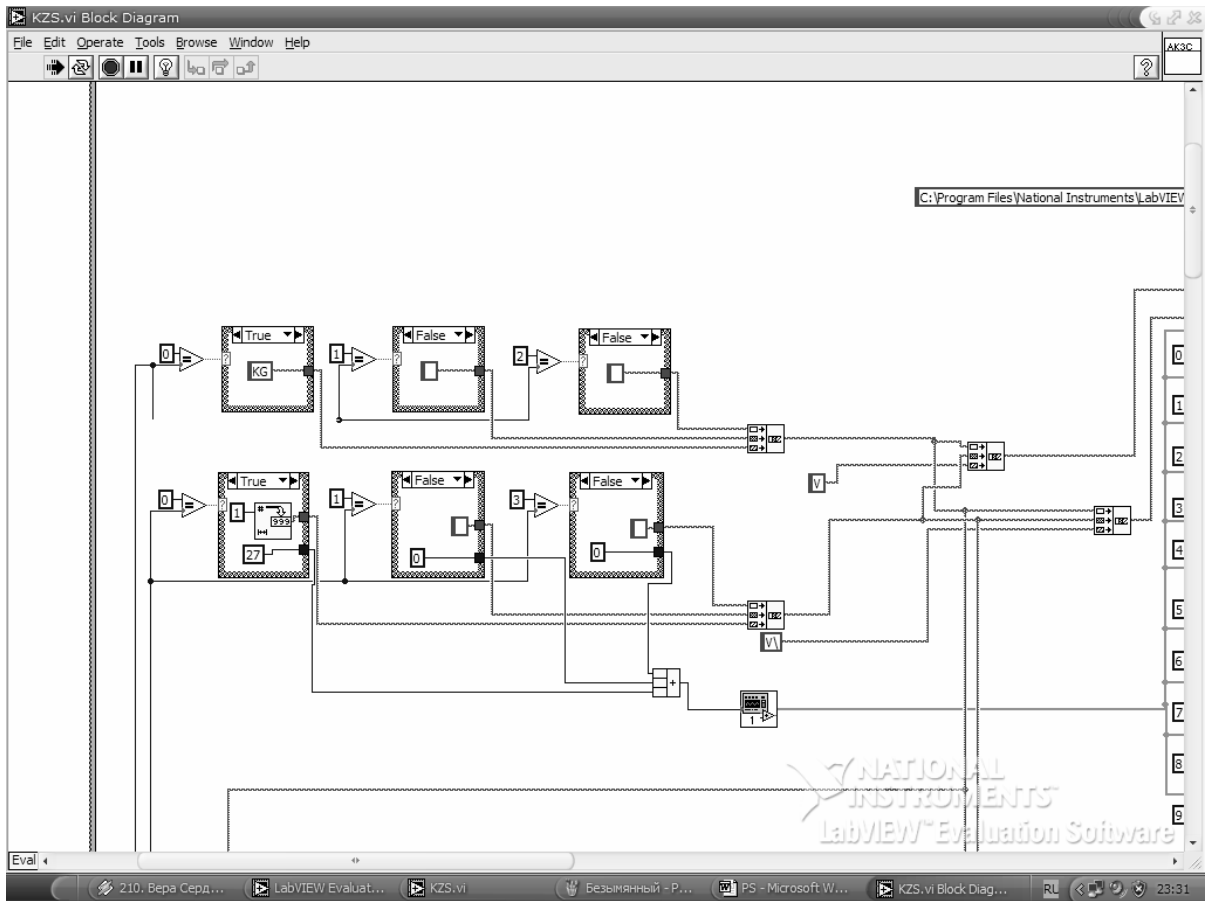


Рис. 2 Схема 0-го кадра

The image shows the LabVIEW interface displaying a questionnaire. The window title is 'KZS.vi'. The interface contains five questions in Ukrainian, each with a set of function blocks and a score of 5 points. The questions are:

- ВОПРОС №7:** Яка функція визначає координату у поточної позиції курсора? (Which function determines the coordinates of the current cursor position?)
- ВОПРОС №8:** Яка із процедур визначає на даний момент тип лінії? (Which procedure determines the current line type?)
- ВОПРОС №9:** Яка з процедур малює прямокутник зафарбований визначеним кольором? (Which procedure draws a rectangle filled with a defined color?)
- ВОПРОС №10:** Яка із процедур малює відрізок від поточної точки до вказаної точки? (Which procedure draws a segment from the current point to the indicated point?)

At the bottom of the window, the 'ОБЩИЙ БАЛ' (Total Score) is 45, and the status is 'ЗАРАХОВАНО' (Scored). A watermark for 'NATIONAL INSTRUMENTS LabVIEW Evaluation Software' is visible in the bottom right corner.

Рис.3 Итоговая зона окна интерфейса

1-й кадр обрабатывает выбор учебного курса и номера текущего контроля, формирует нумерацию для отобранных случайным образом вопросов из массива КГМВ и проверяет их на совпадение. По выбранному вопросу формируется набор ответов из массива КГМО и готовится набор правильных ответов.

2-й--11-й кадры проводят для каждого из 10-ти вопросов сравнение введенного ответа с верным ответом. Формируется балл и оценка ответа, например, 5 баллов, оценка «Верно».

12-й кадр определяет общий балл, итог тестирования и выводит результат в итоговую строку, например, «Общий балл – 40, Зачтено» или «Общий балл – 20, Не зачтено».

13-й кадр завершает работу программы при нажатии кнопки «Выход» в итоговой строке. Схема 13-го кадра представлена на рис. 4.

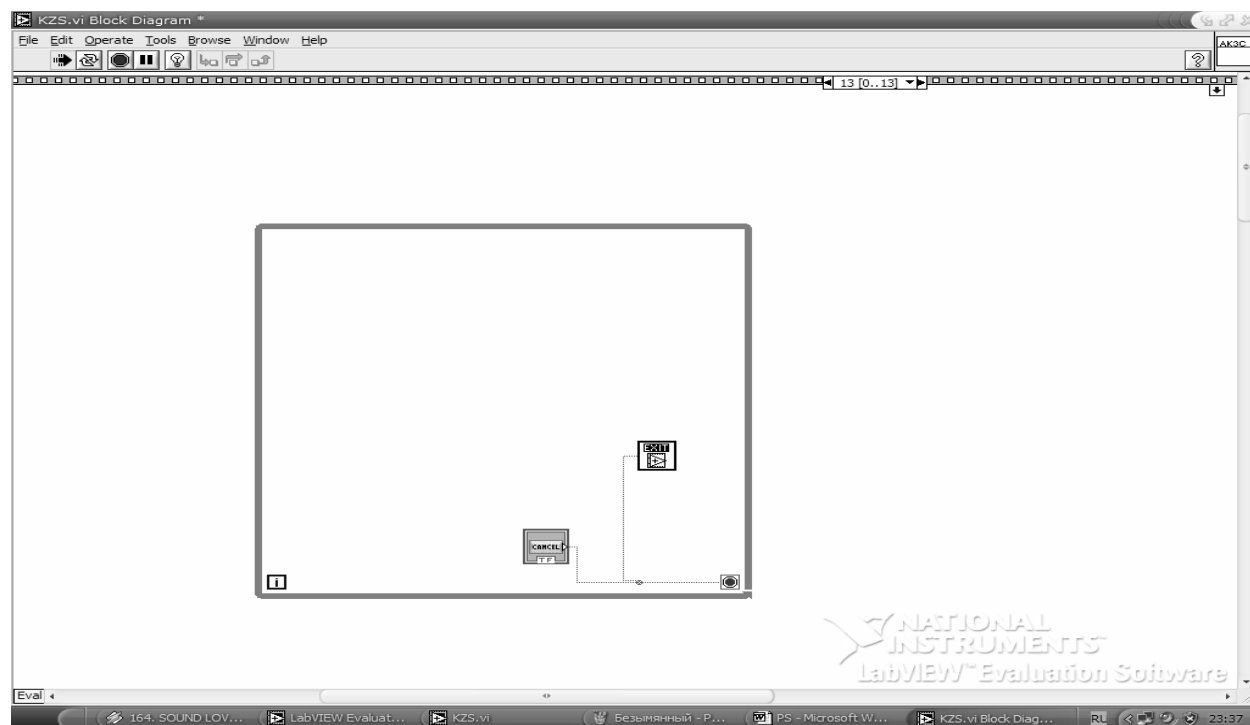


Рис. 4 Схема 13-го кадра

Выводы

1. Предлагаемая система контроля является открытой и поэтому возможно ее развитие для контроля всех учебных курсов.
2. Данная система контроля может быть использована при самоподготовке к модульным тестированиям.
3. Внедрение такой системы снижает психологическую нагрузку обучаемого, испытываемую им при участии в контрольных процедурах.
4. Результаты компьютерного тестирования могут быть использованы при принятии решений.

The LabView software by National Instrument is used as a core of testing system software. The testing system is written as a program which consists of sequence of cadres starting procedures.

1. Беспалько В.П., Образование и обучение с участием компьютеров.-М.:Изд-во МПСИ. 2002.
2. Гогунський В.Д., Тодорцев Ю.К., Колеснікова К.В. Методичні вказівки щодо складання тестів. Одеса: Наука і техніка, 2005.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПЕНСАЦИИ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ ПРИ ПОСТРОЕНИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С РЕЧЕВЫМ ИНТЕРФЕЙСОМ

Фанина Л.А., Бражник Д.А.

Введение.

Несмотря на почти полувековую историю исследований в области речевых технологий, задача распознавания речи до сих пор остается открытой. На сегодняшний день существует множество программных продуктов в той или иной мере реализующих системы распознавания речи, однако качество их достаточно сомнительное.

Анализ существующих проблем и перспективы их решения.

Почти все современные реализации систем распознавания речи имеют один очень важный недостаток – *зависимость от диктора*.

Существенной проблемой является *подавление стационарных и нестационарных помех*. В настоящее время системы диктовки текстов и голосового управления практически не применяют в своем функционировании алгоритмы шумоподавления. Это связано с тем, что компьютерные речевые системы разрабатываются для работы в офисе или дома, где уровень внешних помех не очень высок. Однако в системах речевого управления реальными техническими устройствами, например в авиации, используют шумоподавление. Так как отсутствие шумоподавления в компьютерных речевых системах влияет на надежность распознавания (например, глубокий вдох пользователя система идентифицирует как одно из слов словаря), можно ожидать в ближайшем будущем внедрения алгоритмов и устройств шумоподавления в персональные компьютеры.

Проблема перехода к распознаванию непрерывной речи связана в основном с недостатком вычислительных мощностей персональных компьютеров, делающим системы непрерывной диктовки слишком дорогими и потому непопулярными. Ожидается повсеместный переход на распознавание непрерывной речи в ближайшее десятилетие, причем задача распознавания дискретной речи не потеряет своей актуальности.

На сегодняшний день *проблема учета контекста* (синтаксиса, семантики) при восстановлении последовательности произнесенных слов пользуются простыми, не зависящими от языка грамматиками, позволяющими в достаточной степени учитывать связь слов в предложении. В будущем ожидается усложнение грамматик, разработанных с учетом специфики языков, и разработки соответствующих процедур обучения.

Одной из существенных проблем является *поиск новых звуковых параметров*. В настоящее время для распознавания речи в основном используют спектральные параметры речи – быстрое преобразование Фурье, спектр линейного предсказания, кепстральные коэффициенты и т.п. Эти параметры обладают как рядом преимуществ (соответствие восприятию звука человеком, возможность применения Евклидовой метрики или ее вероятностного аналога – расстояния Махаланобиса для сравнения окон), так и рядом недостатков (зависимость спектральных параметров от голоса диктора). Продолжаются исследования по поиску инвариантных относительно типа голоса и влияния шумов речевых параметров.

Проблемой *поиска новых алгоритмов* восстановления последовательности произнесенных звуков занимаются многие исследовательские лаборатории. На сегодняшний день для сравнения последовательности акустических параметров с эталонами слов словаря используется практически три метода – самый распространенный метод скрытых марковских моделей, тесно связанный с ним метод динамической деформации времени (применяемый на словарях относительно малого размера) и стоящий несколько поодаль метод с использованием нейронных сетей. В связи с бурным развитием речевых техноло-

гий ожидается появление принципиально новых математических методов в области распознавания речи.

Проблема выделения слов в потоке слитной речи при распознавании речевых сигналов. Решение данной задачи предполагает ее анализ, результатом чего является определение характеристик речевого сигнала (на уровне фонем, слов), т.е. параметры модели линейного предсказания, динамика изменения этих параметров, частота основного тона, анализ частотных областей и т.д. При этом возникает проблема выделения фрагментов речи в потоке слитной речи.

Следовательно, к современным системам распознавания речи можно выдвинуть следующие требования:

- высокое качество распознавания,
- достаточно высокое быстродействие,
- устойчивость к внешним шумам и вариации параметров диктора,
- минимальные затраты времени на обучение и настройку системы распознавания.

Цель данной статьи – создание алгоритма обеспечивающего инвариантность системы по отношению к внешним возмущениям.

Теоретические исследования.

Для образа $\omega \in \Omega$ и координаты x рассмотрим меру близости $\rho(\omega, x)$, в качестве которой используем нормированную взаимную корреляционную функцию между сигналом образа и эталона [1].

$$\rho(\omega, \omega^*) = 1 - R(f_\omega(t), f_{\omega^*}(t)) \quad (1)$$

Исходя из метода допустимых преобразований [1], учтем управления эталоном

$$\rho(\omega, \omega^*, u) = 1 - R(f_\omega(t), f_{\omega^*}(t, u)) \quad (2)$$

Учитывая, что метод допустимых преобразований предполагает соответствие эталона и объекта, введем ограничение $\omega \sim \omega^*$, данное ограничение ведет к тривиальному равенству $f_\omega(t) = f_{\omega^*}(t)$. С другой стороны, учитывая, что в случае выполнения ограничения, взаимная условная информация, получаемая системой равна нулю [2], можем перейти к ограничению вида

$$I(\omega / \omega^*) = 0 \quad (3)$$

Что позволяет рассматривать задачу

$$\begin{aligned} \omega^*, u^* &\rightarrow \min \{1 - R(f_\omega(t), f_{\omega^*}(t, u))\}; \\ I(\omega / \omega^*) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Учитывая, что для близких образов, как функция цели, так и ограничения выпуклы, получаем задачу выпуклого программирования с функцией Лагранжа

$$L(\omega, u, \lambda) = 1 - R(f_\omega(t), f_{\omega^*}(t, u)) + \lambda I(\omega / \omega^*). \quad (5)$$

Множитель Лагранжа в данной задаче определяет чувствительность корреляционной функции к выбору эталона

$$\lambda(u) = \frac{\partial(1 - R(f_{\omega}(t), f_{\omega^*}(t, u)))}{\partial I(\omega/\omega^*)} = - \frac{\partial(R(f_{\omega}(t), f_{\omega^*}(t, u)))}{\partial I(\omega/\omega^*)}. \quad (6)$$

Поскольку в данной задаче множитель Лагранжа естественно связан с управлением, двойственной переменной является управление эталоном.

Таким образом, получаем прямую и двойственную задачи в виде:

$$\begin{aligned} u^* &\longrightarrow \min_{\omega=\omega^*} L(\omega, u, \lambda); \\ \omega^* &\longrightarrow \max_{u=u^*} L(\omega, u, \lambda). \end{aligned} \quad (7)$$

Учитывая структуру функции Лагранжа в данной задаче можно записать

$$\begin{aligned} u^* &\longrightarrow \sup_{\omega=\omega^*} R(\omega, \omega^*(u)) = 0; \\ \omega^* &\longrightarrow \inf_{u=u^*} I(\omega, \omega^*(u^*)) = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

Прямая задача порождает корреляционные методы распознавания, но по своей структуре прямая задача наилучшим образом подходит к решению задачи позиционирования сигнала образа в окне контроля.

Естественный интерес представляет анализ возможности построения системы с использованием корреляционных методов, включая задачу выделения области единичного образа и задачу принятия решения о классификации сигнала.

Двойственная задача лежит в основе метода компенсации информационных потоков [3].

Принцип компенсации информационных потоков исходит из достаточно простых предположений:

- во-первых, система компенсирует внешние возмущения,
- во-вторых, если система может воспроизвести все то, что происходит во внешней среде, то возможно построение системы распознавания работающей без ошибок.

Критерием качества распознавания является то, что система точно отображает внешние воздействия, т.е. $I(X, Y) = 0$, причем при $I(X, Y) \rightarrow \min \Rightarrow R(X, Y) \rightarrow \max$.

При построении систем распознавания в качестве целевого функционала можно использовать вероятность правильного распознавания. Оценка вероятности ошибки связана с оценкой информационного потока соотношением [1]:

$$H(K/M) \leq H(K/D) \leq H_{\max}(H(K/M)/2) \quad (9)$$

где $H(K/M)$ - энтропия по описанию при K классах и M описаниях, мера недостаточности описания M по отношению к идеальному описанию, безошибочно указывающему класс; $H(K/D)$ - энтропия по оптимальному решению, где оптимальное решение можно рассматривать как некоторое предельно упрощенное описание, указывающее к какому классу с наибольшей вероятностью принадлежит данный сигнал; $H_{\max}(H(K/M)/2)$ - максимальная энтропия я при P_{\max} .

В силу связи точной верхней и нижней границ энтропий [2] максимальная вероятность правильного распознавания достигается при $H(K/M) = H(K/D) = 0$. Следовательно, рассматривая входной сигнал как систему X , а эталон как его описание Y , можно утверждать, что условная энтропия $H(X/Y)$ обращается в ноль, если эталон совпадает с входным распознаваемым сигналом, т.е. отсутствует неопределенность эталона по отношению к сигналу. Таким образом, в рамках задачи распознавания, принятие решения по минимуму условной информации с учетом связности объекта и эталона, доставляет минимум вероятности ошибки.

Рассматривая систему с эталонной моделью Ω_0 и конкретным образом речевого сигнала Ω_i , выделим основные потоки информации в системе, движение которой происходит в пространстве состояния x под управлением u . Информационный поток источника и информационный поток эталонной модели порождаются физически различными источниками, но они связаны единством образов Ω^* и Ω_i . Их условная информация, таким образом, связана и обладает экстремальными свойствами, т.е. существуют такие x^* и u^* , которые доставляют минимум условной информации I_{ω, ω^*} .

Рассматривая потоки I_0 и I_i как встречные с мерой отклонения I_ε , где $I_\varepsilon = I_\varepsilon(x, u, \Omega_i, t)$ - условная информация I_{ω, ω^*} . В данной постановке решение задачи оптимального управления для эталона $\Omega_i: x^*, u^* \rightarrow \min I_\varepsilon$ связано с решением задачи распознавания в классе образов $\Omega: \Omega_i \rightarrow \inf I_\varepsilon$.

Одним из существенных моментов в методе компенсации информационных потоков является оценка взаимной информации по затратам управления в задаче допустимых преобразований.

Количество информации является отражением одного объекта другим и мерой соответствия состояний этих объектов.

Рассмотрим множество допустимых управлений U_0 и соотнесем этому множеству объем допустимых управлений V_0 . В таком случае принятие решения u_i на i -том шаге уменьшает объем управлений до V_i , следовательно, отношение V_i/V_0 при геометрической интерпретации вероятности определяет вероятность принятия ошибочного решения q . Тогда вероятность принятия правильного решения определяется как

$$p_i = 1 - q_i = 1 - \frac{V_i}{V_0}. \quad (10)$$

С другой стороны количество информации служащее основанием для принятия решения при заданном эталоне можно определить как

$$I_{\omega, \omega^*} = -\ln(p_i) = -\ln\left(1 - \frac{V_i}{V_0}\right). \quad (11)$$

Представим логарифм в виде ряда

$$I_{\omega, \omega^*} = -\ln\left(1 - \frac{V_i}{V_0}\right) = \frac{V_i}{V_0} + \frac{V_i^2}{2V_0^2} + \dots + \frac{V_i^n}{nV_0^n} + \dots. \quad (12)$$

Информация, получаемая за m шагов определится, как сумма информации полученной на каждом шаге

$$\tilde{I}_{\omega, \omega^*} = \frac{1}{V_0} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \frac{V_j^i}{i} = \tilde{u}. \quad (13)$$

Что определяет полные приведенные затраты управления в задаче принятия решения об управлении эталоном. Подтверждение целесообразности данного подхода обосновано в работе [2].

Тогда двойственная задача может быть сформулирована в виде, где можно непосредственно оценивать взаимную информацию

$$\omega^* \xrightarrow[u=u^*]{} \inf \tilde{u}(\omega, \omega^*(u^*)). \quad (14)$$

Для проверки теоретических предположений проведено моделирование как прямой, так и двойственной задачи.

Экспериментальная часть.

Для анализа возможности построения системы с использованием двойственности задачи рассмотрим ансамбль достаточно близких речевых сигналов, рисунок 1.

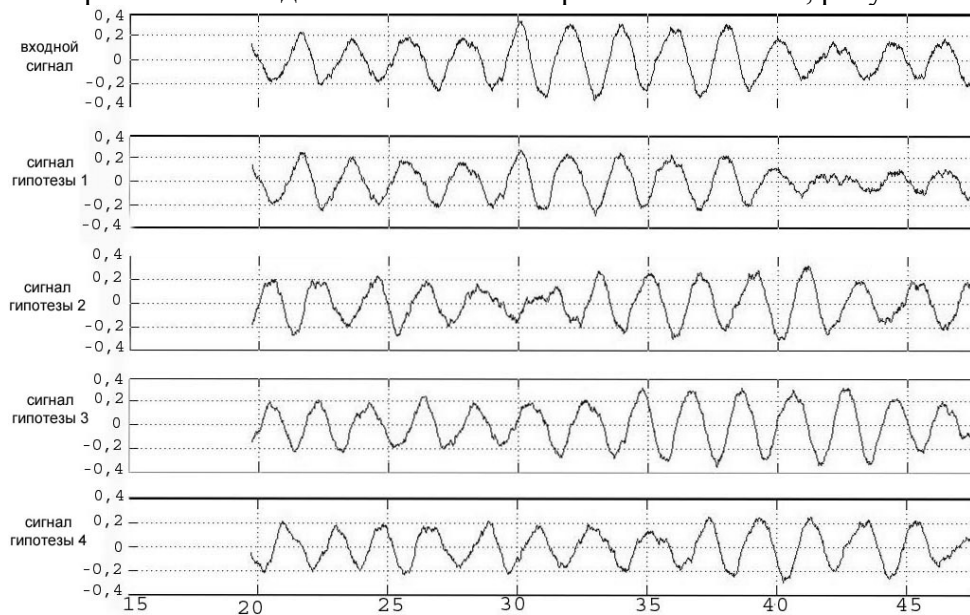


Рис. 1 Реализации тестовых сигналов

Для оценки корреляционных свойств ансамбля определим взаимные корреляции, на основе модели в среде MATLAB, рисунок 2.

Полученные оценки корреляции указывают на возможность использования данного метода, но одновременно подчеркивают типичность корреляционной функции речевого сигнала – колебательность, что определяет целесообразность использования фазовых методов привязки. Однако, даже для упрощенной модели необходимо центрировать сигналы и выполнять длинные операции умножения, что усложняет использование метода.

С другой стороны, двойственную задачу можно рассматривать как компенсацию информационных потоков на входе системы входного акустического сигнала (набор векторов его параметров) и эталона хранящегося в базе знаний системы распознавания речи (априорная информация).

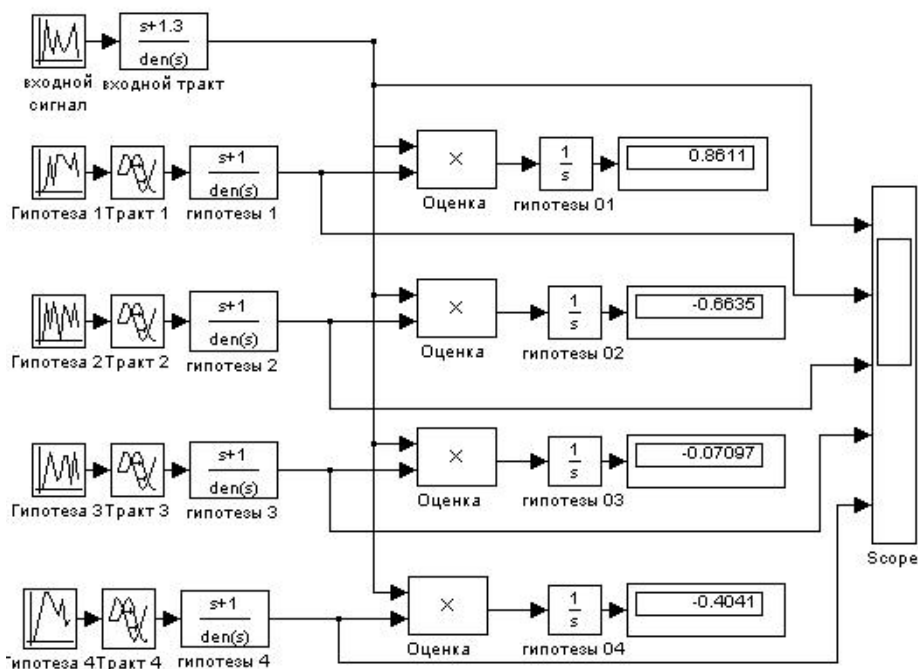


Рис. 2 Схема для оценки корреляционных свойств ансамбля тестовых сигналов

Учитывая, что при минимуме взаимной информации затраты на управление эталонным минимальны, используем в качестве меры близости оценку затрат управления в задаче воспроизведения сигнала эталона при ограничении определяемом входным сигналом системы. Такая постановка позволяет использовать типовой дельта-модулятор как основной элемент системы. На рисунке 3 приведена схема моделирования работы элемента сравнения.

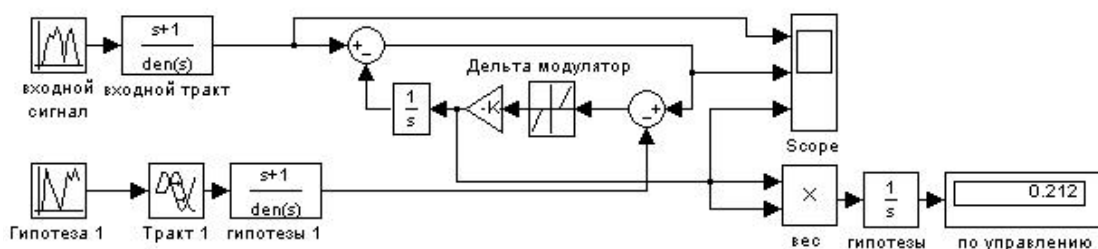


Рис. 3 Схема моделирования элемента сравнения

На рисунке 4 приведены результаты моделирования.

Приведенный на рис. 4а входной сигнал повторяется системой практически без искажений рис 4б, затраты на управление незначительны рис. 4с, так как выбран эталон близкий входному сигналу.

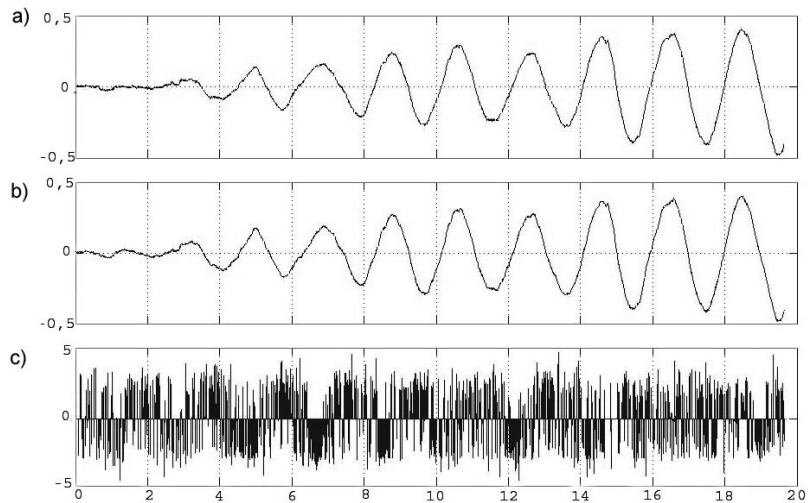


Рис. 4. Результаты моделирования элемента сравнения.

Однако при обработке сигналов далеких от эталона затраты управления резко возрастают. Для оценки возможностей метода проведено моделирование системы на ансамбле сигналов, использованном ранее для оценки корреляционного метода. Схема моделирования построена с выделенными элементами сравнения для каждого сигнала гипотезы, рисунок 5.

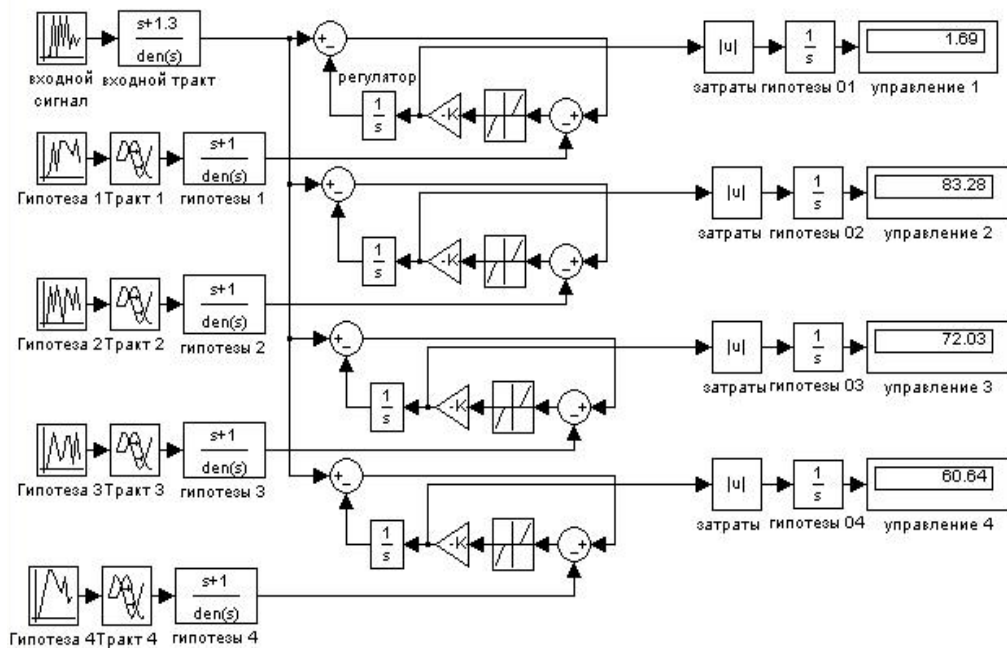


Рис. 5 Схема моделирования затрат по управлению

Как видно из результатов моделирования использование прямой задачи позволяет реализовать принцип компенсации информационных потоков с использованием простых средств. Полученные значения оценок гипотез по управлению разнесены гораздо больше, по сравнению с корреляционным методом.

Таблица 1

№ гипотезы	1	2	3	4
Значение корреляционной функции	0,8611	-0,6653	-0,07091	-0,4041
Затраты на управление	1,69	83,28	72,03	60,64

Результаты моделирования позволяют обосновать структуру системы распознавания речи как систему с компенсацией информационных потоков.

Учитывая, что в принципе компенсации необходима реализация встречного потока информации, в качестве генератора встречного потока используем систему синтеза речи. Тогда структурная схема системы принимает простой вид



Рис. 6 Обобщенная структурная схема системы на основе принципа компенсации

Естественным недостатком данного подхода является сложность формирования первых гипотез. Данный недостаток свойственен всем системам, построенным по отклонению, и вызывает значительные трудности, связанные с необходимостью учета времени переходных процессов системе. Таким образом, для обеспечения формирования первичных гипотез целесообразно ввести в систему дополнительный канал, построенный по принципу возмущения – любая достаточно работоспособная система распознавания речи. В этом случае структура принимает вид известный в теории управления как адаптивная инвариантная система.

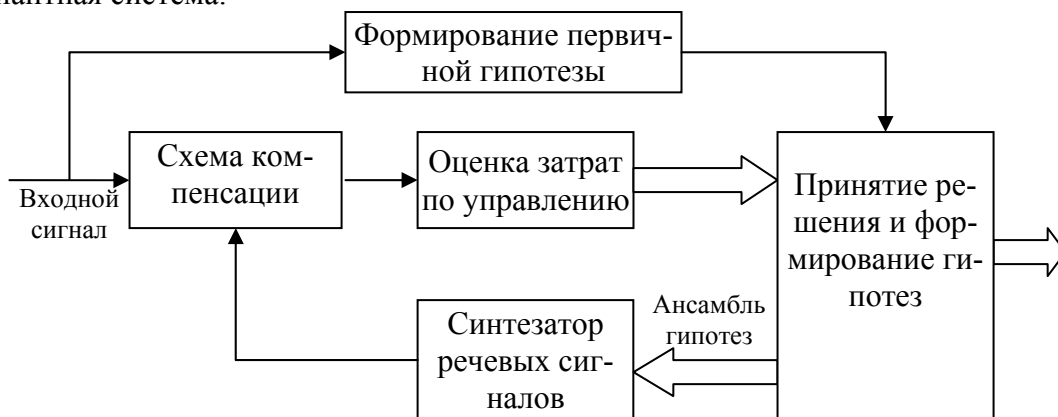


Рис. 7 Обобщенная структурная схема системы на основе принципа компенсации с формированием первичной гипотезы

Окончательный ответ распознавания основывается на результате сравнения этих двух информационных потоков. На рис. 8 представлена концептуальная схема распознавания речи на основе принципа компенсации информационных потоков.

Блок логики формирования гипотез подает ансамбль наиболее вероятных гипотез (глубина гипотез ограничена разрядной сеткой) на блок генерации сигналов, которые затем поступают через дельта-модулятор на схему компенсации. Отклонение ε через отрицательную обратную связь также поступает на вход дельта-модулятора. В качестве критерия используются затраты на управление эталоном для компенсации внешнего сигнала.

При формировании и сравнении описаний речевых сигналов возникает необходимость их нормирования. Применяются методы нелинейного нормирования изложенные в [4]. Выделение границ слова основано на рассмотрении вводимых параметров в некоторое “окно” длиной в несколько отсчетов. Выделение начала и конца произнесения производится программно с использованием буфера, который позволяет исключить ложные срабатывания системы от коротких шумовых помех, а также потери части слова из-за смы-

чек. С этой целью в алгоритм введены логические правила, позволяющие отбросить реализацию, если она содержит количество отсчетов меньше заданного, и закончить ввод, если длительность паузы после окончания реализации превышает заданную.

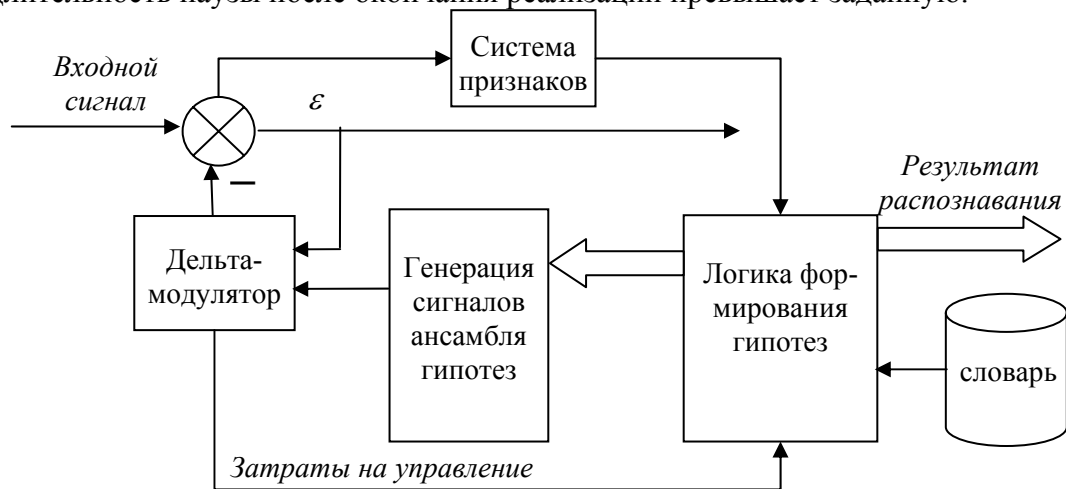


Рис. 8 Концептуальная схема распознавания речи на основе принципа компенсации информационных потоков

Следует подчеркнуть, что предложенная структура является общей концепцией для всех методов распознавания. Методы построения элементов системы не будут влиять на ее структурное решение.

Выводы:

1. Построение системы распознавания речевых сигналов можно рассматривать как прямую задачу минимизации взаимной информации, либо как двойственную задачу максимизации взаимной корреляции.
2. Оценить взаимную информацию между эталоном и входным сигналом возможно по затратам управления на решение задачи восстановления сигнала на основе ресурса эталона.
3. Инвариантность системы распознавания возможно обеспечить при построении системы проверки гипотез с использованием метода компенсации информационных потоков для оценки противоречивости гипотез.
4. Результаты моделирования позволяют считать, что даже на ансамблях с высокой взаимной корреляцией использование метода компенсации информационных потоков более предпочтительно.
5. Рассматриваемая структура является системой построенной по отклонению, что позволяет компенсировать возмущения без анализа их природы.

Article is devoted to the decision a problem of speech recognition. The direct and dual problems are considered. The results of theoretical and experimental research are presented.

1. Методы оптимальных решений в распознавании изображений, В.А. Ковалевский. «Наука», -М., 1976
2. Рожков С.А. Исследование и разработка системы фильтрации сигналов дефектов ткани с выделением признаков их классификации: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук: 05.13.07.- Херсон. 1997. –223 с.
3. Храпливый А.П., Рожков С.А., Терновая Т.И., Бражник Д.А. Использование принципа компенсации информационных потоков при создании систем распознавания
4. Плотников В.П. Речевой диалог в системах управления. – М.: Машиностроение, 1988.

МАТЕМАТИЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ „РЕЄСТР ВИБОРЦІВ УКРАЇНИ”

Ходаков В.Є., Шеховцов А.В., Бараненко Р.В.

Постановка проблеми

В наш час одним із самих актуальних напрямків розвитку сучасної науки є питання проектування інформаційних систем автоматизації управлінської діяльності. У таких системах широке поширення одержала концепція баз даних, відповідно до якої ядром інформаційної системи стають дані, певним чином організовані. Структури організації даних при цьому вибираються у відповідності з багатьма критеріями, серед яких одним з основних є час обробки й пошуку інформації. І тому цілком зрозуміла та увага в літературі, що виявляється до проблем інформаційного пошуку й обробки великих масивів даних [1-7].

Аналіз останніх досліджень

Основна маса праць з дослідження обчислювальної складності алгоритмів пошуку інформації зв'язана з розробкою нових ефективних алгоритмів пошуку, що знаходять численні застосування в різних областях, таких, як машинне проектування, машинна графіка, бібліотечно-інформаційні системи, робототехніка, системи штучного інтелекту і багатьох інших [2-4, 8-12]. У цих роботах оцінюється складність пропонуємих алгоритмів (найчастіше порядок складності) й порівнюється зі складністю раніше розроблених алгоритмів. У ряді праць пропонується інший підхід, зв'язаний із введенням математичних моделей обчислень, що використовуються головним чином для одержання нижніх оцінок складності обчислень [2, 13-17]. Серед цих моделей найбільш відомою є так зване алгебраїчне дерево обчислень Бен-Ора [15]. Як різновид алгебраїчного дерева обчислень можна розглядати алгебраїчне дерево рішень порядку d [17]. У випадку, коли d дорівнює 1, виходить лінійне дерево рішень, з використанням якого отримані докази ряду нижніх оцінок складності [16, 18-20].

Незважаючи на це, задачі оптимальної організації обробки величезних масивів даних й розробки ефективних алгоритмів інформаційного пошуку залишаються актуальними і зараз.

Ціль статті

Метою роботи є визначення математичних аспектів проектування автоматизованої системи „Реєстр Виборців України”, особливостей організації даних у системі, критеріїв, яким має задовольняти автоматизована система, аналіз алгоритмів інформаційного пошуку в системі та розробка моделі залежності часу обробки даних від швидкодії технічних засобів обробки та обсягу даних, що обробляються.

Основний матеріал

Основною функцією автоматизованої системи „Реєстр Виборців України” (АС РВУ) є обробка величезних масивів даних, основу яких складають списки виборців України (близько 37 млн. осіб).

АС РВУ застосовується на рівні оперативного управління виборчим процесом з метою автоматизації управлінської діяльності й служать для рішення задач, що мають високий зміст операцій з обробки даних. До таких операцій відносяться: збір даних, маніпулювання ними, збереження даних і підготовка документів. Маніпуляції з даними виробляються з метою створення з них інформації. До маніпулювання звичайно відносять наступні операції:

- *класифікація* – первинні елементи даних у АС РВУ звичайно мають вигляд кодів, що складаються з одного або декількох символів. Ці коди, що виражають визначені ознаки об'єктів, використовуються для ідентифікації й групування записів;
- *сортування*, що представляє собою процес зміни послідовності записів;
- *обчислення*, що включають у себе арифметичні і логічні операції. Ці операції, що виконуються над елементами даних, дають можливість робити нові елементи даних;
- *укрупнення* – щоб зменшити кількість даних, необхідно їх синтезувати, тобто укрупнювати у формі підсумкових або середніх значень.

Багато даних у АС РВУ необхідно зберігати для наступного використання. Для їхнього збереження створюються спеціальні бази даних.

Існує кілька характеристик, зв'язаних з обробкою даних, що відрізняють АС РВУ від усіх інших комп'ютерних інформаційних систем. У їхньому числі:

- *виконання необхідних задач з обробки даних*;
- *рішення тільки добре структурованих задач*, по яким відомий алгоритм, що веде прямо до обчислення рішення задачі;
- *робота в автоматичному режимі*;
- *використання деталізованих даних*.

Бази даних, що використовуються в АС РВУ, будуються на підставі реляційної моделі [21]. Заслуга розробки і розвитку реляційної моделі баз даних належить Е. Кодду [22-29]. Реляційна база даних складається з плоских таблиць, що називаються *відносинами*. Рядки таблиці (екземпляри записів) називаються *кортежами*, а стовпці — *доменами*.

Для опису відносин і операцій над ними існують точні математичні позначення, засновані на алгебрі відносин або на вирахованні відносин. У [25] запропонована спеціальна мова маніпулювання даними для такої бази.

Різні користувачі можуть виділяти в базі даних різні набори елементів даних і зв'язки між ними. Отже, необхідно мати можливість витягати підмножини стовпців таблиці для одних користувачів, створюючи таблиці меншої розмірності, а також поєднувати таблиці для інших користувачів, створюючи при цьому таблиці більшої розмірності.

При виборі фізичної організації баз даних вирішальним фактором є ефективність, причому згідно [5] на першому місці стоїть забезпечення ефективності пошуку, далі йдуть ефективність операцій занесення і видалення й потім забезпечення компактності даних.

В теорії дослідження операцій задачі пошуку розуміються як задачі управління зближенням однієї системи (пошукової) з іншою (об'єктом, що шукається) за неповною апріорною інформацією. Розуміється, що мета пошуку — це виявлення об'єкта, що шукається, обумовлене як виконання визначених термінальних умов [30, 31].

Задачею пошуку передбачається багаторазове звернення до тих самих даних, але можливо щоразу з різними вимогами до об'єктів, що шукаються, тобто з різними запитами на пошук. Багаторазове використання породжує особливу проблему — проблему спеціальної організації даних, спрямованої на наступне прискорення пошуку. Процес такої спеціальної організації даних, проведений до того, як здійснюється пошук, називається *передобробкою* і часто може займати дуже великий час, що потім окупається у результаті багаторазовості пошуку. Найпростішим прикладом передобробки є сортування. Побудова оптимального алгоритму пошуку в цьому випадку зводиться до пошуку оптимальних структур даних, тобто до здійснення такої передобробки даних, що забезпечила б необхідну швидкість пошуку [32].

Для рішення задачі інформаційного пошуку (ЗІП) спочатку необхідно формалізувати саме її поняття [1, 2, 4, 6, 7]. Згідно [32] її формалізація виглядає таким чином:

Нехай нам дані дві безлічі Y і X . Перша безліч Y є безліччю об'єктів пошуку. З елементів цієї безлічі складаються інформаційні масиви, у яких відбувається пошук потрібних об'єктів. Елементи безлічі Y будемо називати *записами*. Друга безліч X назвемо *безліччю запитів*, а його елементи — *запитами*. Нехай на декартовому добутку $X \times Y$ задане

бінарне відношення ρ , тобто задані якась підмножина $R \subseteq X \times Y$ і xry , якщо $(x, y) \in R$. Відношення ρ будемо називати *відношенням пошуку*. ρ описує критерій семантичної відповідності запису запитові, і будемо говорити, що запис $y \in Y$ *задовольняє* запитові $x \in X$, якщо xry .

Трійку $S = \langle X, Y, \rho \rangle$, де X — безліч запитів, Y — безліч записів, ρ — відношення пошуку, задане на $X \times Y$, будемо називати *типом задач інформаційного пошуку*.

Трійку $I = \langle X, V, \rho \rangle$, де X — безліч запитів; V — деяка кінцева підмножина безлічі Y , надалі буде називатися *бібліотекою*; ρ — відношення пошуку, задане на $X \times Y$, будемо називати *задачею інформаційного пошуку* (ЗІП) типу $S = \langle X, Y, \rho \rangle$. Будемо вважати, що завдання $I = \langle X, V, \rho \rangle$ полягає в перерахуванні для довільно взятого запиту $x \in X$ всіх тих і тільки тих записів з V , що знаходяться у відношенні ρ з запитом x , тобто задовольняють запитові x .

Нехай нам дані довільні безлічі запитів X , записів Y і відношення пошуку ρ на $X \times Y$. Причому на безлічі запитів заданий простір імовірностей $\langle X, \sigma, P \rangle$. Наступний результат, що називається тривіальною нижньою оцінкою, справедливий для будь-якої ЗІП при мінімальних обмеженнях. Зміст цього результату полягає в тому, що час пошуку не може бути менше, ніж час, необхідний на перерахування відповіді [32].

Теорема 1 (тривіальна нижня оцінка) *Нехай $I = \langle X, V, \rho \rangle$ — довільна ЗІП, F — базова безліч, що задовольняє умові $U(I, F) \neq \emptyset$, тоді*

$$T(I, F) \geq \sum_{y \in V} P(O(y, \rho)). \quad (1)$$

Доказ. Візьмемо довільну інформаційну мережу з перемикачами U , що вирішує задачу I . Така мережа існує, тому що $U(I, F) \neq \emptyset$.

Візьмемо довільний запит $x \in X$. Тому що мережа U вирішує ЗІП I , то відповідь на запит x

$$J(x) = \{y \in V : xry\}. \quad (2)$$

Візьмемо довільний запис $y \in J(x)$. Оскільки запис y потрапив у відповідь, то, виходить, у мережі U існує якийсь лист α , якому приписаний запис y і такий, що $\varphi_\alpha(x) = 1$. А тому що $\varphi_\alpha(x) = 1$ і тому що ніякий лист не збігається з коренем, то існує ланцюг, що веде з кореня до листа α , провідність якого дорівнює 1, і в цьому ланцюзі є ребро, що веде в α , із провідністю 1. Це ребро назвемо провідним ребром запису y . Зрозуміло, що різним записам з J відповідають різні провідні ребра, тому що ці ребра ведуть у різні листи. Якщо провідне ребро запису предикатне, предикат, приписаний провідному ребру, обов'язково був обчислений перед тим, як ми потрапили до листа. Якщо провідне ребро запису перемикальне, то обов'язково був обчислений перемикач, приписаний вершині, з якої виходить провідне ребро. Причому такі перемикачі для різних записів з J будуть різними, тому що тільки одне з перемикальних ребер, що виходять з однієї вершини, може мати провідність, рівну 1. У такий спосіб кожному запису з J можна зіставити перемикач або предикат, що обчислюється безпосередньо перед входженням до листа, що відповідає записові. Причому різним записам будуть зіставлені різні перемикачі або предикати. Звідси випливає, що

$$T(U, x) \geq |J(x)|. \quad (3)$$

Отже,

$$T(U) = M_x T(U, x) \geq M_x |J(x)| = \int_X |J(x)| P(dx) = \int_X |\{y \in V : xpy\}| P(dx) = \sum_{y \in V} \int_{O(y, \rho)} P(dx) = \sum_{y \in V} P(O(y, \rho)). \quad (4)$$

А тому що ця нерівність виконується для будь-якої мережі $U \in U(I, F)$, то

$$T(I, F) \geq \sum_{y \in V} P(O(y, \rho)), \quad (5)$$

що і було потрібно довести.

Задача пошуку ідентичних об'єктів складається з пошуку в інформаційному масиві об'єкта, ідентичного об'єктові-запитові.

У нашому випадку необхідно знайти в кінцевій безлічі оброблюваних файлів однакові записи, що містять кінцеву підмножину ідентичних атрибутів із усієї безлічі атрибутів записів у файлах, записати їх до файла, що містить результат пошуку, видаливши ці записи з вхідних файлів, тим самим зменшуючи їхній розмір. Дана задача ускладнюється необхідністю обробки дуже великих масивів даних у кожному файлі (порядком 7 Гбайт), а оскільки кількість оброблюваних файлів дорівнює 3, то загальний масив інформації для первинної обробки збільшується до 21 Гбайт, що вимагає величезних технічних, програмних і часових ресурсів. Нехай

$X_i \in X$ - оброблюваний файл (база даних), що належить кінцевій безлічі оброблюваних файлів (баз даних), де $i \in \{1; I\}$, I - кількість оброблюваних файлів (баз даних);

$n_k \in n$ - запис в оброблюваному файлі (кортеж бази даних), що належить кінцевій безлічі записів в оброблюваному файлі, де $k \in \{1; K\}$, K - кількість записів в оброблюваному файлі (кількість кортежів у базі даних);

$a_j \in a$ - атрибут запису в оброблюваному файлі (домен бази даних), що належить кінцевій безлічі атрибутів запису в оброблюваному файлі, де $j \in \{1; J\}$, J - кількість атрибутів запису в оброблюваному файлі (кількість доменів у базі даних).

Введемо критерій відмінності $0 \leq \delta_{i_1 i_2 k_1 k_2 j} \leq 1$ вмісту атрибутів записів у файлах бази даних друг від друга $\delta_{i_1 i_2 k_1 k_2 j} = a_{i_1 k_1 j} - a_{i_2 k_2 j}$, де $i_1, i_2 \in \{1; I\}$; $k_1, k_2 \in \{1; K\}$, такий, що

$$\exists \begin{matrix} i \in \{1; I\} \\ k \in \{1; K\} \end{matrix} \sum_{j=1}^J \delta_{ikj} \rightarrow 0, \text{ то } P(n_{ik}) \rightarrow 1, \quad (6)$$

де $P(n_{ik})$ - імовірність того, що в i -х файлах k -і записи збігаються.

Для вибірки записів до файла, що містить результати пошуку, необхідно ввести критерій вибірки $0 \leq \eta_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in \{1; I\}, k \in \{1; K\}$, рівний імовірності збігу k -х записів у i -х файлах.

При $\eta_{ik} \approx 1$ k -ий запис можна зберегти в файлі, що містить результати пошуку, і видалити його з усіх i -х файлів.

Час обробки масиву файлів складає:

$$T = \sum_{i=1}^I T_i, \quad (7)$$

де T_i - час обробки i -го файлу.

$$T_i = \sum_{k=1}^{R_i \in \{1; K\}} t_{ik}, \quad (8)$$

де t_{ik} - час обробки k -го запису i -го файлу.

У свою чергу

$$t_{ik} = \sum_{j=1}^J t_{ikj}, \quad (9)$$

де t_{ikj} - час обробки j -го атрибута k -го запису i -го файлу.

$$t_{ikj} = q_{mikj} * t_m, \quad (10)$$

де q_{mikj} - кількість тактів процесора, що відповідає виконанню операції обробки j -го атрибута k -го запису i -го файлу, t_m - час виконання одного такту процесора ЕОМ, на якій відбувається обробка даних.

Доведено [33-37], що

$$t_m = \frac{1}{f_m}, \quad (11)$$

де f_m - тактова частота процесора ЕОМ.

Таким чином час виконання операцій маніпулювання даними в СЕОД залежить від тактової частоти процесора ЕОМ, на якій відбуваються ці операції, і складає:

$$T = \sum_{i=1}^I \sum_{k=1}^{R_i \in \{1; K\}} \sum_{j=1}^J \frac{q_{mikj}}{f_m}. \quad (12)$$

Максимальний час пошуку ідентичних об'єктів у нашому випадку обчислюється за формулою (13):

$$T_{max} = \frac{1}{f_m} \cdot I \cdot K \cdot J \cdot q_m. \quad (13)$$

Таким чином для обробки I файлів довжиною $R_i \in \{1; K\} * J$ знадобиться час $T \leq T_{max}$, що залежить від тактової частоти процесора ЕОМ і кількості елементів даних для обробки. Чим більше тактова частота процесора і чим менше елементів даних для обробки, тим менше часу займе обробка масиву файлів.

Висновки

Авторами розглянуті математичні аспекти проектування автоматизованої системи „Реєстр Виборців України”, особливості організації даних у системі, перелічені критерії, яким має задовольняти автоматизована система, проаналізовані алгоритми інформаційного пошуку в системі та запропонована модель залежності часу обробки даних від швидкодії технічних засобів обробки та обсягу даних, що обробляються.

In the given article the mathematical aspects of designing of the automated system "The Register of the voters of Ukraine", the features of data structure in this system, criteria which the projected automated system should satisfy are considered, the algorithms of information search in system are analyzed and the model of dependence of data processing time from productivity of technical means of processing and volume of the processable data is proposed.

1. Альсведе Р., Вегенер И. Задачи поиска. - М.: Мир, 1982.
2. Ахо А., Хопкрофт Дж., Ульман Дж. Построение и анализ вычислительных алгоритмов. - М.: Мир, 1979.
3. Кнут Д. Искусство программирования для ЭВМ: Т.3: Сортировка и поиск. - М.: Мир, 1978.
4. Ли Д., Препарата Ф. Вычислительная геометрия. Обзор // Кибернетический сб. -1987. Вып. 24. - С. 5 - 96.
5. Мартин Дж. Организация баз данных в вычислительных системах. - М.: Мир, 1980.
6. Решетников В. Н. Алгебраическая теория информационного поиска // Программирование. - 1979. - № 3. - С. 68 - 74.
7. Селтон Г. Автоматическая обработка, хранение и поиск информации. - М.: Советское радио, 1973.
8. Ньюмен У. М., Спруэлл Р. Ф. Основы интерактивной машинной графики. - М.: Мир, 1976.
9. Солтон Дж. Динамические библиотечно-информационные системы. - М.: Мир, 1979.
10. Chazelle B. M. Filtering search: a new approach to query-answering // Proc. 24th IEEE Annu. Symp. Found. Comput. Sci. - Nov. 1983. - P. 122-132.
11. Edelsbrunner H., Overmars M. H., Siedel R. Some methods of computational-geometry applied to computer graphics // IIG, Technische Univ. Graz, Austria, Tech. Rep. F117. - June 1983.
12. Lee D. T., Wong C. K. Quintary trees: A file structures for multidimensional database system // ACM Trans. Database Syst. - Sept. 1980. - V. 1, №1. - P. 339-353.
13. Гасанов Э. Э. Некоторые оценки сложности поиска информации // Физическое и математическое моделирование дискретных систем. Межвузовский сборник трудов №56. - М.: Изд-во Моск. энерг. ин-та, 1985. - С. 43-47.
14. Гасанов Э. Э. О виде оптимальных информационных сетей для отношений линейного квази порядка. Препринт Р-5-303 ИЯФ АН УзССР. - Ташкент, 1987.
15. Ben-Or M. Lower bounds for algebraic computation trees // Proc. 15th ACM Annu. Symp. Theory Comput. - Apr. 1983. - P. 80-86.
16. Dobkin D. P., Lipton R. J. On the complexity of computations under varying sets of primitives // J. Comput. Syst. Sci. - 1979. - V. 18. - P. 86-91.
17. Steele J. M., Yao A. C. Lower bounds for algebraic decision trees // J. Algorith. - 1982.
18. Dobkin D. P. A nonlinear lower bound on search tree programs for solving knapsack problems // J. Comput. Syst. Sci. - 1976. - V. 13. - P. 69-73.
19. Dobkin D. P., Lipton R. J. A lower bound of $1/2n^2$ on linear search programs for the knapsack problem // J. Comput. Sci. - 1978. - V. 16. - P. 413-417.
20. Yao A. C., Rivest R. L. On the polyhedral decision problem // SIAM J. Comput. - 1980.
21. Праг Керри Н., Ирвин Майкл Р. Access 2000. Библия пользователя.: пер. с англ. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. - 1040 с. + 32 с. краткого справочника: ил. - Парал. тит. англ.
22. Codd E. F. A Relation Model of Data for Large Shared Data Banks // Comm. ACM 13, №6, ACM, New York, London, Amsterdam, June 1970. P. 377-387.
23. Codd E. F. Further Normalization of the Data Base Relational Model // Courant Computer Sci. Symposia (vol. 6: "Data-Base System"), ed. by R. Rustin, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.
24. Codd E. F. Relational Completeness of Data Base Sublanguages // Courant Computer Sci. Symposia (vol. 6: "Data-Base System"), ed. by R. Rustin, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1972.

25. Codd E. F. A Data Base Sublanguage Founded on the Relational Calculus // Proc. of the 1971 ACM-SIGFIDET Workshop on Data Description, Access, and Control, ACM, New York, London, Amsterdam, 1972.
26. Codd E. F. Access Control for Relational Data Base Systems // BCS Symposium on Relational Data-Base Concepts, Apr. 1973, British Computer Soc., London, 1973.
27. Codd E. F. Recent Investigations in Relational Data-Base Systems // Information Processing'74, North-Holland, Amsterdam, 1974.
28. Codd E. F. Relational Database: A Practical Foundation for Productivity // Commun. of ACM. - 1982. - V. 25, №2. P. 140-155.
29. Date C. J., Codd E. F. The Relational and Network Approaches: Comparison of the Application Programming Interfaces // Proc. of the 1974 ACM-SIGFIDET Workshop, ACM, New York, London, Amsterdam, 1974.
30. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.: Выща школа, 1986.
31. Горелик В.А., Ушаков И.А. Исследование операций. – М.: Машиностроение, 1986. – 288 с.
32. Гасанов Э.Э. Функционально-сетевые базы данных и сверхбыстрые алгоритмы поиска. Конспект лекций. – М.: Издательский центр РГГУ, 1997. – 88 с.
33. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления: Пер. с нем. – М.: Мир, 1984. - 464 с., ил.
34. Шоу А. Логическое проектирование операционных систем /Пер. с англ. В.В. Макарова и В.Д. Никитина. – М.: Мир, 1981. – 360 с.
35. Цикритзис Д., Бернштейн Ф. Операционные системы /Пер. с англ. В.Л. Ушковой и Н.Б. Фейгельсон. – М.: Мир, 1977. – 336 с.
36. Системное программное обеспечение /А.В. Гордеев, А.Ю. Молчанов. – СПб.: Питер, 2001. – 736 с.: ил.,
37. Столингс Вильям. Операционные системы, 4-е издание.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 848 с.: ил. – Парал. тит. англ.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 517.519.6

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНЫМ ЗАВЕДЕНИЕМ

Бабенко Н.И., Бабичев С.А. Яблуновская Ю.А.

Актуальность проблемы. При создании автоматизированных систем поддержки принятия решений важным этапом является разработка информационной базы данных, отражающей все сферы деятельности учреждения. Современное учебное заведение – довольно сложный и разнообразный субъект образовательной деятельности, включающий в себя множество структурных взаимосвязанных подразделений. Для своевременного принятия компетентного решения руководителю необходимо иметь оперативный доступ к информации, касающейся любого элемента структуры учреждения, а также иметь возможность проследить динамику протекания процессов в учебном заведении. Разработка информационной системы принятия решений, основанной на современных компьютерных технологиях, способной оперативно анализировать поступающую информацию с выдачей рекомендаций по решению поставленной задачи способствует значительному повышению эффективности работы учебного заведения. Решение этой проблемы соответствует государственным научно–техническим программам, которые сформулированы в законе Украины «Про научную и научно–техническую деятельность» и в законе Украины «Про национальную программу информатизации».

Анализ последних публикаций. В настоящее время ведутся исследования по созданию информационно–компьютерных систем [1-3], позволяющих автоматизировать процесс управления учебным заведением. В практику вводятся компьютерные технологии [4,5], обеспечивающие как содержательную компоненту образовательного процесса – от входного тестирования, методов промежуточного контроля к разработке обучающих программ и комплексов, так и создание подсистем управления учебным процессом на основе интегрированной системы.

Нерешенные части общей проблемы. Главным условием решения поставленной задачи является необходимость создания системы мониторинга в сфере образования, основанной на современных подходах к образовательной статистике и показателях качества образования. Несмотря на интенсивные исследования в данной предметной области задача автоматизации процесса управления учебным заведением в настоящее время однозначного решения не имеет.

Целью статьи является разработка автоматизированной информационной системы поддержки принятия решений при управлении учебным заведением, основанной на теории нечетких множеств, в которой реализован высокий уровень взаимосвязи между всеми элементами учебного заведения. Это позволяет максимально сократить временные затраты, необходимые для выработки как стратегических, так и тактических решений, а также минимизировать негативные последствия, связанные с их реализацией.

Решение проблемы. Создание информационной системы принятия решений включает в себя следующие этапы:

- разбивка системы на подсистемы, т.е. элементы, каждый из которых выполняет определённые ограниченные функции;
- разработка базы данных для каждой подсистемы;
- разработка базы знаний, которая способствуют своевременному принятию решения на уровне подсистемы или системы в целом;

– установление связей между подсистемами, т.е. создание единой информационной автоматизированной системы, способной анализировать поступающую информацию и выдавать рекомендации по принятию управленческого решения.

Структурная схема системы поддержки принятия решений Херсонского физико-технического лицея при ХНТУ и ДНУ представлена на рисунке 1.

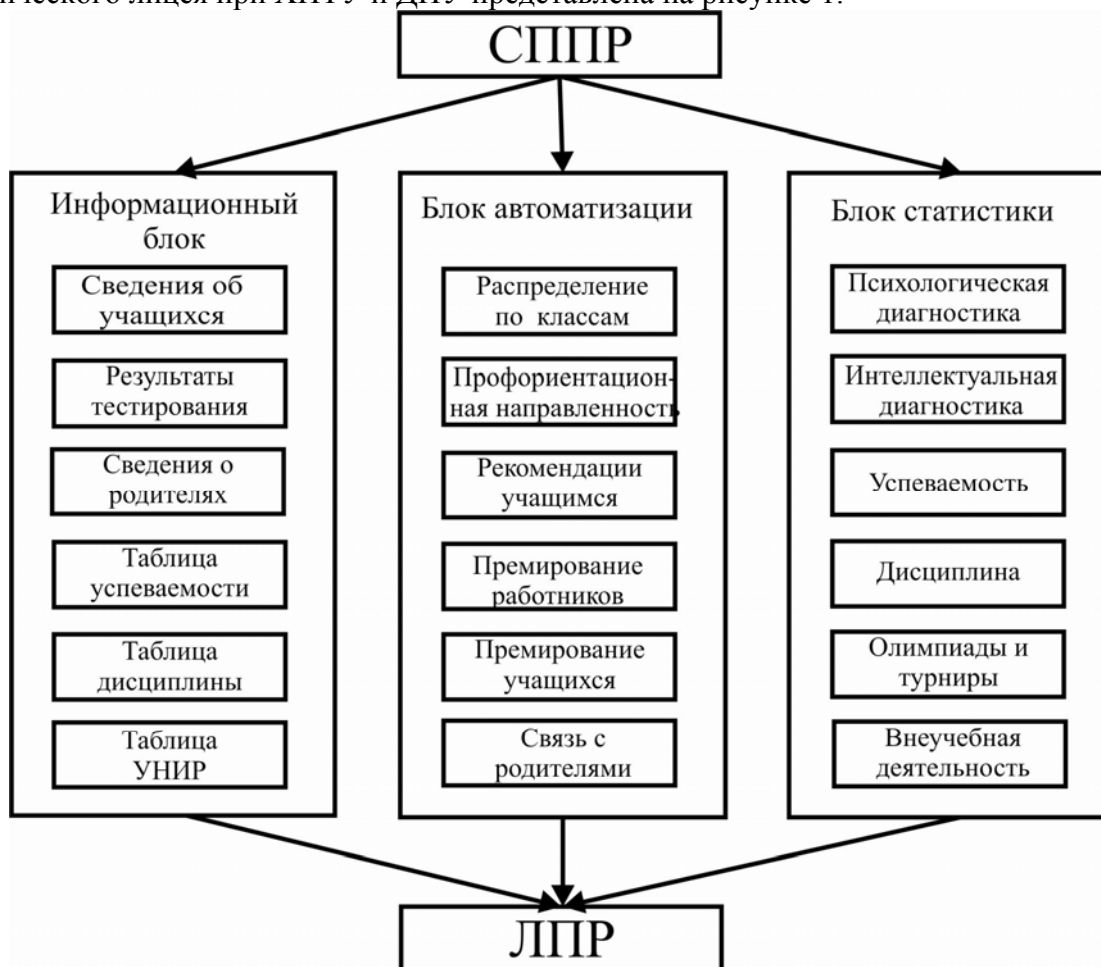


Рис.1 Структурная схема СППР учебного заведения

Информационный блок разработан на основе программной среды СУБД Microsoft Access. Он состоит из набора реляционных таблиц, охватывающих все сферы деятельности учебного заведения. Её целью является информационная поддержка функционирования учебного заведения и принятия управленческих решений. В таблицы вводятся статистические данные, касающиеся всевозможных сфер деятельности учебного заведения. Информационная таблица, обеспечивающая доступ к базе данных на уровне администратора лицея, представлена на рис. 2. Она позволяет получить доступ ко всем блокам СППР, вывести интересующую информацию по любому элементу структуры учебного заведения.

Лицом, принимающим решение (ЛПР), является любой субъект учебного заведения, принимающий участие в общеобразовательном процессе. Статистический блок включает в себя набор статистических программ для обобщения данных таблиц информационного блока. Пример статистической таблицы, отражающей отчет об успеваемости учащихся за первый семестр учебного года, представлен на рис. 3. Подсистемы «Психологическая диагностика» и «Интеллектуальная диагностика» содержат результаты обработки данных, полученных в процессе тестирования учащихся, поступивших в учебное заведение. На основании этих результатов блоком автоматизации выдаются рекомендации по распределению учащихся по классам.

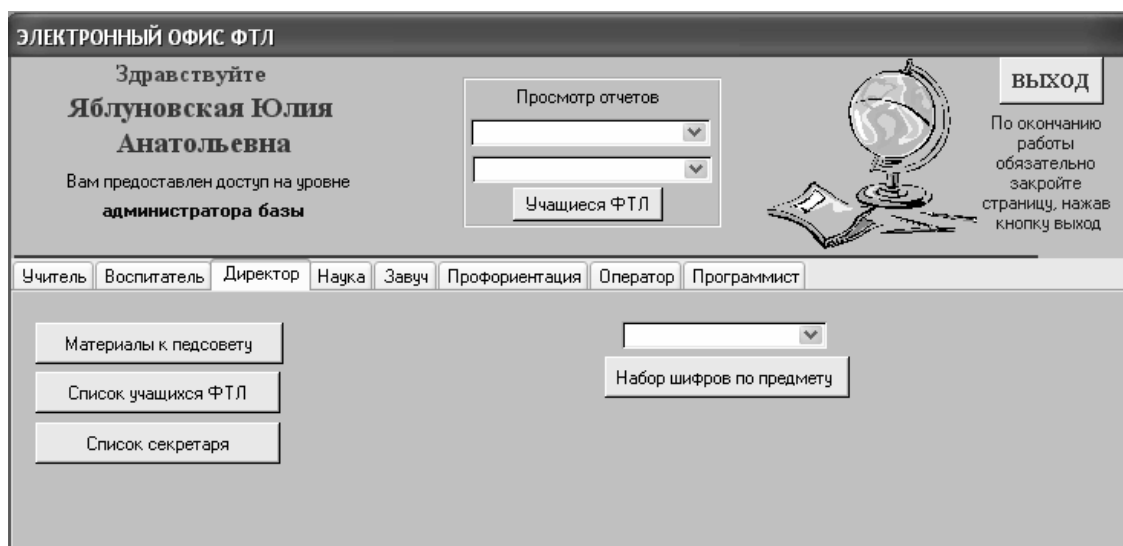


Рис. 2 Таблица доступа в информационную базу данных на уровне администратора учебного заведения.

Ведомость успеваемости в ПЕРВОМ семестре

09А

В классе 44 учащихся 25 юношей 19 девушек

Из них успевают отлично 0 хорошо 8 удовлетворительно 24 НЕ УСПЕВАЮТ 12

Средний рейтинг класса 6,91 по специализу 6,58 по общеобразовательному циклу 7,72

№	ФИО	Рейт	Спец.	Общ.	Лицев	Парал.	Клас.	Повед.	н/а	"2"	стат	Решение педсовета
1	Абрамов Данило Віталійович	3,10	2,83	3,79	750	232	41	8,5		10	не успевае	Рекомендовать переход
2	Александров Яна Валерійвна	5,85	5,13	7,60	482	159	33	12			удов.	
3	Бабиченко Артем Михайлович	8,93	9,46	7,65	112	29	7	10,5			удов.	
4	Базилевич Валерія Петрівна	10,68	10,88	10,20	8	3	1	12			хорошо	Объявить благодарность
5	Беднарська Катерина Володимирів	5,85	4,96	8,00	482	160	34	11,5			удов.	
6	Бондаренко Артур Олександрович	7,28	7,00	7,95	273	91	22	12			удов.	
7	Бондаренко Олександр Олександрович	7,43	7,04	8,35	249	80	18	12			удов.	
8	Вербицкий Віктор Володимирович	7,34	6,63	9,05	262	88	20	11			удов.	
9	Вороненко Валерій Валерійович	8,90	9,00	8,65	108	27	6	11			удов.	Объявить благодарность
10	Вороненко Маргарита Павлівна	9,40	9,67	8,75	60	13	4	12			хорошо	Объявить благодарность
11	Воропінко Віталій Олександрович	6,75	6,54	7,25	349	114	24	11			удов.	
12	Гончар Антон Владиславович	6,31	6,58	5,65	410	135	30	9			удов.	
13	Гончаренко Костянтин Анатолійов	6,00	5,46	7,30	461	155	32	7,5		1	не успевае	
14	Гузенко Катерина Сергійвна	8,29	8,00	9,00	151	48	10	10,5			хорошо	Объявить благодарность
15	Дутко Олег Богданович	5,04	4,29	6,85	707	216	39	10	3	1	не успевае	
16	Загребельний Дмитро Леонідович	2,73	2,25	4,00	762	243	44	7	3	4	не успевае	Рекомендовать переход
17	Карпушина Сльга Станіславівна	7,81	7,17	9,35	199	65	15	12			удов.	

Рис.3 Таблица статистического блока, отражающая информацию об успеваемости учащихся за определённый учебный цикл.

Подсистема «Успеваемость» представляет собой результаты статистической обработки данных подсистемы «Таблица успеваемости» информационного блока. При этом рассчитывается:

- средний балл учащихся по классу, параллели, лицу, по контрольной, учебному модулю, семестру, по тематике и по каждой задаче в отдельности;
- процент успеваемости и качество знаний учащихся по классу, параллели, лицу.

Подсистема «Дисциплина» производит статистическую оценку дисциплинарных нарушений учащихся. На основании полученных результатов блок автоматизации выдаёт рекомендации учащимся по улучшению учебной деятельности.

Подсистемы «Олимпиады и турниры» и «Внеучебная деятельность» содержат статистические данные, касающиеся участия лицеистов в олимпиадах и турнирах различного уровня, а также во внеурочных мероприятиях (вечерах, конкурсах и т.д.). На основании этих данных блок автоматизации выдаёт рекомендации по премириванию учащихся.

Работа блока автоматизации основана на теории нечетких множеств. Пусть E – универсальное множество решений, своевременное принятие которых определяет эффективную работу учебного заведения. $A = \{x_i/\mu_A(x_i)\}$ – нечеткое подмножество универсального множества E , определяющее принятие одного конкретного решения, включающее в себя множество факторов x_i с характеристической функцией принадлежности $\mu_A(x_i)$, определяющей степень принадлежности элемента x_i подмножеству A . От выбора вида функции принадлежности и её области определения зависит чувствительность нечеткой системы и качество её работы. Настройка блока автоматизации предусматривает наличие следующих этапов:

- отбор факторов, влияющих на принятие решения;
- ранжирование отобранных факторов с определением диапазона их изменения;
- создание базы знаний для настройки нечеткой системы, включающей в себя набор предикатных правил вида:

Π_1 : если x_1 есть A_1 , x_2 есть B_1 , x_3 есть C_1, \dots , то y есть D_1 ;

Π_2 : если x_1 есть A_2 , x_2 есть B_2 , x_3 есть C_2, \dots , то y есть D_2 ;

.....;

Π_n : если x_1 есть A_n , x_2 есть B_n , x_3 есть C_n, \dots , то y есть D_n ;

- определение количества и тип функций принадлежности нечетких множеств;
- настройка нечеткой системы, которая заключается в выборе алгоритма нечеткого вывода и нахождении области определения используемых функций принадлежности.

Теория нечеткой логики предполагает использование различных алгоритмов нечеткого вывода. Наиболее распространенные являются алгоритмы нечеткого вывода Мамдани и Сугэно.

Работа алгоритма вывода Мамдани предусматривает следующую последовательность обработки данных:

- фазификация. Для определения степени истинности каждой предпосылки каждого правила функции принадлежности, определённые на входных переменных, применяются к их фактическим значениям, т.е. определяются $A_1(x_1), A_2(x_1), \dots, A_n(x_1), B_1(x_2), B_2(x_2), \dots, B_n(x_2), \dots, G_1(x_m), G_2(x_m), \dots, G_n(x_m)$ где A, B, \dots, G – значения функции принадлежности при заданных значениях аргумента x ;

- агрегация. Находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции \min

$$\alpha_1 = A_1(x_1) \wedge B_1(x_2) \wedge C_1(x_3) \wedge \dots \wedge G_1(x_m);$$

$$\alpha_2 = A_2(x_1) \wedge B_2(x_2) \wedge C_2(x_3) \wedge \dots \wedge G_2(x_m);$$

$$\dots;$$

$$\alpha_n = A_n(x_1) \wedge B_n(x_2) \wedge C_n(x_3) \wedge \dots \wedge G_n(x_m);$$

и определением усеченных функций принадлежности нечетких множеств:

$$M'_1(D) = (\alpha_1 \wedge M_1(D));$$

$$M'_2(D) = (\alpha_2 \wedge M_2(D));$$

$$\dots;$$

$$M'_n(D) = (\alpha_n \wedge M_n(D)).$$

где $M(D)$ – усеченные функции принадлежности для входных переменных, $M'(D)$ – усеченные функции принадлежности для нечетких правил;

- аккумуляция. Нахождение функции принадлежности итогового нечеткого подмножества для переменной выхода:

$$\mu_{\Sigma}(D) = M(D) = M'_1(D) \vee M'_2(D) \vee \dots \vee M'_n(D);$$

– дефазификация, т.е. приведение к четкости, которое осуществляется центроидным методом путем определения центра тяжести для кривой $\mu_{\Sigma}(D)$.

Работа алгоритма вывода Сугэно предусматривает следующую последовательность обработки данных:

– фазификация. Определяются $A_1(x_1), A_2(x_1), \dots, A_n(x_1), B_1(x_2), B_2(x_2), \dots, B_n(x_2), \dots, G_1(x_m), G_2(x_m), \dots, G_n(x_m)$;

– агрегация. Находятся уровни «отсечения» для предпосылок каждого из правил с использованием операции \min

$$\alpha_1 = A_1(x_1) \wedge B_1(x_2) \wedge C_1(x_3) \wedge \dots \wedge G_1(x_m);$$

$$\alpha_2 = A_2(x_1) \wedge B_2(x_2) \wedge C_2(x_3) \wedge \dots \wedge G_2(x_m);$$

$$\dots;$$

$$\alpha_n = A_n(x_1) \wedge B_n(x_2) \wedge C_n(x_3) \wedge \dots \wedge G_n(x_m);$$

и нахождением индивидуальных выходов правил:

$$M'_1 = A_1 x_1 + B_1 x_2 + C_1 x_3 + \dots + G_1 x_m;$$

$$M'_2 = A_2 x_1 + B_2 x_2 + C_2 x_3 + \dots + G_2 x_m;$$

$$\dots;$$

$$M'_n = A_n x_1 + B_n x_2 + C_n x_3 + \dots + G_n x_m.$$

– дефазификация с определением четкого значения переменной вывода.

Найдя оптимальное сочетание алгоритма нечеткого вывода, функций принадлежности нечетких множеств и их области определения при имеющейся базе данных получаем систему нечеткого вывода, позволяющую автоматизировать процесс принятия управленческих решений.

В качестве примера использования представленной методики предлагается разработанная авторами система определение размера материального поощрения работников Херсонского физико-технического лицея при ХНТУ и ДНУ. В соответствии с постановлением кабинета министров Украины № 134 от 07.02.2001 г. суммарный размер надбавок работников на должен превышать 50% от установленного оклада. Пусть Y – параметр, определяющий размер материального поощрения. Значение параметра Y оценивалось по 50-бальной шкале. Факторы, влияющие на значение Y , были следующие: X_1 – подготовка призёров олимпиад, X_2 – подготовка призёров конкурсов малой академии наук, X_3 – участие в турнирах различного уровня и подготовка общелицейских мероприятий, X_4 – отсутствие дисциплинарных и технологических нарушений, X_5 – дополнительная оплата за проверку контрольных и самостоятельных аудиторных работ. Значения факторов X_1, X_2 и X_3 определялись по 10-ти бальной шкале, а факторов X_4 и X_5 – по 4-х бальной. При подготовке призёров конкурсов или олимпиад городского уровня параметрам X_1 и X_2 присваивалась цифра 3, при подготовке призёра областной олимпиады или конкурса значения X_1 и X_2 были равны 6, при подготовке призёра всеукраинской олимпиады или конкурса значения X_1 и X_2 принимали максимальное значения, равное 10. Значение параметра X_3 определялось по следующим критериям: участие в подготовке и проведении вечеров на уровне класса или параллели или пассивная помощь в подготовке и проведении физ-мат турнира или общелицейского мероприятия оценивалось в 3 балла. Участие в подготовке физ-мат турнира или активное участие в подготовке и проведении одного из основных общелицейских мероприятий (посвящение в лицеисты или выпускной вечер) оценивалось в 6 баллов. При активном участии работника в нескольких общелицейских мероприятиях параметру X_3 присваивалась цифра 10. Критерий оценки параметра X_4 следующий: отсутствие дисциплинарных и технологических нарушений – 4 балла, наличие одного нарушения при отсутствии другого – 2 балла. Параметр X_5 принимал значение 2 при проверке количества работ, соответствующих количеству учащихся в классах, где работает преподаватель. При

проверке в несколько раз большего количества работ параметру X_5 присваивалось значение 4. Очевидно, что факторы X_4 и X_5 по своей значимости должны оказывать меньшее влияние на параметр Y , поэтому область определения функций принадлежности, соответствующих этим факторам увеличивалась, что уменьшало чувствительность системы к изменению параметров X_4 и X_5 . Область определения функций принадлежности факторов X_1 , X_2 и X_3 уменьшалась, что способствовало повышению чувствительности системы к их изменению.

Для настройки нечеткой системы логического вывода разработана база знаний в виде оптимальной совокупности предикатных правил следующего вида:

- П₁: если $X_1=0, X_2=0, X_3=0, X_4=0, X_5=2$, то $Y=0$;
- П₂: если $X_1=3, X_2=3, X_3=3, X_4=2, X_5=2$, то $Y=10$;
- П₃: если $X_1=6, X_2=6, X_3=3, X_4=2, X_5=2$, то $Y=20$;
- П₄: если $X_1=3, X_2=6, X_3=6, X_4=2, X_5=2$, то $Y=20$;
- П₅: если $X_1=6, X_2=3, X_3=6, X_4=2, X_5=2$, то $Y=20$;
- П₆: если $X_1=6, X_2=6, X_3=6, X_4=4, X_5=4$, то $Y=30$;
- П₇: если $X_1=6, X_2=6, X_3=10, X_4=4, X_5=4$, то $Y=40$;
- П₈: если $X_1=6, X_2=10, X_3=6, X_4=4, X_5=4$, то $Y=40$;
- П₉: если $X_1=10, X_2=6, X_3=6, X_4=4, X_5=4$, то $Y=40$;
- П₁₀: если $X_1=10, X_2=10, X_3=6, X_4=4, X_5=4$, то $Y=50$;
- П₁₁: если $X_1=6, X_2=10, X_3=10, X_4=4, X_5=4$, то $Y=50$;
- П₁₂: если $X_1=10, X_2=6, X_3=10, X_4=4, X_5=4$, то $Y=50$;
- П₁₃: если $X_1=10, X_2=10, X_3=10, X_4=4, X_5=4$, то $Y=50$;

Использовались треугольные, гауссовы и сигмоидальные функции принадлежности нечетких множеств. Эксперимент показал, что чувствительность и объективность системы максимальная при использовании алгоритма нечеткого вывода Мамдани, гауссовых функций принадлежности для входных факторов и треугольных для выходных. Результаты работы системы при варьировании входных параметров представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты работы нечеткой СППР при расчете размера материального поощрения работников.

№	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y
1	0	0	0	0	2	0,23
2	2	2	2	2	2	8,43
3	4	4	4	4	4	21,5
4	6	6	6	4	4	29,4
5	8	8	8	4	4	40
6	10	10	10	4	4	50
7	0	5	5	4	4	14,8
8	10	5	5	4	4	40
9	5	5	5	0	4	15
10	5	5	5	4	4	25,8
11	0	0	0	4	4	9,96
12	10	10	10	0	2	40

Анализ данных таблицы позволяет сделать вывод об эффективности работы нечеткой системы. По мере возрастания входных факторов от минимального значения до максимального параметр Y плавно увеличивается до максимальной величины, соответствующей предельному значению материальной надбавки. При этом максимальные пределы варьирования факторов X_1 , X_2 , или X_3 вызывает изменение

выходной величины Y от 14,8 до 40, что составляет 50,4%. Совокупное изменение параметров X_1 , X_2 , и X_3 от 0 до 10 вызывает изменение параметра Y на 80,1%. Факторы X_4 и X_5 влияют на выходную характеристику следующим образом: варьирование одного из факторов в пределах от 0 до 4 вызывает изменение параметра Y от 15 до 25,8, что составляет 21,6%, совокупное их изменение в пределах всего диапазона варьирования вызывает изменение выходной характеристики на 20%. Меньший процент изменения выходного параметра при совокупном варьировании факторов X_4 и X_5 объясняется тем, что величина X_5 изменяется от 2 до 4, так как значение 2 соответствует единственной плановой аудиторной контрольной работе.

Следует отметить, что настройка СППР осуществляется для каждой подсистемы блока автоматизации в отдельности и для системы в целом. Окончательным итогом работы системы является выдача рекомендаций лицу, принимающему решение (ЛПР), которым может быть директор, завуч, учитель, воспитатель, родитель и т.д.

Выводы. Отличительной особенностью предложенной системы является высокий уровень автоматизации всех сфер деятельности учебного заведения. Разработана база данных и база знаний, на основании которых настраивалась нечеткая система логического вывода. Для каждой подсистемы блока автоматизации составлен набор предикатных правил, найдено оптимальное сочетание алгоритмов нечеткого вывода и функций принадлежности нечетких множеств, определены области определения функций принадлежности нечетких множеств, соответствующие требуемой чувствительности системы. Применение предложенной системы позволяет сократить временные затраты, необходимые для выработки как стратегических, так и тактических решений, а также минимизировать негативные последствия, связанные с их реализацией. Перспективным направлением дальнейшего развития СППР является автоматизация взаимосвязей между подсистемами, что существенно повысит оперативность принимаемого решения. Авторы также планируют разработку имитационного модуля, модулирующего процесс функционирования учебного заведения, что позволит найти наиболее оптимальное сочетание имеющейся базы знаний и стратегии управления, при котором учебное заведение будет выведено на новый, более высокий качественный уровень.

In article submits the automated information system of supporting decision-making at management of an educational institution, based on the theory of indistinct sets in which the high level of interrelation between all elements of an educational institution is realized. The advantage of the offered system consists in high speed of processing of the acting information that allows to reduce time expenses for formation both strategic, and tactical decisions.

1. Швец Е.Я., Коломоец Г.П., Семенов Н.В. Информационная система управления учебным процессом // Вестник ХГТУ. Херсон.– 2000.–№1(7).– С. 359–363.

2. Бабенко Н.И., Бабичев С.А., Шарко А.В. Автоматизированная информационная система управления учебным процессом: Актуальні проблеми автоматизації та інформаційних технологій. Зб. наук. пр. Дніпропетровського національного університету.– Д., 2004. Т.8. С. 97–104.

3. Швец Е.Я., Коломоец Г.П., Семенов Н.В. Информационная система управления факультетом: Сб.науч. тр. Санкт–Петербургский государственный университет технологии и дизайна.– С.–П., 1999 г. Т. 2. С. 42–45.

4. А.И.Раецкий. Модели и средства автоматизированного проектирования расписаний многостадийных процессов. Дис. к.т.н. К. 1992.

5. Лавинский Г.В. Построение и функционирование сложных систем управления. К.: Вища шк. 336 с.

АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВЗАЄМНИХ ВИКЛЮЧЕНЬ КРИТИЧНИХ ІНТЕРВАЛІВ ПРОЦЕСІВ У РОЗПОДІЛЕНИХ СИСТЕМАХ

Бараненко Р.В., Шаганиян С.М., Дячук М.В.

Постановка проблеми. Необхідність в усе більш і більш продуктивних системах виникла з першого дня винаходу комп'ютера. На початку це досягалось в результаті еволюції технологій виробництва процесорів. Але також розвивалися тенденції до використання декількох процесорів в одній обчислювальній системі для підвищення продуктивності, розроблялися мультизадачні операційні системи, системи з розподіленою пам'яттю, що підняли ряд проблем, що вимагають швидкого й ефективного рішення [1].

Основною є проблема синхронізації процесів, рішення якої дозволить підвищити продуктивність роботи багатозадачних операційних й багатопроцесорних обчислювальних систем.

Аналіз останніх досліджень. Синхронізація процесів має на увазі для кожного процесу виключення можливості одночасного з ним звертання інших процесів до розподілених даних – *взаємовиключення*. Будь-яка спроба взаємного виключення повинна спиратися на якийсь фундаментальний механізм виключень апаратного забезпечення. Найбільш загальним механізмом може служити обмеження, відповідно до якого до деякої комірки пам'яті у визначений момент часу може здійснювати звертання тільки один процес [1].

Під процесом розуміється деяка послідовність дій, що складають деяке обчислення, що характеризується [1,2]:

- зіставленої йому програмою/підпрограмою, тобто впорядкованою послідовністю операцій, що реалізують дії, що повинні здійснюватися процесом;
- вмістом відповідної йому пам'яті, тобто безліччю даних, якими цей процес може маніпулювати;
- дескриптором процесу, тобто сукупністю відомостей, що визначають стан ресурсів, наданих процесові.

Коли процес звертається до розподілених даних, мається на увазі, що він знаходиться у своєму критичному інтервалі [1,2]. Для синхронізації таких процесів використовуються спеціальні захищені глобальні змінні.

В даний час існуючі алгоритми [3-9] успішно вирішують проблему взаємовиключення критичних інтервалів процесів, але володіють при усіх своїх достоїнствах рядом недоліків, тому що використовують для рішення проблеми досить складні способи, коректність яких важко довести; більшість з них складні для програмної реалізації і/або не забезпечують необхідної швидкості взаємодії процесів і ресурсів в ЕОМ.

Мета статті. Метою роботи є проведення порівняльного аналізу алгоритмів взаємного виключення критичних інтервалів процесів й визначення їхніх переваг і недоліків.

Основний матеріал. Застосування глобальних змінних і семафорів вирішує основну проблему синхронізації процесів, що складається у взаємному виключенні критичних інтервалів процесів. У загальному випадку її рішення повинне задовольняти вимогам [10]:

- у будь-який момент часу тільки один процес може знаходитися

всередині критичного інтервалу;

– якщо жоден процес не знаходиться в критичному інтервалі, то будь-який процес, що бажає ввійти до критичного інтервалу, повинний одержати дозвіл без будь-якої затримки;

– жоден процес не повинний нескінченно довго чекати дозволу на вхід до критичного інтервалу (якщо жоден процес не буде знаходитися всередині критичного інтервалу нескінченно);

– не повинно існувати ніяких припущень щодо швидкості процесорів.

Існують різні алгоритми, що можуть бути використані для рішення поставленої задачі в розподілених обчислювальних системах [3-9].

Найбільш простим і найбільш ефективним є *централізований алгоритм*, заснований на застосуванні тих же методів, що використовуються в однопроцесорних системах. Цей алгоритм гарантує взаємне виключення, але внаслідок своєї централізованої природи має низьку відмовостійкість. При його реалізації один із процесів вибирається як координатор. Коли який-небудь інший процес хоче ввійти до критичного інтервалу, він посилає повідомлення з запитом до координатора, оповіщаючи його про те, до якого критичного інтервалу він хоче ввійти, і чекає від координатора дозволу. Якщо в цей момент жоден із процесів не знаходиться в критичному інтервалі, то координатор посилає дозвіл.

Якщо ж деякий процес уже виконує критичний інтервал, зв'язаний з даним ресурсом, то ніяка відповідь не посилається; запитуючий процес ставиться до черги, і після звільнення критичного інтервалу йому відправляється відповідь-дозвіл.

Розподілений алгоритм діє інакше. Коли процес хоче ввійти до критичного інтервалу, він формує повідомлення, що містить ім'я потрібного йому критичного інтервалу, номер процесу і поточне значення часу. Потім він посилає це повідомлення всім іншим процесам. Передбачається, що передача кожного повідомлення супроводжується підтвердженням. Коли процес одержує повідомлення такого роду, його дії залежать від того, у якому стані стосовно зазначеного в повідомленні критичного інтервалу він знаходиться. Мають місце три ситуації:

1) Якщо одержувач не знаходиться і не збирається входити до критичного інтервалу в даний момент, то він відсилає назад процесові-відправникові повідомлення з дозволом.

2) Якщо одержувач уже знаходиться в критичному інтервалі, то він не відправляє ніякої відповіді, а ставить запит до черги.

3) Якщо одержувач хоче ввійти до критичного інтервалу, але ще не зробив цього, то він порівнює тимчасову оцінку повідомлення, що надійшло, зі значенням часу, що утримується в його власному повідомленні, розісланому всім іншим процесам. Якщо час у повідомленні, що надійшло до нього, менше, тобто його власний запит виник пізніше, то він посилає повідомлення-дозвіл. У зворотному випадку він не посилає нічого і ставить повідомлення-запит, що надійшло до нього, у чергу.

Процес може ввійти до критичного інтервалу тільки в тому випадку, якщо він одержав відповідні повідомлення-дозволи від всіх інших процесів. Коли процес залишає критичний інтервал, він посилає дозвіл усім процесам зі своєї черги і виключає їх з черги.

Зовсім інший підхід до досягнення взаємного виключення в розподілених системах використовує *алгоритм Token Ring*. Усі процеси системи утворюють логічне кільце, тобто кожен процес знає номер своєї позиції в кільці, а також номер найближчого до нього наступного процесу. Коли кільце ініціалізується, процесові 0 передається токен – спеціальна послідовність службової інформації. Токен циркулює по кільцю. Він переходить від процесу n до процесу $n+1$ шляхом передачі повідомлення за типом «крапка-крапка». Коли процес одержує токен від свого сусіда,

він аналізує, чи не потрібно йому самому увійти до критичного інтервалу. Якщо так, то процес входить до критичного інтервалу. Після того, як процес вийде з критичного інтервалу, він передає токен далі по кільцю. Якщо ж процес, що прийняв токен від свого сусіда, не зацікавлений у входженні до критичного інтервалу, то він відразу відправляє токен у кільце. Отже, якщо один із процесів не бажає входити до критичного інтервалу, то в цьому випадку токен просто циркулює по кільцю з високою швидкістю.

З огляду на переваги й недоліки всіх трьох алгоритмів, можна зробити висновок, що:

1) *Централізований алгоритм* є найбільш простим і найбільш ефективним. При його використанні потрібно тільки три повідомлення для того, щоб процес увійшов і залишив критичний інтервал: запит, повідомлення-дозвіл для входу і повідомлення про звільнення ресурсу при виході.

2) При використанні *розподіленого алгоритму* для одного використання критичного інтервалу потрібно послати $(n-1)$ повідомлень-запитів (де n - число процесів) - по одному на кожен процес і одержати $(n-1)$ повідомлень-дозволів, тобто усього необхідно $2(n-1)$ повідомлень.

3) В алгоритмі *Token Ring* число повідомлень змінно: від 1 у випадку, якщо кожен процес входив до критичного інтервалу, до нескінченно великого числа, при циркуляції токена по кільцю, у якому жоден процес не входив до критичного інтервалу.

На жаль усі ці три алгоритми погано захищені від відмов. У першому випадку до краху приводить відмова координатора, у другому - відмова будь-якого процесу, а в третьому - втрата токена або відмова процесу.

Висновки. Авторами розглянута проблема синхронізації процесів у розподілених системах, проведений порівняльний аналіз алгоритмів взаємного виключення критичних інтервалів процесів, у результаті якого визначені їхні основні переваги й недоліки, на підставі чого можна аргументувати використання конкретного алгоритму взаємного виключення для підвищення продуктивності роботи багатозадачних операційних й багатопроекторних систем.

Використання конкретних алгоритмів взаємного виключення критичних інтервалів процесів приведено в працях авторів [1, 10-12].

The problem of synchronization of processes in the distributed systems is considered, the comparative analysis of algorithms of mutual exception of critical intervals of processes is carried out, as a result of which their basic advantages and lacks are determined.

1. С.Н. Шаганян, Р.В. Бараненко Реализация взаимных исключений критических интервалов как одного из видов синхронизации доступа процессов к ресурсам в ЭВМ // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы – Херсон: ХГТУ, 2003, №2(12), С.70-73.

2. Фритч В. Применение микропроцессоров в системах управления: Пер. с нем. – М.: Мир, 1984. - 464 с., ил.

3. Столингс Вильям. Структурная организация и архитектура компьютерных систем, 5-е издание.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 896 с.: ил. – Парал. тит. англ.

4. Шоу А. Логическое проектирование операционных систем /Пер. с англ. В.В. Макарова и В.Д. Никитина. – М.: Мир, 1981. – 360 с.

5. Цикритзис Д., Бернстайн Ф. Операционные системы /Пер. с англ. В.Л. Ушковой и Н.Б. Фейгельсон. – М.: Мир, 1977. – 336 с.
6. Системное программное обеспечение /А.В. Гордеев, А.Ю. Молчанов. – СПб.: Питер, 2001. – 736 с.: ил.
7. Peterson G. Myths About the Mutual Exclusion Problem. – Information Processing Letters, June 1981.
8. Hofri M. Proof of a Mutual Exclusion Algorithm. – Operating System Review, January 1990.
9. Столингс Вильям. Операционные системы, 4-е издание.: пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 848 с.: ил. – Парал. тит. англ.
10. С.Н. Шаганян, Р.В. Бараненко Принцип синхронизации доступа к данным в многопроцессорных ЭВМ с общей памятью // Вестник ХГТУ – Херсон: ХГТУ, 2003, №2 (18), С. 289-291.
11. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір №8645, “Комп’ютерна програма “Автоматизована система прийняття рішень про розподілення інформації за індивідуальними параметрами об’єктів в системах з обходом тупиків “MedIS”. Автори: Р.В. Бараненко, Т.А. Ілюк, М.В. Пилипенко, Ю.Ю. Синицький, С.Ю. Синицький. Опубл. 23.10.2003.
12. С.Н. Шаганян, Р.В. Бараненко Выполнение запросов о выделении ресурсов в системах с обходами тупиков // Вестник ХГТУ – Херсон: ХГТУ, 2004, №19, С. 63-65.

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУР ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЕКТАМИ

Вайсман В.А., Гогунский В.Д., Руденко С.В.

Введение

Комплексный подход к оптимизации и повышению эффективности предприятий на основе управления качеством продукта в рамках Систем Менеджмента Качества (СМК) осуществляется в трех направлениях [1]:

- эффективное управление проектами реструктуризации предприятий и модернизации технологической части производства;
- автоматизация управленческой и производственной деятельности;
- управление персоналом.

Указанные направления интегрируются в новом развивающемся научном направлении — управлении проектами, которое представляет собой приложение знаний, опыта, методов, и средств к процессам проекта для удовлетворения требований, предъявляемых к продукту, и ожиданий участников проекта [2 – 5]. Управление проектами подчиняется четкой логике, которая связывает между собой различные знания и процессы управления (рис. 1).

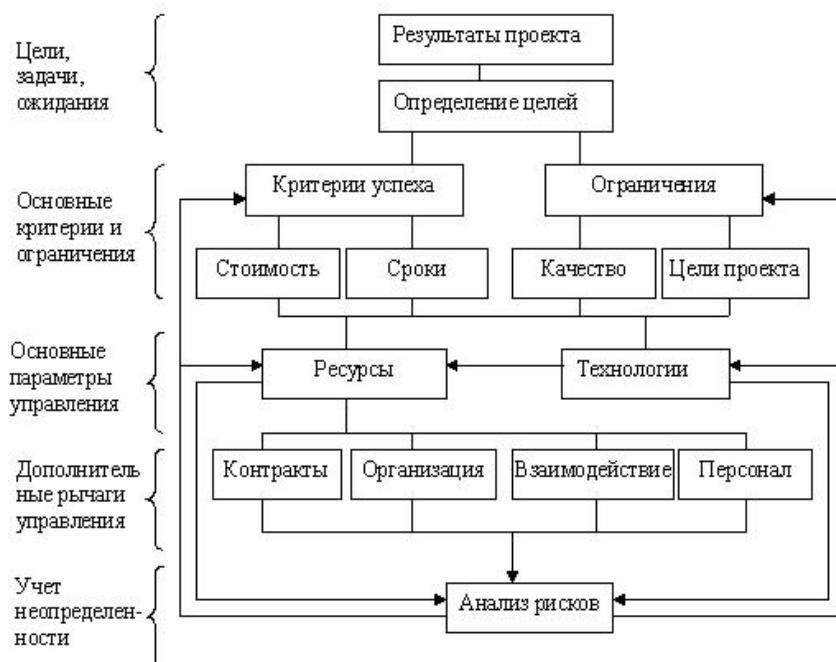


Рис. 1 Логика управления проектами

Анализ публикаций и характеристика предмета исследования

Основное противоречие в управлении качеством проявляется между функциональной организацией управления и целями функционирования предприятий. Сложность разрешения этих противоречий теоретическими или экспериментальными методами обусловлена уникальностью каждого предприятия: по структуре, по оснащению оборудованием, по уровню автоматизации технологических процессов и применению информационных систем в управлении предприятием, по источникам сырьевых ресурсов, по кадровому составу и др. [6]. Применение методологии управления проектами позволит разрешить указанные выше противоречия [7].

Развитие кибернетики, теории управления и исследования операций [8, 9] в середине двадцатого столетия позволило создать ряд формальных моделей и тем самым заложить систематическую основу управления проектами. В соответствии с определением, предложенным в [6], под проектом следует понимать «ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией».

Далее термин *проект* будет использован в широком смысле: как комплекс управляемых стадий жизненного цикла реальной или виртуальной системы, функционирование которой направлено на получение некоторого *продукта*. Управление интеграцией и информационными связями в проекте, оптимизация организационных и функциональных структур проекта порождают новые требования к исследованию составных частей объекта и управлению содержанием, временем, трудовыми и материальными ресурсами в условиях неопределенности [10].

В [6] выделяются следующие основные направления формирования методологии управления проектами. Во-первых, это модели и методы календарно-сетевое планирования. Такие модели получили всеобщее признание, легли в основу многочисленных прикладных программ для ЭВМ и широко используются при управлении реальными проектами. Во-вторых, это теория и практика менеджмента – система теоретических, эмпирических и интуитивных знаний о эффективном управлении организацией. И, в третьих, учет специфики целенаправленного активного поведения человека – исполнителя операций проекта как члена организации и коллектива. Ядро этого направления составляет теория активных систем – раздел теории управления социально-экономическими системами, изучающий свойства механизмов их функционирования, обусловленные активностью участников [10].

Характерными признаками проекта являются [11]:

- направленность на достижение конечных целей, определенных результатов;
- координированное выполнение многочисленных взаимосвязанных работ с поуровневой детализацией по видам деятельности, объемам и ресурсам;
- ограниченная протяженность во времени;
- ограниченность ресурсов и бюджета;
- выполнение работ в соответствии с логикой и требованиями к качеству.

Приведенные признаки проекта в полной мере отвечают характеристике СМК, предназначенной для достижений конкретных целей в условиях ограниченных ресурсов.

Цель исследований

Разработка принципиальных структур организационного управления процессами проектов с использованием основ теории автоматического управления.

Синтез структур систем управления проектами

Под управлением понимается деятельность, направленная на изменение параметров состояния любой системы. Объектами управления могут быть технические системы (машины, станки, устройства), а также системы организационного управления, в которых управляющие воздействия изменяют деятельность персонала. Например, управление в человеко – машинной системе с оператором может быть описано в терминах теории автоматического управления [12]. При этом обычно рассматривают работу оператора в режиме "ручного слежения", когда он непрерывно сводит к минимуму разность между заданным и реальными выходными сигналами. Естественно, что любая такая система может быть переведена в режим автоматического регулирования при замене оператора устройством управления. Поскольку, из сопоставления структур систем управления для объектов разной природы, приведенных на рис. 2 и рис. 3, следует, что эти схемы подобны, то дальнейшее пояснение принципов управления любыми объектами будем вести применительно к управлению техническими средствами.

На рис. 2 приведена структурная схема системы с оператором при управлении техническими объектами по отклонению выходного регулируемого параметра. На вход объекта (машины) подается заготовка X . Результатом процесса является продукт Y с определяющим его качество параметром S_p . Структурная схема на рис. 2 включает:

- датчик, измеряющий величину S_p ;
- элемент сравнения для определения величины отклонения параметра качества S_p продукта Y от заданного значения, путем вычисления $I = S_p - S_0$;
- индикатор, который отображает изменяющуюся информацию I ;
- оператора, принимающего на основе этой информации решение о необходимости изменения состояния объекта путем воздействия d_U на органы управления, выходной сигнал которых U вызывает перевод в новое состояние машины (к которой относятся все части технического средства, кроме указанных выше).

Продукт отвечает нормативным требованиям, если S_p равно заданному значению S_0 или отклонения находятся в допустимых пределах $S_p < |S_0 \pm \delta|$.

Выходной сигнал S_p является выходным сигналом системы.

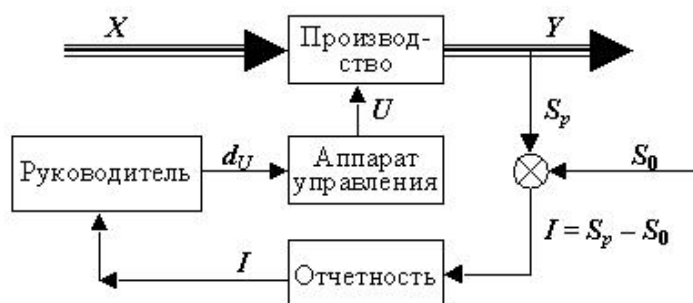


Рис. 2 Структурная схема системы организационного управления



Рис. 3 Структурная схема системы управления техническими объектами по отклонению регулируемой величины

Иной тип структурных схем управления связан с использованием информации, измеряемой на входе объекта. В таких схемах управления ставится задача определения управляющих воздействий d_U на органы управления в зависимости от некоторого измеряемого параметра S_x входа X . Такое регулирование называется управлением по возмущению.

Обычно применяют системы с замкнутым контуром. Достоинством таких схем управления является контроль параметров качества продукта.

На рис. 2 – 3 показаны схемы регулирования одного параметра, что свойственно наиболее низким ступеням иерархических систем управления реальных производственных систем. В общем случае управление предполагает по отношению к системе и ее частям три уровня решения управленческих задач: макро управление;

организационное управление ресурсами и персоналом, управление производственными процессами (рис. 4).

Отсюда вытекают и основные функции систем управления:

Макрофункции – выработка концепции (парадигмы, идеологии) существования и развития системы, разработка дерева целей системы управления и критериев их достижения, выработка общей политики поведения системы, разработка структуры системы управления и направлений ее развития, определение функций и иерархии подсистем, обеспечение целостности системы и определение степени автономности подсистем управления, подходы к формированию кадрового потенциала, особенно методы отбора и ротации высшего менеджмента и т.д.;

Общие функции управления – планирование и прогнозирование конкретных параметров системы, оперативное управление (организация, мотивация, координация и регулирование), организация работы с кадрами и заключительное управление или обратная связь (контроль, учет, анализ);

Частные функции управления – управление работами по планированию и прогнозированию, управление качеством, управление технической подготовкой производства, материально-техническим снабжением, технико-экономического анализа и т.д.

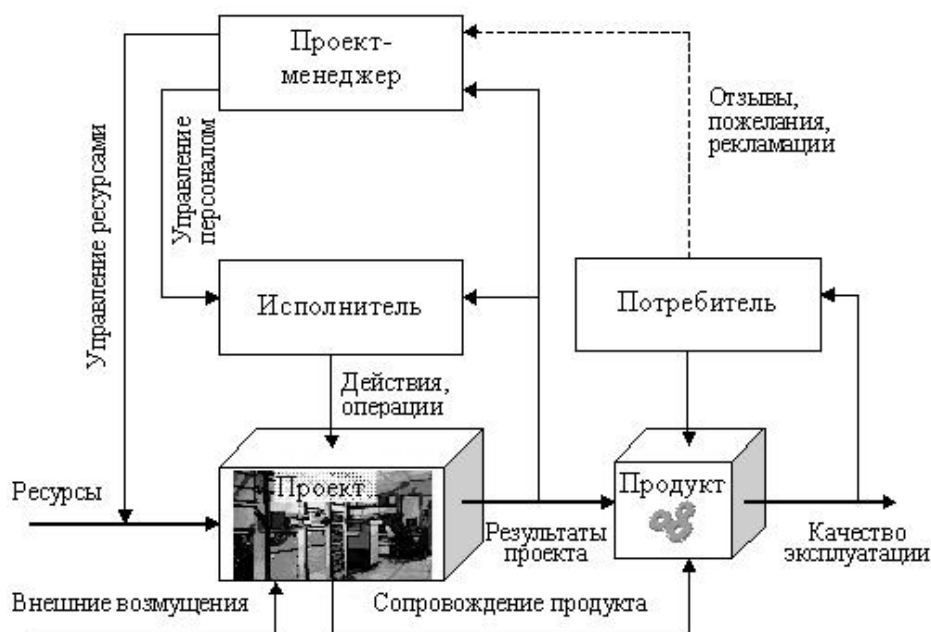


Рис. 4 Структурная схема управления проектами

Методы математической статистики позволяли с заданной вероятностью оценивать качество изделий с применением *выборочного метода*. На совершенствование методов обеспечения качества оказали влияние исследование операций, кибернетика, системотехника и общая теория систем [13]. Кибернетический подход послужил основой появления *концепции управления качеством, которая пришла на смену традиционной концепции контроля*. Эта концепция появилась в начале 1960-х годов и ориентировала на выявление причин возникновения брака и разработку мер по стабилизации уровня качества. Таким образом, появилась возможность *управлять качеством*. Изделия, прошедшие контроль, поступают к потребителю, который дает решающую оценку уровня качества. Отзывы покупателя о качестве и рекламации направляются изготовителю. В соответствии с ними управляющий элемент также вырабатывает корректирующие меры.

Производство продукта – это, в сущности, создание качества, т. е. суммы определенных свойств или “функциональной совокупности”. Следовательно, процесс создания изделия и есть управляемый процесс. В процессе контроля различные параметры, определяющие качество изделия, сравниваются с эталонными показателями, зафиксированными в стандартах, нормативах и технических условиях. Информация о несоответствии уровня качества заданным стандартам (*сигнал рассогласования*) через цепь обратной связи поступают в подразделение, где проводится анализ, и вырабатываются меры по устранению отклонений. Например, изменение ресурсов, усовершенствование конструкции и технологии, замена станков, обучение персонала и др. (рис. 4).

Выводы

В новой концепции управления качеством уточнено значение контроля в обеспечении качества. Измерение и контроль продолжают оставаться важной и необходимой операцией, но как *одно из звеньев в общей системе управления качеством*. При этом процессы и операции с точки зрения управления качеством имеют четко обозначенные цели, критерии контроля (стандарты), каналы обратной связи, процедуры анализа и методы воздействия. Следовательно, реальный процесс и система управления качеством представляют собой сложную совокупность взаимосвязанных контуров управления.

The analysis of the various block diagrams of management objects is executed. The basic structures of organizational management the projects of system management of quality with use of bases of the theory of automatic control are developed.

1. Аронов И.З., Мирющенко Е.Е., Мирющенко Е.Е. Управление проектами и всеобщее управление качеством // Стандарты и качество. — 1996.— № 9. — С. 43 – 48.
2. Fleming Q.W., Hoppelman J.M. Earned value Project Management. PMI, 1996. – 141 p.
3. Горленко О.А. Менеджмент качества: анализ основных определений // Методы менеджмента качества. — 2004. — № 12. — С. 34 – 36.
4. Вайсман В.А. Методология управления качеством продукции машиностроительных предприятий // Вост.-Европейский журнал передовых технологий. — 2005. — № 4/1(16). — С. 42 – 47.
5. Нонака Икуджиро, Такеучи Хиротака. Компания – создатель знания. Зарождение и развитие инноваций в японских фирмах / пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп—Бизнес», 2003. — 384 с.
6. Тарасюк Г.М. Управління проектами. – К.: Каравела, 2004. – 344 с.
7. A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 2000 Edition. Project Management Institute. — 2000.
8. Растрингин Л. А. Совершенные принципы управления сложными объектами. М.: Советское радио, 1980. — 232 с.
9. Кононенко И.В. Управление развитием предприятия: Методическое пособие. – Харьков: ЦРМБ "Харьковские технологии", 1999. – 89 с.
10. Бушуев С.Д., Морозов В.В. Динамическое лидерство в управлении проектами // Украинская ассоциация управления проектами. — К., 1999. — 312 с.
11. Каплан Роберт С., Нортон Дейвид П. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию. – 2-е изд., испр. и доп. / Пер. с англ. – М.: ЗАО «Олимп – Бизнес», 2004. – 320 с.
12. Дружинин Г.В. Анализ эрготехнических систем — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 160 с
13. Харрингтон Дж. Управление качеством в американских корпорациях. М.: Экономика, 1990. — 164 с.

СИСТЕМНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕНЕРАЦИИ И АНАЛИЗА СЦЕНАРИЕВ

Гожий А.П., Коваленко И.И.

Введение. Основным показателем современного экономического развития выступает коренное изменение в технологическом способе производства, которое базируется на инновационном развитии общества. При этом большое внимание будет уделяться так называемым «сгенерированным» или «прорывным» технологиям, т.е. технологиям, которые еще не находятся на конкурентной стадии своего развития, но основываясь на самых прогрессивных идеях и новых эффектах, имеют все основания для государственного финансирования [1].

Для анализа принципиально новых проектов и прогноза фундаментальных и прикладных исследований разрабатывают сценарии, в основе которых лежит построение так называемого «дерева целей» или «прогнозного графа», которые отображают как инновационную потребность, так и инновационную альтернативу, в том числе оценку необходимых ресурсов и производственных возможностей.

Разработка сценариев – высококвалифицированная, творческая и слабоформализуемая работа, для которой нет исчерпывающего алгоритма поведения. При разработке сценариев желательна многовариантность описания будущей ситуации, что дает возможность анализировать и определять наиболее рациональную стратегию воздействия на ситуацию. Для разработки сценариев привлекаются различные группы высококвалифицированных специалистов, получивших название «аналитики»(А), «консультанты»(К), «эксперты»(Э), «лица, принимающие решения» (ЛПР), которые в своей работе выполняют определенные функции.

Понятно, что при разработке сценариев ни один из имеющихся методов изолированно, вне связи с другими не может дать исчерпывающих результатов. Поэтому стремление к использованию отдельных методов в определенной последовательности с установлением определенных взаимосвязей между ними, является очевидной необходимостью. В современной трактовке такой процесс получил название технологическое предвидение [1], которое и формируется на основе методологии системного анализа. Следует отметить, что вопросы формализации процедур построения сценариев на основе системного применения ряда инструментальных методов являются наименее разработанными, по ней практически отсутствует библиография, сослаться можно, пожалуй, лишь на работу [2]. В данной статье предложена системная методология построения сценариев, в рамках которой рассматриваются следующие вопросы:

- систематизированы и выделены основные группы так называемых «инструментальных методов», используемых для построения и анализа сценариев (методы генерации информации качественного характера; графовые модели, необходимые для построения деревьев целей или событий; вероятностно-статистические методы для получения оценок событий на графах и методы сворачивания сценариев; методы поддержки принятия решений по выбору лучшего из множества альтернативных сценариев).

- предложено с позиций системного подхода рассматривать определенную совокупность используемых инструментальных методов в виде системы методов (СМ), между элементами которой (в качестве элементов выступают отдельные методы) существуют определенные связи или формы взаимодействия;

- на основе анализа СМ рассмотрены процедуры формирования системных технологий выбора различных вариантов и последовательностей методов в соответствии с установленными критериями и принципами оптимальности их использования.

На начальном этапе изучения проблемы и её качественного анализа используются методы генерации информации качественного характера (мозговая атака, метод аналогий, метод контрольных вопросов, морфологический анализ, эвристические методы и др.), с помощью которой анализируют характерные особенности, определяют направления исследований, формулируют важнейшие критерии для выбранной проблемы (рис.1).



Рис.1 Системная методология построения сценариев

На этапе написания сценариев используются методы теории графов (построение дерева целей, дерева событий, прогнозный граф и др.), что дает возможность получить топологию цепочек событий, связанных причинно-следственными связями. Для количественного оценивания вероятностей событий, из которых формируется сценарий, и последующего его сворачивания применяются вероятностно-статистические методы (стратегия Байеса, многошаговый алгоритм Байеса, методы параметрической, робастной и непараметрической статистики).

После написания сценариев и оценивания их реалистичности последним важным этапом является их представление группе лиц, принимающих решения. В данной ситуации применяются методы поддержки принятия решений (однокритериальные методы при объективных моделях, многокритериальные методы при объективных моделях и многокритериальные методы при субъективных моделях).

Постановка задачи. Представим некоторую совокупность методов, используемую на различных этапах построения сценариев в виде системы методов, между элементами которой (в качестве элементов выступают отдельные методы), существуют определенные связи или формы взаимодействия (рис.2). Выявление таких связей и форм взаимодействия между методами с целью формирования процедуры по применению определенной их совокупности будем называть системной технологией выбора методов генерации и анализа сценариев.

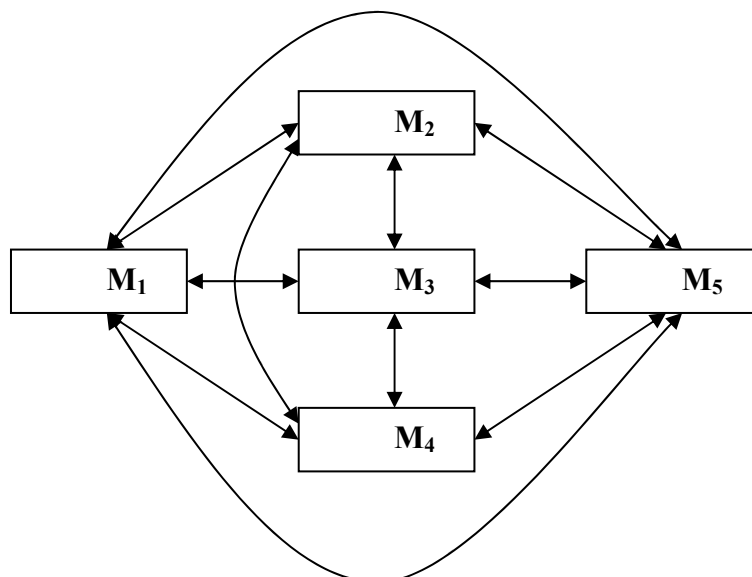


Рис. 2 Системное представление методов в виде ориентированного графа

Математически строго задачу выбора (В) можно описать парой: $V = \langle M, O \rangle$, где априори задано $M = \{M_i\}$, $i = 1, n$ – множество исходных методов генерации и анализа сценариев (M), O – принцип оптимальности, задаваемый лицом, принимающим решение (ЛПР) из совокупности требований по допустимости ($O_{доп.}$) и критериальных требований (далее критериев), причем $O = O_{доп.} \cup O_{кр.}$, $O_{доп.} \cap O_{кр.} = \emptyset$. Требования по допустимости $O_{доп.}$ представляют собой требования к характеристикам объектов (методов) выбора (В) посредством отношений R-типа: $R = \{=, \neq, <, >, \leq, \geq, \langle \rangle\}$.

Критерии $O_{кр.}$, формируемые ЛПР, отображают его целевые устремления с учетом информационного обеспечения на данном этапе процедуры выбора. Решением задачи выбора (В) будем называть подмножество $M_{opt} \in M$, полученное с помощью принципа оптимальности O в следующей последовательности:

$$M \rightarrow M_{доп.} \rightarrow M_{opt.}$$

$$\begin{matrix} \uparrow & \uparrow \\ O_{доп.} & O_{кр.} \end{matrix}$$

то есть вначале выделяется множество допустимых методов $M_{\text{доп}}$, удовлетворяющих требованиям по допустимости, а затем уже на этом усеченном множестве проводится выбор методов по критериям $O_{\text{кр}}$. Рассмотренная процедура выбора методов была положена в основу построения ряда системных технологий некоторые из которых рассмотрим более подробно.

Системная технология выбора методов генерации информации на основе текстологического подхода. Методы генерации информации, используемые экспертами при построении сценариев в качестве инструментальных имеют как правило, качественный характер, что не позволяет формализовать взаимосвязи между ними аналитически. Поэтому одним из подходов, позволяющим сформировать системную технологию выбора последовательности их применения может быть подход на основе использования текстологических моделей извлечения знаний, основанных на изучении текстов.

Среди методов извлечения знаний этот подход является наименее разработанным, по нему отсутствует библиография поэтому для его краткого изложения воспользуемся положениями изложенными в [3]

Задачу извлечения знаний из текстов можно сформулировать как задачу понимания и выделения смысла текста, и представить следующей схемой:

$$M_1 \rightarrow V \rightarrow T \rightarrow I \rightarrow M_2,$$

где M_1 – смысл который пытался заложить автор, его модель мира, M_2 – смысл который постигает читатель в процессе интерпретации I , при этом T (текст) – словесное представление M_1 , то есть результат вербализации V .

Рассмотрим подробнее какие источники питают модель M_1 и создают текст T . В работе [3] такая модель представлена в виде:

$$M_1 = (\alpha, \beta, \gamma, \delta, \theta)_L,$$

где α – первичный материал наблюдений; β – система научных понятий в момент создания текста; γ – субъективные взгляды автора, результат его личного опыта; δ – некоторые “общие места” в тексте; θ – заимствования из других источников (статей, монографий) и т.д.. При этом все перечисленные компоненты погружены в языковую среду L . Основным моментом понимания текста является формирование некоторой смысловой структуры текста за счет установления внутренних связей между отдельными важными (ключевыми) словами и фрагментами, а также за счет абстрактных понятий, обобщающих конкретные фрагменты знаний. При этом смысловая структура текста формируется посредством выделения «опорных», ключевых слов или «смысловых вех», которые связываются в единую семантическую структуру. Таким образом, процесс понимания (или интерпретации) I и модель M_2 определяются следующими компонентами [3]:

$$M_2 = [(\alpha, \beta, \gamma, \theta), \omega, \varepsilon, \varphi],$$

где $(\alpha, \beta, \gamma, \theta)$ – экстракт компонентов, почерпнутый из текста T ; ω – предварительные знания аналитика о предметной области; ε – общенаучная эрудиция аналитика; φ – его личный опыт.

Процесс I – это сложный, не поддающийся формализации процесс, в основе которого лежит процедура разбивки текста на части («смысловые группы»), а затем компрессия (сжатие) текста в виде набора ключевых слов (НКС), передающих основное содержание текста. В качестве НКС могут служить любые части речи (существительное, прилагательное, глагол и т.д.) или их сочетаний.

На основании изложенного, рассмотрим одну из возможных технологий выбора методов качественного анализа, и представим её таблицей 1.

При этом в качестве критерия, на основе которого была сформирована последовательность применения данных методов являлось, было установление смысловых связей между понятиями в их описании.

Технологии выбора методов качественного анализа

Методы генерации информации качественного характера	Решаемые задачи	Дополнительные методы или информационные ресурсы
1. Аналогий	Поиск прототипа, принципов решения проблем	Информация из архивов, метод контрольных вопросов
2. Контрольных вопросов	Поиск путей решения проблем	-
3. Эвристических приемов	Преобразование прототипа, разрешение противоречия	Фонды эвристических приемов (индивидуальные, специализированные, межотраслевые)
4. Мозговой атаки (мозговой штурм, синектические методы)	Коллективный поиск идей, решений, предложений, проведение аналогий	Методы: аналогий, контрольных вопросов, эвристических приемов
5. Морфологического анализа	Анализ функциональных возможностей, варианты решений, их классификаторы и др.	Метод эвристических приемов
6. Написание сценария (дерево целей, прогнозный граф)	Системное прогнозирование всех аспектов генерации ОИМ	Метод морфологического анализа, информация, сгенерированная другими методами

Системная технология формирования альтернативных стохастических графов.

Развитие сценарного подхода привело к разработке двух основных взаимосвязанных между собой методов : прогнозного графа и «дерева целей», которые характеризуются альтернативным и стохастическим характером.

Это обстоятельство обуславливает адекватность моделирования этапов создания сценариев с помощью альтернативных стохастических графов.

Необходимо отметить, что преобразование, например, дерева целей в альтернативный граф не является алгоритмической проблемой, а выполняется на экспертном уровне. Тем не менее на основе анализа и последующего определения основных типов вершин дерева целей, может быть создан инструментарий, помогающий экспертам в автоматизированном режиме строить альтернативные графы, отображающие различные сценарии. В целом модель разработки альтернативных графов может быть организована как некоторая суперпозиция связанных между собой вершин различных типов.

Простейшими в данной модели являются вершины графа, на входе и выходе которых реализуются логические условия \wedge (\wedge - логическая операция «и»).

Для отображения различного рода альтернатив на входах и выходах вершин могут быть использованы логические условия \wedge , \vee , $\bar{\vee}$ ($\bar{\vee}$ - логическая операция, исключающая «или»). Причем любой тип входа может быть скомбинирован с любым типом выхода. Проведенный анализ рассматриваемых моделей показывает, что для отображения альтернативных ситуаций в реальном процессе среди всех типов вершин, которые образуются различной комбинацией входов и выходов, достаточно выбрать шесть следующих типов :

$$\wedge \in \wedge, \wedge \in \vee, \wedge \in \bar{\vee}, \vee \in \wedge, \vee \in \vee, \vee \in \bar{\vee}$$

Запись типов вершин в приведенном виде рассматривается таким образом. Для произвольной вершины e графа имеются логические условия на входе и выходе.

Например, тип $\bigwedge_e \bigvee$ означает, что на входе e имеет место условие «и», т.е. вершина e считается свершенной после окончания всех работ, непосредственно предшествующих ей;

условие \bigvee_e на выходе вершины e означает, что будет реализовываться одна и только одна работа из всех работ, исходящих из неё.

При реализации разработки встречаются ситуации, когда дальнейшее осуществление процесса, т.е. выполнение исходящих из событий дуг-работ существенно зависит от реализации дуг на входе событий. Для отображения таких ситуаций вводится дополнительно два типа вершин:

$$\bigvee_e (\bigvee P_i), i \in \Gamma_e^-;$$

$$\bigvee_e \bigvee (P_i), i \in \Gamma_e^+,$$

где Γ_e^- - множество событий, из которых исходят работы, входящие в вершину e ;

$\bigvee_e \bigvee (P_i)$ – обозначает тип вершины, реализация которой на выходе зависит от реализации дуги i на входе события e с данным логическим условием; Γ_e^+ - множество событий (вершин), которые исходят из вершины e .

Таблица 2.

Кодировка входа	Логические возможности на входе	Обозначения
1.	Логическая операция \bigwedge	\bigwedge_e
2.	Логическая операция \bigvee	\bigvee_e
3.	Логическая операция \bigvee вводится только для приведения графа к одной конечной вершине	\bigvee_e
Логические возможности на выходе		
1.	Логическая операция \bigwedge	$e \bigwedge$
2.	Логическая операция \bigvee , $\sum P_{e,j} = 1, j \in \Gamma_e^+$ Логическая операция \bigvee , $0 < P_{e,j} \leq 1$ для всех $j \in \Gamma_e^+$	\bigvee_e $e \bigvee$ $e \bigvee$
3.	Логическая операция \bigvee , реализация на выходе зависит от реализации дуги (i,e) на входе события e , $0 < P_{e,j} \leq 1$ для всех $j \in \Gamma_e^+, i \in \Gamma_e^-$	$e \bigvee (P_i)$
4.	Логическая операция \bigvee , реализация на выходе зависит от реализации дуги (i,e) на входе события e , $\sum P_{e,j} = 1$ для всех $j \in \Gamma_e^+, i \in \Gamma_e^-$	\bigvee_e $e \bigvee (P_i)$
5.	Логическая операция \bigvee , реализация на выходе зависит от реализации дуги (i,e) на входе события e , $\sum P_{e,j} = 1$ для всех $j \in \Gamma_e^+, i \in \Gamma_e^-$	$e \bigvee (P_i)$

Перечисленные типы вершин, вообще говоря, исчерпывают различные ситуации, возникающие на начальных стадиях процесса разработки сценариев, допускающие альтернативу, но модель позволяет использовать не только указанные типы вершин, но и любую комбинацию из входов и выходов, приведенных в таблице 2.

Таким образом, рассмотренный системный подход основан на представлении процесса создания сценария в виде многовариантного альтернативного стохастического

графа, в котором в той или иной комбинации применяются восемь типов вершин, отображающих различные ситуации в разрабатываемых сценариях.

Системная технология выбора вероятностно-статистических методов

Рассмотрим один из возможных подходов системного использования статических методов. При этом в качестве критериев выбора будем рассматривать априорные информационные уровни задания функции распределения вероятностей, которая является полной характеристикой измеряемых случайных величин (табл. 3). Рассмотрим данные уровни более подробно [5]:

1. Задание строгих параметрических моделей распределения вероятностей F (нормального, равномерного, пуассоновского, экспоненциального и др. законов) обеспечивается объединением следующих информационных составляющих в символах алгебры логики:

$$F \sim I_1 \wedge I_2 \wedge I_3 \wedge I_4,$$

где F – функция распределения вероятностей; I_1 – информация об общей схеме (механизме) формирования случайных величин данной природы; I_2 – область значений случайной величины; I_3 – примеры реальных признаков, подчиняющихся данному закону; I_4 – аналитическое задание (модель) закона и его определяющие параметры.

В данной ситуации для обработки измерительных данных могут быть использованы методы параметрической статистики для решения задач (табл. 3).

2. Задание полной окрестности параметрических моделей распределения вероятностей базируется на том, что распределения реально наблюдаемых случайных величин в подавляющем большинстве отличны от строгих параметрических моделей (например, от нормальных или гауссовских).

Такие модели можно охарактеризовать как "искаженные" параметрические модели (например, от тяжелые "хвосты", многомодальность, резко выраженные асимметрия или эксцесс). Такие искажения обязаны своим появлением наличием, как правило, в исследуемых выборках данных определенной доли (обычно относительно небольшой) так называемых "засоряющих" значений. Формально такие модели представляются симметричными и несимметричными смесями распределения вероятностей соответственно [4]:

$$F(x) = (1 - \varepsilon)\varphi(x; a; \sigma_0^2) + \varepsilon\varphi(x; a; \sigma_1^2)$$

$$F(x) = (1 - \varepsilon)\psi(x; \theta; \sigma) + \varepsilon\hat{h}(x; a; \sigma_1^2),$$

где $\varphi(x; a; \sigma_0^2)$ – плотность нормального распределения со средним значением a и дисперсией σ_0^2 ; ε – доля "засоряющих" наблюдений; $\sigma_0^2 < \sigma_1^2$; θ – параметр сдвига; \hat{h} – плотность некоторого симметричного закона распределения.

Для рассмотренных моделей целесообразно использовать методы робастной (устойчивой) статистики с целью получения несмещенных (малосмещенных) и эффективных оценок параметров положения и масштаба (табл.3).

3. Задание только различий между распределениями вероятностей рассматривается в рамках непараметрической статистики, которая не делает предположений о том, что функция распределения результатов наблюдений принадлежит тем или иным параметрическим семействам распределений.

Поэтому самым характерным для непараметрической статистики является то, что в ее задачах распределение вероятностей считается полностью неизвестным, а сами задачи формулируются в терминах только различий между классами или внутри класса неизвестных распределений.

Таблица 3.

Уровень априорного информационного обеспечения	Задание строгих параметрических моделей распределения вероятностей	Задание полной окрестности параметрических моделей распределения вероятностей	Задание только различий между распределениями вероятностей
Характер статистических методов	Методы параметрической статистики	Методы робастной статистики	Методы непараметрической статистики
Основные решаемые задачи	Оценивание параметра положения. Оценивание параметра масштаба. Задачи оценивания других числовых характеристик законов распределения.	Получение несмещенных (малосмещенных) и эффективных оценок параметров положения и масштаба. Задачи устойчивого оценивания других числовых характеристик распределений вероятностей.	Проверка непараметрических гипотез: задача согласия; задача сдвига (расположения); задача расположения и симметрии; задача масштаба и др.

Одной из наиболее развитых и распространенных категорий непараметрических задач является проверка непараметрических гипотез. Рассмотрим одну из них, которая получила название задачи согласия. Пусть задано известное непрерывное распределение $F(x)$. Из неизвестного распределения $G(x)$, принадлежащего классу всех распределений, берется выборка x_1, x_2, \dots, x_n . Формируются гипотезы:

нулевая гипотеза $H_0 : F = G$ – простая гипотеза;

альтернатива $\left. \begin{array}{l} \text{а) } H_1^+ : F < G \\ \text{б) } H_1^- : F > G \end{array} \right\}$ – односторонние гипотезы;

в) $H_1 : F \neq G$ – двусторонняя гипотеза

Для наглядности все приведенные рассуждения представлены в форме таблицы 3.

В заключении необходимо отметить, что изложенный материал не претендует на полноту изложения затронутой проблемы, тем не менее, предложенные подходы по мнению авторов могут представить интерес для специалистов различных сфер деятельности.

This paper is description system methodology of development screenplays. The task of purposes system methodology for development screenplays apply different instrumental methods.

1. М.З.Згуровський Системна методологія передбачення – Київ: "Політехніка", 2001. - 49 с
2. М.З.Згуровський , Н.Д. Панкратова Технологическое предвидение.-Київ: "Політехніка", 2005. - 154 с.
3. Т.А.Гаврилова, В.Ф.Хорошевский Базы знаний интеллектуальных систем.-СПб.:Питер, 2001.-384 с.
4. Устойчивые статистические методы оценки данных./ Под редакцией Н.Г.Волкова; Пер.с английского Ю.А.Малахова.-М.:Машиностроение, 1984.-232 с.
5. И.И.Коваленко, А.П. Гожий, Т.В. Пономаренко Системный подход к выбору методов анализа сложных физических систем// Материалы международной научн. Конференции ISDMIT-2005, Евпатория, 2005, с.75-78.

УДК 681.5

МОДЕЛЬ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБМЕНА В АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ДВУХУРОВНЕВОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Козак Ю.А. Колчин Р.В.

Введение. Автоматизация управления запасами материальных ресурсов, в современных логистических системах является актуальной, многоплановой задачей. Актуальность данного процесса определяется прежде всего жесткими требованиями предъявляемыми к оперативности управления запасами, необходимостью переработки в краткие сроки больших потоков самой разнообразной информации, многообразием номенклатуры материальных ресурсов, сложностью самой логистической системы и т.д. Естественно, что человек в силу ограниченности своих психофизиологических возможностей не в силах справиться с данной задачей без применения средств автоматизации управления в виде АСУ запасами материальных ресурсов.

Одной из важнейшей задачей, возникающей в процессе проектирования АСУ запасами материальных ресурсов является разработка математического и информационного обеспечения системы обеспечивающего наибольшую эффективность ее функционирования. Данные обеспечивающие подсистемы реализуются как правило в виде комплекса моделей управления запасами материальных ресурсов.

Анализ предшествующих публикаций. Анализ известного научно-методического аппарата исследования процессов управления запасами показывает, не полную состоятельность попыток реализации подхода к разработке некоей универсальной модели управления запасами в силу существенной специфичности той или иной конкретной задачи, многообразия и сложности реальных логистических систем. Тем не менее, имеет смысл привести краткий анализ наиболее распространенных, концептуальных моделей управления запасами для более четкой и логичной формулировки направлений решения поставленной задачи. Естественным желанием исследователей логистических систем является получение сравнительно простых формульных соотношений позволяющих рассчитать оптимальные запасы и (или) сроки их пополнения на планируемый период. К наиболее распространенным и простым в существующей литературе по управлению

$$Y = \sqrt{\frac{2\mu g}{s}}$$

$$T = \sqrt{\frac{2g}{\mu s}}$$

где Y – оптимальный размер запаса,
 T – оптимальная периодичность пополнения запаса,
 g – фиксированные расходы, связанные с запуском производства,
 s – интенсивность поставок,
 μ – интенсивность потребности.

Данные формулы применимы для логистических систем с детерминированной и стационарной потребностью и поставкой. Если анализ реальной логистической системы позволяет свести ее без ощутимого ущерба к такому идеализированному варианту то предлагаемое решение дает достаточно удовлетворительный результат. Однако, реальные логистические системы вполне сложны и кроме того слабо детерминированны.

Несколько более гибкой моделью [1, 2] учитывающей стохастичность потребности однако не учитывающей изменение потребности во времени (т.е. запас создается на некоторый промежуток времени) является модель вида

$$L_T = s \int_0^Y (Y - x) f(x) dx + p \int_Y^{\infty} (x - Y) f(x) dx + c(Y - z),$$

где L_T – математическое ожидание затрат в системе за период T
 x – случайная потребность за период T , с функцией распределения $f(x)$,
 z – запас в системе к началу операции (переходящий запас),
 Y – запас после пополнения (текущий запас),
 s – затраты на хранение единицы запаса,
 p – затраты от дефицита единицы материала,
 c – затраты на создание единицы запаса.
 Минимизация L_T по Y дает для нахождения оптимального значения Y уравнение

$$F(Y^*) = \frac{p - c}{p + s},$$

где $F(x)$ – интегральная функция распределения потребности за период T ,
 Y^* – математическое ожидание оптимального размера запасов который необходимо создавать на период T .

Зная аналитическое выражение для плотности распределения потребности, легко получить также аналитическое выражение для определения оптимального запаса. Тем не менее, данный подход хоть и рассчитан на применение в стохастических логистических системах, но все же в весьма упрощенном и ограниченном варианте.

Постановка задачи. Рассмотренные математические модели достаточно хорошо описывают управление запасами в простейших логистических системах с одним складом и одним потребителем. В тоже время современные логистические системы, как известно, обладают гораздо более сложной структурой включающей несколько уровней складов с запасами материальных ресурсов, территориально распределенной совокупностью поставщиков и потребителей, взаимосвязанных между собой сложной сетью материальных потоков. Кроме того, эффективное функционирование логистической системы предполагает наличие интенсивного информационного обмена между различными элементами системы являющимися как поставщиками, так и потребителями самой разнообразной информации.

Таким образом, указанные математические модели не совсем полно описывают процессы управления запасами материальных ресурсов в реальных логистических системах и не отражают процессы информационного обмена протекающих в процессе их функционирования, а потому не могут служить основой для разработки математического и прежде всего информационного обеспечения рассматриваемой АСУ.

Данный вывод обусловил необходимость исследования процессов информационного обмена в логистических системах с целью разработки адекватных информационных моделей составляющих основу информационного обеспечения АСУ запасами материальных ресурсов.

Основная часть. Построение информационной модели как правило начинается с исследования существующих и проектируемых информационных потоков системы управление и определение их основных характеристик. С этой целью, прежде всего необходимо провести анализ структуры управляемой и управляющей систем и построение модели информационного обмена в АСУ, которое проектируется.

Исследование процесса информационного обмена в АСУ предполагает применение метода декомпозиции как составной системного подхода.

Метод декомпозиции позволяет разложить начальную исследуемую систему (в данном случае АСУ на более простые объекты - типовые группы потребителей (ТГ) информации, как правило, такой же природы (структуры), как и начальная система,

причем, совокупность этих более простых типичных групп потребителей (объектов или систем) эквивалентна структуре начальной системы.

Хотя в общем случае методология разделения начальной сложной информационной системы на более простые типовые группы базируется на ее графическом представлении, определение типичной группы пользователей, которое позволяет со временем построить модель информационного обмена в АСУ, может быть осуществлено, как правило, на основе только физических соображений.

Типовая группа (ТГ) потребителей системы есть структура, предназначенная для решения определенных (в ряде случаев - специфических) задач, которая построена в функциональном и организационном отношении в виде многоуровневой (многоступенчатой) схемы, где функции управления распределены между соподчиненными уровнями. В данном случае это может быть какая либо группа лиц (логистиков), решающая задачи по обеспечению локально расположенной группы потребителей материальных ресурсов. Общий вид организации типичной группы потребителей приведен на рис. 1, где количество соподчиненных уровней складов N ограничен величиной $N=2$. Третий уровень составляют потребители.

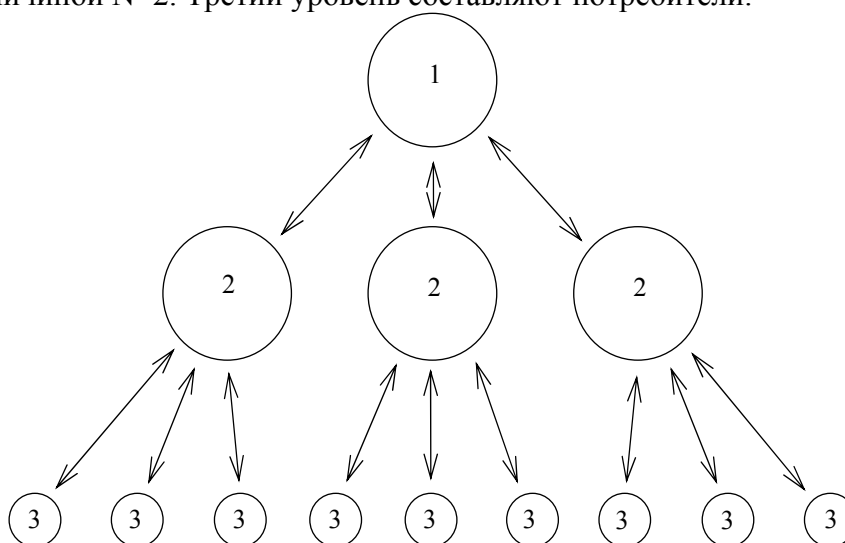


Рис. 1 Иерархическое представление типовых групп потребителей в составе АСУ запасами материальных ресурсов

Данная схема типична, для двухуровневой логистической системы, в которой логистики первого и второго уровней имеют в своем распоряжении склады с запасами материальных ресурсов, а логистики третьего уровня решают задачи окончательного распределения материальных ресурсов между потребителями.

Исходным понятием для построения моделей процессов информационного обмена в АСУ, есть понятие локальной типовой группы потребителей, определенной в теоретико-множественных сроках. На этом уровне типовая группа потребителей, как система с конкретной архитектурой (рис. 1), определяется языком теории множеств: любая система S может быть представлена в виде декартового произведения [6]

$$S \subset \prod_{i \in N} U_i, \quad (1)$$

где N - множество индексов; U_i - компоненты декартового произведения, которые являются объектами исследуемой системы S .

При построении модели обмена информацией в типичной группе потребителей основной интерес представляют такие объекты U_i системы S , как входной $U_1=Y_{вх}$ и исходный $U_2=Y_{вых}$ информационные потоки. В этом случае типичная группа пользователей, будучи информационной системой S , может быть определена следующим отношением

$$S \subset (Y_{вх} \times Y_{вых}), \quad (2)$$

здесь множества

$$Y_{вх} = \prod_{i \in N_{вх}} Y_{вх}(i); Y_{вых} = \prod_{i \in N_{вых}} Y_{вых}(i) \quad (3)$$

обозначают информационные потоки, соответственно, на входе и выходе системы S (типичной группы потребителей), причем $N_{вх} \subset N$ и $N_{вых} \subset N$ образуют разбиение множества индексов N , то есть $N_{вх} \cap N_{вых} = \emptyset$ и $N_{вх} \cup N_{вых} = N$. Такая система есть системой типа "вход-выход".

Представление ТГ потребителей, как системы S , в виде отношения (2) есть предельно общим и целиком согласованное с природой системных исследований, направленных на выяснение организации и информационной связи элементов (подразделений) системы, а не на изучение каких-нибудь конкретных механизмов в рамках данной ограниченной реальности. Даже в условиях неопределенности, если систему, которая исследуется, удастся описать лишь словесно, все словесные утверждения снова определяют отношения вида (2).

Для анализа процессов обмена информацией в локальной типичной группе потребителей (рис.1) целесообразно рассмотреть вопрос информационного взаимодействия его подразделений (подсистем), организационное соединение которых и образует типичную группу как систему вообще. В этом случае необходимо ввести понятие класса подсистем (подразделений ТГ), которые соединяются (в информационном значении), а потом на нем уже определить разные модели информационного взаимодействия.

На основе соотношения (2) любая i -ая подсистема S_i (подразделение ТГ потребителей) с объектами $Y_{вх}(i)$ и $Y_{вых}(i)$, что входит в состав произвольного уровня ТГ, определяется, как

$$S_i \subset (Y_{вх}(i) \times Y_{вых}(i)), \quad (4)$$

где объекты системы являются множества

$$Y_{вх}(i) = \prod_{j \in N_{вх}(i)} y_{вх}(i, j); Y_{вых}(i) = \prod_{j \in N_{вых}(i)} y_{вых}(i, j). \quad (5)$$

В общем случае некоторые, но далеко не все компоненты множеств $U_{вх}(i)$, $U_{вых}(i)$ могут служить для реализации информационных соединений.

Выводы. Рассмотренные в статье теоретико-множественные, математические соотношения, представляют собой обобщенную (концептуальную) модель информационного обмена двухуровневой логистической системы в процессе управления запасами материальных ресурсов. Данная модель отражает общую схему информационных потоков в типовой группе потребителей информации которыми как

правило является персонал логистической системы и потребители материальных ресурсов. В тоже время, отдельные ТГ можно рассматривать в качестве неделимых элементов ТГ более высоких уровней, что позволяет масштабировать модель информационного обмена в процессах управления запасами логистической системы произвольной степени сложности при условии однотипности (в данном случае иерархичности) структуры составляющих ее подразделений.

In terms of theoretical-plural approach, the conceptual model of informative exchange is considered in the automated inventories control system of material resources in the two-level logistic system. This model can be used as basis for development of software to ACE by the supplies of material resources informative and in the logistic system of the type.

1. Рыжиков Ю.И. Управление запасами. – М.: Наука, 1969. – 344 с.
2. Зайченко Ю.П. Исследование операций. – К.: Вища школа, 1979, – 332 – 345 с.
3. Wilson R.H., A scientific routine for stock control, Harvard business review. v. 13. 1934. №1.–128 с.
4. Буслеко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1977, – 227 с.
5. Окландер М.А. Маркетинг и логистика в предпринимательстве. – Одесса: АПНТ и ЭИ, 1996, – 104 с.
6. Месарович М.Д. Такахара Я. Общая теория систем: Математические основы. – М.: Мир, 1978, – 21–23 с.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ ИАСУП С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА ВЕРОЯТНОСТНОЙ ЛОГИКИ

Нагорный Ю.И.

Введение. В последние годы наблюдаются тенденции построения интегрированных автоматизированных систем управления производством ИАСУП. Состав ИАСУП образуют подчиненные единым целям функциональные подсистемы: АСУ организационного управления (АСУОУ); автоматизированная система управления научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими работами (АСУНИОКР), куда могут входить как составляющие части система автоматизированного проектирования (САПР), автоматизированная система научных исследований (АСНИ) и автоматизированная система технологической подготовки производства (АСТПП); автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУТП), состоящая из автоматизированной транспортно-складской системы (АТСС), автоматизированной системы инструментального обеспечения (АСИО), системы автоматизированного контроля качества (САК), а также системы автоматизации технологических процессов.

Отсюда возникает необходимость разработки и широкого внедрения методов автоматизированного моделирования надежности ИАСУП, которые должны обеспечивать возможность оперативной оценки надежности вариантов разрабатываемой системы. Известные и часто применяемые в практике проектирования ИАСУП методы расчета надежности имеют ряд недостатков. Они обусловлены трудностями математического описания сложной иерархической структуры ИАСУП и зависимостей, определяющих взаимодействие подсистем в процессах ее функционирования.

Поэтому актуальной является задача разработки машинно-ориентированных методов перехода от описания исходной структуры к ее математической модели с использованием модифицированного варианта метода вероятностной логики, который позволяет проводить анализ надежности структур ИАСУП.

Анализ последних достижений и публикаций. Известные методы анализа и оценки надежности на языке марковских процессов предполагают выполнение следующих процедур [1,2]: от исходной структуры осуществляется переход к графу состояний, от графа – к дифференциальным уравнениям Колмогорова и через преобразования Лапласа каждого из них – к системе алгебраических уравнений. Эти сложные математические преобразования громоздки и трудоемки.

Одним из применяемых на практике методов являются: методы теории Марковских процессов, графоаналитические, логико-статистические и метод вероятностной логики [3,4]. Применение известных методов приводит во многих случаях к громоздким преобразованиям и вычислениям.

Постановка задачи. Несмотря на разнообразие применяемых методов решения задачи анализа надежности ИАСУП можно сформулировать общую формальную постановку задачи перехода от описания исходной структуры ИАСУ к ее математической модели.

Пусть задана система S со структурой в виде неполного смешанного графа $G(V, X)$, где $V = \{n_1, n_2, \dots, n_n\}$ - множество вершин графа a , $X = \{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ - множество ветвей графа, состоящая из конечного множества функциональных подсистем a . Необходимо определить функцию надежности $P(S)$ системы, считая функцией

работоспособности $F(a_1, a_2, \dots, a_i)$ функциональных подсистем наличие хотя бы одного пути Π_{n_i, n_k} между заданными вершинами n_i и n_k графа $G(V, X)$.

Применение аппарата вероятной логики предполагает синтез конечной вероятности модели $M = (U, A, P)$ функционирования системы, где U - множество элементарных событий u_i , являющихся математическим описанием внутренних элементарных процессов (возникновение отказов функциональных устройств), которые происходят в системе S :

$A = (A, V, L, -)$ - алгебра событий на множестве U с заданной совокупностью операций объединения (V), пересечения (\wedge), дополнения ($-$);

P - вероятная мера на алгебре событий.

Опишем состояния всех функциональных подсистем a_i системы S , соответствующих вершинам и ветвям графа G логической переменной y_i , возможными значениями которой являются 1 или нуль, т.е.

$$y_i = \begin{cases} 1, & \text{если } a_i \text{ функциональная подсистема функционирует,} \\ 0, & \text{если } a_i \text{ функциональная подсистема отказала.} \end{cases}$$

Пусть каждая логическая переменная y_i характеризуется некоторой вероятностью $p(y_i)$, а дополнение \bar{y}_i - вероятностью $q(y_i) = 1 - p(y_i)$.

Вероятная модель $M = (U, A, P)$ на множестве U в терминах операций объединения, пересечения и дополнения алгебры событий A позволяет описывать любые сложные события, в том числе функцию работоспособности в виде логической функции $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ от переменных, например, в произвольной дизъюнктивной нормальной форме.

На основе логической функции $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$, учитывая, что известны вероятности $p(y_i)$ и $p(\bar{y}_i)$, необходимо определить функцию надежности всей системы. Следовательно, задача анализа надежности системы S со структурой в виде смешанного графа $G(V, X)$ решается в два этапа: синтез логической функции надежности $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ в произвольной дизъюнктивной нормальной форме; вычисление вероятности безотказной работы системы S на основе логической функции $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$, т.е. определение $P(S) = R[F(y_1, y_2, \dots, y_n)]$, где R обобщенный оператор логического преобразования функций $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ и алгебраических операций вычисления надежности.

Рассмотрим алгоритм формирования логической функции надежности $F(y_1, y_2, \dots, y_n)$ системы S , представленной графом $G(V, X)$. Будем считать, что граф G , все вершины которого являются абсолютно надежными, задан матрицей связности M_c , являющейся матрицей $n \times n$. Ее элементы определяются следующим образом:

$$m_{i,j} = \begin{cases} x_k(i, j), & \text{если } \{n_i, n_k\} \in V \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases}$$

где $\{n_i, n_k\}$ - ориентированная или неориентированная ветвь между вершинами графа $G(V, X)$.

Рассматриваемая матрица связности смешанного графа $G(V, X)$ в отличие от общепринятой связности имеет следующую особенность: столбцы и строки расположены таким образом, что начальная вершина n_i соответствует первой строке и столбцу, а конечная вершина n_k соответствует второй строке и столбцу. На рис.1, где приведена

система S со структурой в виде смешанного графа G(V,X), для простоты начальная вершина обозначена индексом 1, а конечная индексом 2.

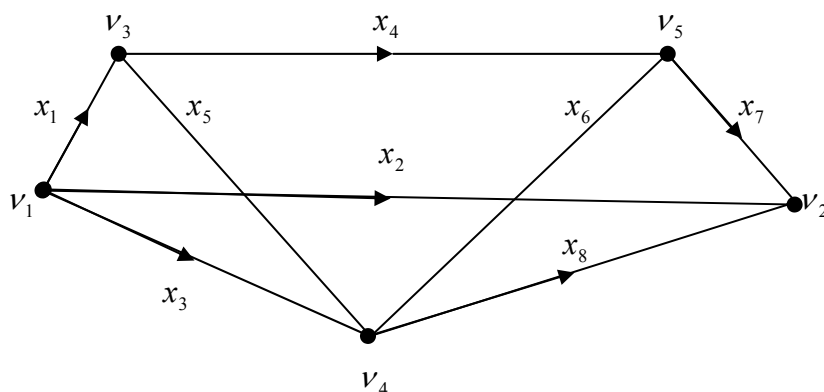


Рис. 1

Для данной системы матрица связности:

$$M_C^0 = \begin{matrix} & \begin{matrix} H_1 & H_2 & H_3 & H_4 & H_5 \end{matrix} \\ \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \\ H_5 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & x_2 & x_1 & x_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & x_5 & x_4 \\ 0 & x_8 & x_5 & 0 & x_6 \\ 0 & x_7 & 0 & x_6 & 0 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

Для вычисления функции надежности $F(x_1, \dots, x_8)$ преобразуем элементы m_{ij}^0 матрицы M_C^0 и формируем новую матрицу M_C^1 следующим образом:

$$m_{ij}^k = m_{ij}^{k-1} \vee m_{in}^{k-1} \cdot m_{nj}^{k-1}, \quad i, j = 1, 2, \dots, (n-1), \quad (1)$$

где $k=0$ определяет исходную матрицу M_C^0 , а $k=1, 2, \dots$, последующие матрицы M_C^k , формируемые на основе исходной.

Шаги преобразования матриц $M_C^0 \rightarrow M_C^1 \rightarrow \dots \rightarrow M_C^k$ повторяются до тех пор, пока не получим матрицу с размером 2×2 , где элемент m_{12} будет соответствовать искомой логической функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

На основании выражения 1, используя исходную матрицу M_C^0 получаем элементы новой матрицы:

$$M_C^1 = \begin{matrix} & \begin{matrix} H_1 & H_2 & H_3 & H_4 \end{matrix} \\ \begin{matrix} H_1 \\ H_2 \\ H_3 \\ H_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 0 & x_2 & x_1 & x_3 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & x_1 x_7 & 0 & x_5 \vee x_4 x_6 \\ 0 & (x_6 x_7 \vee x_8) & x_5 & x_6 \end{bmatrix} \end{matrix}.$$

После 1-го шага преобразования для всех $i, j=1, 2, 3, 4$ получим новую матрицу размером 4×4 :

$$M_C^1 = \begin{bmatrix} & H_1 & H_2 & H_3 & H_4 \\ H_1 & 0 & x_2 & x_1 & x_3 \\ H_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ H_3 & 0 & x_1 x_7 & 0 & x_5 V x_4 x_6 \\ H_4 & 0 & (x_6 x_7 V x_8) & x_5 & x_6 \end{bmatrix}$$

Аналогично после 2-го шага преобразования для всех $i, j = 1, 2, 3$ получим матрицу 3x3:

$$M_C^2 = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & x_2 V x_3 (x_6 x_7 V x_8) & (x_1 V x_3 x_5) \\ H_2 & 0 & 0 & 0 \\ H_3 & 0 & x_4 x_7 (x_5 V x_4 x_6) (x_6 x_7 V x_8) & (x_5 V x_4 x_6) x_5 \end{bmatrix}.$$

На последнем шаге получим матрицу размером 2x2:

$$M_C^3 = \begin{bmatrix} H_1 & 0 & x_2 V x_3 (x_6 x_7 V x_8) (x_1 V x_3 x_5) \times \\ & & \times [x_4 x_7 V (x_5 V x_4 x_6) (x_6 x_7 V x_8)] \\ H_2 & 0 & 0 \end{bmatrix}.$$

Элемент m_{12}^3 определяет множество всех путей между заданными вершинами n_1 и n_2 графа $G(V, X)$ и соответствует искомой логической функции надежности.

$$F(x_1, x_2, \dots, x_8) = x_2 V x_3 (x_6 x_7 x_8) V (x_1 V x_3 x_5) [x_4 x_7 V (x_5 V x_4 x_6) (x_6 x_7 V x_8)].$$

Полученную функцию можно представить в бесскобочной форме, например в произвольной дизъюнктивной нормальной форме

$$F(x_1, x_2, \dots, x_8) = x_2 V x_3 x_8 V x_1 x_4 x_7 V x_1 x_5 x_8 V x_3 x_6 x_7 V x_1 x_4 x_6 x_8 V x_1 x_5 x_6 x_7 V x_3 x_4 x_5 x_7. \quad (2)$$

Преимущество предлагаемого алгоритма состоит в том, что не требуется перемножать матрицы и с каждым последующим шагом размер матрицы уменьшается. Всего необходимо только (n-я) шага, а алгоритм легко реализуется на ЭВМ.

Рассмотрим вычисление вероятности $P(F)$. Обозначим через $A_i, i=1, 2, \dots$ слагаемое функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$. На первом шаге алгоритма преобразования функции F положим, что $F_1(x_1, x_2, \dots, x_n) = A_1$. На следующем шаге сформируем последовательно для $i = 1, 2, \dots, n$ функцию

$$F_{i+1} = F_i V A_{i+1} (\overline{A_1/A_{i+1}} = 1) (\overline{A_2/A_{i+1}} = 1) \dots (\overline{A_i/A_{i+1}} = 1), \quad (3)$$

где F_i - функция $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$ на i -м шаге преобразования;

n - число слагаемых A_i функции $F(x_1, x_2, \dots, x_n)$.

Проведя последовательно указанные преобразования функции (2) в соответствии с выражением (3) получаем:

$$F_1 = A_1 = x_2;$$

$$F_2 = F_1 V A_2 (\overline{A_1/A_2} = 1) = x_2 V x_3 x_8 (\overline{x_2/x_3 x_8} = 1) = x_2 V \overline{x_2} x_3 x_8, \text{ где } A_2 = x_3 x_8;$$

$$F_3 = F_2 V A_3 (\overline{A_1/A_3} = 1) (\overline{A_2/A_3} = 1) = F_2 V x_1 x_4 x_7 (\overline{x_2/x_1 x_4 x_7} = 1) (\overline{x_3 x_8/x_1 x_4 x_7} = 1) = \\ = F_2 V x_1 x_4 x_7 (\overline{x_2}) (\overline{x_3 V x_3 x_8}) = x_2 V \overline{x_2} x_3 x_8 V x_1 x_4 x_7 (\overline{x_2}) (\overline{x_3 V x_3 x_8}),$$

где $A_3 = x_1 x_4 x_7; \quad \overline{A_3} = \overline{x_1 x_4 x_7}; \quad \overline{x_3 x_8} = \overline{x_3 V x_3 x_8}.$

Аналогично, проведя указанные преобразования для $i = 4, 5, 6, 7, 8$ окончательно получаем:

операции алгебраическими

Заменяя в выражении (4) логические

$$F_8 = A_1 \vee A_2 (\overline{A_1/A_2} = 1) \vee A_3 (A_3 (\overline{A_1/A_3} = 1) (\overline{A_2/A_3} = 1) \vee A_4 (\overline{A_1/A_4} = 1) (\overline{A_2/A_4} = 1) \times (\overline{A_3/A_4} = 1) \vee \dots \vee A_8 (\overline{A_1/A_8} = 1) (\overline{A_2/A_8} = 1) \dots (\overline{A_7/A_8} = 1)) = x_2 \vee \overline{x_2} x_3 x_8 \vee x_1 x_4 x_7 (\overline{x_2}) \times \overline{x_3} \vee x_3 \overline{x_8} \vee x_1 x_5 x_8 (\overline{x_2}) (\overline{x_3}) (\overline{x_4} \vee x_4 \overline{x_7}) \vee x_3 x_6 x_7 (\overline{x_2}) (\overline{x_8}) (x_1 \vee x_1 \overline{x_4}) \vee x_1 x_3 x_4 x_6 (\overline{x_2}) (\overline{x_7}) \vee x_1 x_5 x_6 x_7 \times (\overline{x_2} \overline{x_3} \overline{x_4} \overline{x_8}) \vee x_3 x_4 x_5 x_6 x_7 (\overline{x_1}) (\overline{x_2}) (\overline{x_8}). \quad (4)$$

а значения переменных их вероятностью, с учетом равенства $P(x_i) = 1 - P(\overline{x_i})$ получаем выражение для надежности исследуемой системы со структурой в виде графа:

$$P(F) = P(x_2) + [1 - P(x_2)]P(x_3)P(x_8) + P(x_1)P(x_4)P(x_7)[1 - P(x_2)] \times [(1 - P(x_3)) + P(x_3)(1 - P(x_8))] + P(x_1)P(x_5)P(x_8)[1 - P(x_2)][1 - P(x_3)] \times [(1 - P(x_4)) \vee P(x_4)(1 - P(x_7))] + \dots + P(x_3)P(x_4)P(x_5)P(x_6)P(x_7)[1 - P(x_1)] \times [1 - P(x_2)][1 - P(x_8)],$$

где вероятности $P(x_i)$ можно вычислить с помощью соответствующей модели надежности в зависимости от структуры и вида подсистемы обозначенной переменной x_i .

Выводы. Предлагаемые алгоритмы обеспечивают возможность совмещения автоматизированного моделирования надежности ИАСУП с автоматизированным поиском оптимальной структуры.

In the article approach is described to the automated of failsafety automated computer-integrated operations management and optimizations of its functional structure.

1. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности.-М.:Наука,1965.
2. Половко А.М. Основы теории надежности.-М.:Наука,1964.
3. Анализ надежности сложных систем при помощи вероятной логики. -В кн.: Основные вопросы теории и практики надежности.-М.:Сов.радио,1977.
4. Черкесов Г.Н. Анализ надежности сложных систем при помощи вероятной логики. - В кн.: Основные вопросы теории и практики надежности.-М.:Сов.радио,1980.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 519.714

СИНТЕЗ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ БОЛЬШОЙ СИСТЕМОЙ НА ОСНОВЕ КОМПОЗИЦИИ ЛОКАЛЬНЫХ ОПТИМАЛЬНЫХ РЕШЕНИЙ

Балтовский А.А.

Введение. Рыночная экономика в Украине требует новых подходов к управлению: на первый план выходят экономические, рыночные критерии эффективности. Научно-технический прогресс и динамика внешней среды заставляют современные производственные предприятия трансформироваться в более сложные системы, для которых необходимы новые методы управления. Усиление рыночной ориентации предприятий, резкие изменения внешней среды вызывают необходимость разработки конкурентоспособных систем управления, призванных вырабатывать комплексные управленческие решения, а следовательно и более эффективных подходов и алгоритмов решения задач большой размерности.

Работа выполнялась согласно государственной научно-технической программы 6.22 – перспективные информационные технологии и системы планы научной и научно-технической деятельности Одесского ордена Ленина института Сухопутных войск на 2004 год, соответственно к тематике научно-исследовательских работ.

Анализ последних исследований. В настоящее время одним из основных и наиболее эффективных подходов к решению задач управления большой размерности является декомпозиция [1,2]. Этот подход объединяет группу методов, основанных на разложении исходной задачи большой размерности на подзадачи, каждая из которых существенно проще исходной и решается независимо от других. Связь между отдельными подзадачами осуществляется с помощью «координирующей» задачи, которая тоже проще исходной. Для этого задачу управления приводят к виду, удовлетворяющему требованиям декомпозируемости, основными из которых [3,4] являются: аддитивность (сепарабельность) целевой функции; блочный характер ограничений; наличие блочных связей. Однако при решении практических задач синтеза оптимального управления большой размерности зачастую сложно удовлетворить перечисленным требованиям. Например, качество работы производственной системы может оцениваться критерием весьма общего типа, который может быть несепарабельным по отношению к задачам управления отдельными подсистемами. Поэтому при проведении исходной задачи управления к виду, удовлетворяющему требованиям декомпозируемости, неизбежны как различные упрощения, аппроксимации, так и различные варианты разбиения задачи на локальные подзадачи, т.е. блоков ограничений и межблочных связей. Все эти факторы влияют как на качество решения, так и на сложность расчетов при поиске оптимального решения.

Ввиду отсутствия до настоящего времени способов качественной оценки влияния перечисленных факторов на качество решения представляется актуальной разработка такого способа решения задачи большой размерности, который бы оставлял определенную свободу в выборе структуры локальных задач, а также удовлетворяющего и оценивающего влияние различных упрощений на качество решений.

Из анализа литературных источников [5-10] следует, что приемлемые численные методы решения нелинейных задач оптимизации связаны со значительными затратами машинного времени и памяти, а использование линеаризации приводит к потерям качества управления. Поэтому целесообразно, чтобы разрабатываемый новый метод решения

задачи сохранял её нелинейный характер, а оптимальное управление определялось в рамках децентрализованной вычислительной структуры.

Объектом исследования являются алгоритмы решения задач управления большой размерности.

Предметом исследований является разработка подхода, основанного на идее эквивалентности или квазиэквивалентности исходной задачи большой размерности и соответствующей блочной декомпозиционной задачи.

Научная задача состоит в разработке алгоритмов, использование которых обеспечивало бы оптимальное управление в рамках децентрализованной структуры, без необходимости итерационного обмена информацией между уровнями управления.

Целью работы является разработка и дополнение элементов прикладной теории и проблемно-ориентированного инструментария оптимизации задач управления большой размерности.

Научная новизна состоит в разработке подхода к синтезу алгоритмов оптимизации задач управления большой размерности в рамках децентрализованной вычислительной структуры, при которой отпадает необходимость в организации итерационного процесса между уровнями управления.

Основной материал. Пусть, рассматриваемая задача оптимального управления непрерывной динамической системой, определяется дифференциальным уравнением

$$\dot{x} = \frac{dx}{dt} = f[x(t), U(t)], \quad x(t_0) = x_0 \quad (1)$$

по критерию

$$I[U(x)] = \int_{t_0}^{t_f} W[x(t), U(t)] dt, \quad (2)$$

$$f[x(t), U(t)] = 0 \text{ при } X^T = [0, 0, \dots, 0], \quad U^T = [0, 0, \dots, 0]$$

где $x(t) \in X$ - n - мерный вектор управления; $U(t) \in X$ - m - мерный вектор управления; $f[.,.]$ - n - мерная функция, составляющая которой непрерывно дифференцируемы относительно аргументов; $W(\cdot)$ - выпуклая, дифференцируемая скалярная функция; t_0, t_f - заданные соответственно начальный и конечный момент времени.

С целью представления объекта управления (1) в виде ряда взаимодействующих подсистем разложим (1) в ряд Тейлора относительно точки равновесия

$$\dot{x} = A^* x(t) + B^* U(t) + f[x(t), U(t)] - A^* x - B^* U,$$

где $A^* = \left[\frac{\partial f^T}{\partial x} \right]_{\substack{x=0 \\ u=0}}, \quad B^* = \left[\frac{\partial f^T}{\partial U} \right]_{\substack{x=0 \\ u=0}}$

или

$$\dot{x} = Ax(t) + BU(t) + D[x(t), U(t)] \quad (3)$$

В выражении (3) A и B представляют собой блочно-диагональные части матриц A^* и B^* соответственно, с блоками $A_i (m_i \times n_i)$ и $B_i (n_i \times m_i)$.

$$D[x(t), U(t)] = C_1 x(t) + C_2 U(t) + f[x(t), U(t)] - A^* x(t) - B^* U(t),$$

а C_1 и C_2 - недиагональные части A^* и B^* соответственно.

Введением вектора взаимосвязи $\Pi_i(t)$ таким образом, что задаваемая в i - тая составляющая $\Pi_i(t)$ определяется выражением

$$\Pi_i(t) = D_i[x(t), U(t)], \quad (4)$$

можно записать уравнение i - й подсистемы

$$\dot{x}_i = A_i x_i(t) + B_i U_i(t) + \Pi_i(t), \quad x_i(t_0) = x_{i0}, \quad i = \overline{1, P}$$

где $U_i(t)$ - m_i - мерный вектор управления; $x_i(t)$ - n_i - мерный вектор состояния; $\Pi_i(t)$ - n -

мерный вектор взаимосвязи.

Предлагаемый декомпозиционный способ синтеза оптимальных управлений состоит в следующем. Составляющую подсистему

$$\dot{x}_i = A_i x_i(t) + B_i U_i(t), \quad x_i(t_0) = x_{i0},$$

и учитывающую взаимосвязь с другими подсистемами, назовем изолированной.

Композиция i -ых $i = 1, 2, \dots, P$ подсистем представляет модель

$$\dot{x} = Ax(t) + BU(t), \quad x(t_0) = x_{i0}, \quad (5)$$

где $A(n \times n)$ и $B(n \times m)$ - блочно – диагональные матрицы с блоками $A_i(n_i \times n_i)$ и $B_i(n_i \times m_i)$ соответственно.

Сформулируем критерий

$$I_i = \int_{t_0}^{t_f} (x^T Q x + U^T R U + U_0^T R U_0) dt, \quad (6)$$

где $Q(n \times n)$ - положительно – полуопределенная блочно – диагональная матрица

$$Q = \begin{bmatrix} Q_1 & . & 0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & Q_p \end{bmatrix}$$

с блоками $Q_i(n_i \times n_i)$; $R(n \times m)$ - положительно – определенная блочно – диагональная матрица

$$R = \begin{bmatrix} R_1 & . & 0 & . & . & . & 0 \\ . & . & . & . & . & . & 0 \\ 0 & . & . & . & . & . & R_p \end{bmatrix}$$

с блоками $R_i(n_i \times m_i)$, U_0 - оптимальное управление.

Матрицы Q и R определим из условия квазиэквивалентности задач (1) – (2) и (5) – (6), которое имеет вид

$$\mu^* = \min \mu(\epsilon),$$

здесь $\mu^* = \int_{\Omega} |\epsilon|^2 d\Omega$, $\Omega = X \times U$,

$$\begin{aligned} \epsilon &= \{W(x, U) - x^T Q x - U^T R U - U_0^T R U_0 + \lambda^{*T} [f(x, U) - Ax - Bu]\} = \\ &= \{W(x, U) - x^T Q x - U^T R U - U_0^T R U_0 + \lambda^{*T} D(x, U)\}, \end{aligned}$$

где $\lambda^*(U) = -\left(\frac{\partial W}{\partial U}\right)^T \left(\frac{\partial f}{\partial U}\right)^{-1}$.

Для определения элементов матриц, имеем систему алгебраических уравнений

$$\frac{\partial \mu}{\partial q_{ij}} = 0, \quad \frac{\partial \mu}{\partial r_{ij}} = 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, n}. \quad (7)$$

После решения уравнения (7) имеем P независимых задач оптимизации в связи с блочно – диагональной структурой матриц A, Q, R .

$$\frac{dx_i}{dt} = A_i x_i(t) + B_i U_i(t),$$

$$I_i = \int_{t_0}^{t_f} (x_i^T Q_i x_i + U_i^T R_i U_i + U_{i0}^T R_i U_{i0}) dt = \int_{t_0}^{t_f} (x_i^T Q_i x_i + U_i^T R_i U_i + x_{i0}^T M_i x_i) dt.$$

Локальное оптимальное управление имеет вид

$$U_i^0 = -C_i(t)x_i(t), \quad (8)$$

$C_i(t) = -R_i^{-1}B_i^T S_i$, S_i удовлетворяет линейному дифференциальному уравнению [8].

$$\dot{S}_i = -S_i A_i - A_i^T S_i - Q_i, \quad M_i = S_i^T B_i R_i^{-1} B_i^T S_i. \quad (9)$$

Глобальное решение является композицией оптимальных решений

$$U^0 = C_{0\ell} [U_1^0, U_2^0, \dots, U_p^0]. \quad (10)$$

Выводы. Таким образом, задача синтеза оптимального управления для исходной задачи большой размерности (1) – (2) сводиться к следующему: формулировка локальных задач оптимизации (5) – (6); определение параметров локальных задач по формулам (3) и (6); решение локальных задач согласно (8) – (9); композиция локальных решений (10).

Потери качества при оптимальном подходе к синтезу приближенно оптимальных управлений можно оценить по формулам, предложенным в [8].

The new approach to problem solving of control, founded on idea of equivalence an initial problem of large dimension and conforming unitized offcomposite of a problem is offered.

1. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973.
2. Аэсдон Л.С. Оптимизация больших систем. – М.: Мир, 1975.
3. Альбрехт Э.Г. Об оптимальной стабилизации нелинейных систем. – Прикладная математика и механика, 1961, т. 25.
4. Живогляднов В.П., Кривенко В.А. Способ декомпозиции задач управления большой размерности с несепарабельным критерием качества. Тезисы II Всесоюзной межвузовской конференции «Математическое, алгоритмическое и техническое обеспечение АСУ ТП». Ташкент, 1980.
5. Hassan Mohamed, Singh Madan G. The optimization for non – linear systems using a new two level method. “Automatica”, 1976, 12, №4.
6. Mahmoud M.S. Dynamic multilevel optimization for a class of non – linear systems, “Int. J. Control”, 1979, 30, №6.
7. Кривенко В.А. Квазиэквивалентное преобразование оптимизационных моделей в задачах синтеза алгоритмов управления. – В кн.: Адаптация и оптимизация в больших системах. – Фрунзе, 1985.
8. Кривенко В.А. Способ синтеза алгоритмов управления с использованием идеи модификации целевой функции. – Фрунзе, 1985.
9. Румянцев В.В. Об оптимальной стабилизации управляемых систем. – Прикладная математика и механика, 1970, вып. 3.
10. Овезгельдыев А.О., Петров Э.Т., Петров К.Э. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации. – К.: Наукова думка, 2002.

ЭНТРОПИЙНЫЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ
ГРАВИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ.

Марасанов В.В., Забитовская О.И., Щербина Е.В.

Постановка проблемы. Построение баз знаний экспертных систем прогноза спроса является актуальной проблемой и ее решения можно обосновать на аналогии между экономическими и физическими системами, которые являются столь глубокими, что были положены в основу исследования экономических систем и сформированы в виде принципов Ле Шателье – Самуэльсона и Карно – Хикса.

Решение поставленной задачи. Экономические системы относятся к классу систем, в которых детерминированный характер наблюдаемых процессов (усредненные характеристики) сочетается с их стохастической природой. Формальная модель этого класса, которую будем называть макросистемой, описывает преобразование случайных межэлементных микровзаимодействий (товарообмена) в некоторый вполне регулярный процесс (спроса на то (те) или иной (иные) виды продукции).

Тем самым в макросистеме выделяются два уровня: микроуровень, где связи между элементами случайны, и макроуровень, на котором связи между параметрами состояния системы, детерминированные в силу законов сохранения и усреднения. Взаимодействия между уровнями или характер преобразования случайных движений элементов макросистемы в регулярный процесс зависит как от конкретного вида системы, так и от тех экономических закономерностей, сочетание которых определяет ее функционирование. К таким системам можно отнести системы обмена или распределения экономических ресурсов. Обычно такой обмен осуществляется между экономическими ячейками и, в зависимости от степени централизации, принятой в данной экономической системе, может быть как чисто стихийным, так и регламентированным (частично или полностью). Однако как бы ни была степень централизации, экономическая система обмена столь сложна, что (случайные) неуправляемые факторы в ней всегда остаются. Тем самым на «микроуровне» экономической системы происходят обменные взаимодействия между ее элементами, которые имеют как случайную, так и детерминированную компоненты. Вес каждой из них зависит от возможностей вмешательства в единичные акты обмена, совершаемые в данной экономической системе. Если такие возможности отсутствуют, то обмен экономическими ресурсами носит чисто случайный характер. Но несмотря на это, система в целом все-таки приобретает «средний ресурс», то есть в ней происходит преобразование случайного процесса обмена в детерминированный процесс, определяющий ее состояние. Таким образом, в системе экономического обмена существует два существенно отличающихся друг от друга уровня: уровень стохастических межэлементных взаимодействий и уровень детерминированных характеристик поведения системы в целом. Это дает основание использовать макросистемную модель для исследования процессов в системах экономического обмена. Математические модели обмена и экономических рынков были построены в работах Парето, Вальраса, Гейла, Леонтьева, фон Неймана, Эджворта и других. Основное внимание в них уделяется изучению условий равновесия. При этом под равновесием понимается такое состояние, для которого функция полезности системы достигается максимума.

Функция полезности является обобщенной характеристикой системы экономического обмена и определяется на множестве частных функций полезности отдельных ее подсистем. Их формирование обычно не представляет большого труда, тогда как установление связи между функциями полезности отдельных подсистем и системы в целом оказывается задачей не формальной. Одна из гипотез приводит к функции полезности типа энтропии физической системы.

Закономерности, присущие равновесным состояниям в системах экономического обмена, во многом, аналогичны тем, которые имеют место в термодинамических системах. Они оказались столь глубокими и полезными, что были провозглашены в качестве неких общих для термодинамических систем и систем экономического обмена принципов: Ле Шателье - Самульсона, Карно - Хикса и другие.

Изучение равновесия и динамики систем экономического обмена касается только их макроуровня. Здесь имеется в виду, что модели исследования равновесных состояний, их основные характеристики формулируются через макропеременные системы: цена, процент, капитал и так далее. Характер микровзаимодействия описывается лишь качественно и служит для того, чтобы высказать определенные соображения о свойствах функции полезности системы экономического обмена.[1]

Наряду с существующими аналогиями между процессами, происходящими в термодинамических системах, и процессами экономического обмена последние обладают некоторыми специфическими свойствами, которые будут рассмотрены в дальнейшем и сводятся к тому, что гипотеза о том, что состояние равновесия в микросистеме достигается при максимуме ее энтропии, а с другой – что при этом должны выполняться некоторые дополнительные условия, учитывающие конечность ресурса. Прежде чем использовать гипотезу об аналогии термодинамических и экономических процессов введем понятие состояния и распределения. Под состоянием системы будем понимать полное описание системы – это описание микросостояния. Под распределением будем понимать описание макросостояния, которое может задаваться в виде матрицы или многомерной функции плотности вероятности. Наша задача, связана с прогнозированием спроса в конечном итоге, сводится к анализу межрегиональных потоков товаров отражающих реализацию этого спроса.

Предположим, что имеется некоторое множество регионов (предприятий, фирм) i, j, k, \dots , обменивающихся экономическими товарами, причем товары разбиты на группы r, s, p, \dots (продукты питания, сырье, энергоносители и так далее). Межрегиональную транспортную сеть можно описать с помощью стоимостей перевозок отдельных продуктов между регионами и сформулировать задачу в виде экономической гравитационной модели. Кроме того, будем предполагать, что имеется всего один тип коммуникаций (например автотранспорт). Пусть c_{ij}^r -средняя стоимость перевозки единицы продукта типа r из пункта отправления i в пункт назначения j ; c_{ii}^r -средняя стоимость перевозки продукции типа r из пункта отправления, находящегося в i в пункт назначения, находящегося в i (внутригородские перевозки, c_{ij}^r -междугородние перевозки). Пусть x_{ij}^r -полный поток продукта типа r (спрос на продукт r в пункте j , удовлетворяемый пунктом i) измеряемый в единицах, принятых для данной группы продуктов.

Тогда $x_{i*}^r = \sum_j x_{ij}^r$ есть полный объем продукта r , производимый в регионе i .

Аналогично x_{*j}^r -полный объем продукта r , используемый для производства других продуктов или потребления в регионе j (спроса на продукт r в регионе j). Обозначим также через X_i^r и Y_i^r полное производство и потребление (понимая под «потреблением» использование всеми секторами, в том числе и личное потребление) в регионе i ; X^r - полное производство в системе; $X^r = \sum_i X_i^r = \sum_j Y_j^r$, так как предполагаем, что система замкнута (тогда $\sum_i X_i^r$ - общее производство продукта r , например сбора зерна, а $\sum_j Y_j^r$ - общий спрос - общее потребление).

После введенных обозначений для нахождения оптимальных решений введем понятие гравитационной модели, основанной на аналогии пространственных взаимодействий в классической физике.

Будем интерпретировать X_i^r, Y_j^r как массы (количества продукта r связанные с отправлениями и прибытиями из i в j). Стоимость c_{ij}^r можно соотнести с расстоянием. Строго ньютоновское взаимодействие сведем к величине x_{ij}^r .

$$x_{ij}^r = K^r \frac{X_i^r Y_j^r}{(c_{ij}^r)^2} \quad (1)$$

где K^r - нормирующий множитель, обеспечивающий выполнение равенства

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^r = X^r$$

Это означает

$$K^r = \frac{X^r}{(\sum_i \sum_j x_{ij}^r) / (c_{ij}^r)^2}$$

В общем случае взаимодействие может управляться функцией отличной от закона степени (-2), то есть формула (1) может быть записана в виде

$$x_{ij}^r = K^r X_i^r Y_j^r f^r(c_{ij}^r) \quad (2),$$

где $f^r(c_{ij}^r)$ - убывающая функция c_{ij}^r , а $K^r = \frac{X^r}{\sum_i \sum_j X_i^r Y_j^r f^r(c_{ij}^r)}$ (3)

При этом следует иметь в виду, что для разных продуктов эти функции будут иметь различный вид.

Задача оптимизации гравитационной модели может решаться при различной информации о производстве и спроса и может быть четыре возможных случая:

- 1) существует независимая оценка X^r ;
- 2) существуют независимые оценки X_i^r , которые определяют X^r ;
- 3) существуют независимые оценки спроса Y_i^r , который определяют общий спрос Y^r ;
- 4) существуют независимые оценки X_i^r, Y_j^r , полученные так, что они определяют X^r по формулам $\sum_i X_i^r = X^r$ и $\sum_j Y_j^r = Y^r$.

В уравнениях 2, 3 X_i^r следует заменить на x_{i*}^r , а Y_j^r на x_{*j}^r в случаях, когда их независимые оценки отсутствуют. По предположению оценка X^r существует во всех случаях (например, прогнозируемый сбор зерна), то для оценки K^r может быть всегда использовано уравнение вида 3. Таким образом уравнения 2 и 3 представляют собой ньютоновскую гравитационную модель для четвертого случая и легко могут быть решены относи-

тельно x_{ij}^r . Для случаев 1 - 3 уравнения 2 и 3 сводятся к квадратному уравнению относительно x_{ij}^r . [1]

Эти уравнения должны для случая 1 решаться при ограничениях

$$\sum_j x_{ij}^r = x_{i*}^r \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij}^r = x_{*j}^r \quad (5);$$

-для случая 2 – при ограничениях:

$$\sum_i x_{ij}^r = x_{*j}^r \quad (5)'$$

$$\sum_j x_{ij}^r = X_i^r \quad (6)$$

-для случая 3

$$\sum_j x_{ij}^r = x_{i*}^r \quad (4)'$$

$$\sum_i x_{ij}^r = Y_j^r \quad (7)$$

-для случая 4

$$\sum_j x_{ij}^r = X_i^r$$

$$\sum_i x_{ij}^r = Y_j^r$$

Ограничения 4-7 отвечают условиям производства и полного спроса на произведенную продукцию и соответственно уравнения (2) и (3) никогда не удовлетворяют приведенным условиям непротиворечивости. Поэтому при дальнейшем усовершенствовании модели введем их в качестве ограничений.

Первый случай соответствует модели без ограничений. Заменяв X_i^r и Y_j^r на x_{i*}^r и x_{*j}^r можно использовать уравнения (2) и (3).

Второй случай – модель с ограничением на производство. Уравнение (6) выступает в роли ограничения на полное производство в регионе i (например, при заданных технологиях объем выпуска различных видов с/х продукции на ограниченных площадях). Можно найти набор нормирующих множителей, которые заменят единственный множитель K^r , что обеспечит выполнение соотношения (6). Введем множитель A_i^r и уравнение 2 перепишем в виде

$$x_{ij}^r = A_i^r X_i^r x_{*j}^r f^r(c_{ij}^r) \quad (8),$$

где вместо Y_j^r в уравнении (2) используется x_{*j}^r , поскольку независимая оценка Y_j^r во втором случае не предполагается. Тогда по уравнению (6) можно вычислить A_i^r , если x_{ij}^r из (8) подставить в (6). Получим

$$A_i^r = [\sum_j x_{*j}^r f^r(c_{ij}^r)]^{-1} \quad (9)$$

Случай 3 – модель с ограничением на потребление (например, ввиду ограниченности бюджета потребителей). В этом случае ограничением будет уравнение (7). Множитель K^r заменяется нормирующим множителем, B_j^r и стандартные преобразования приводят к следующим выражениям:

$$x_{ij}^r = B_j^r x_{i*}^r Y_j^r f^r(c_{ij}^r) \quad (8)'$$

$$B_j^r = [\sum_i x_{i*}^r f^r(c_{ij}^r)]^{-1} \quad (9)'$$

Случай 4 – модель с ограничением на производство и потребление. В качестве ограничений используются оба уравнения (6) и (7), поэтому нужно заменить K^r двумя множителями $A_i^r B_j^r$, чтобы можно было провести соответствующую модификацию модели. Тогда уравнение (2) приобретет вид

$$x_{ij}^r = A_i^r B_j^r X_i^r Y_j^r f^r(c_{ij}^r) \quad (10),$$

а множители можно вычислить, подставляя x_{ij}^r из уравнения (10) в уравнение (6) и (7) соответственно, что дает

$$A_i^r = [\sum_j B_j^r Y_j^r f^r(c_{ij}^r)]^{-1} \quad (11)$$

$$B_j^r = [\sum_i A_i^r X_i^r f^r(c_{ij}^r)]^{-1} \quad (12)$$

Уравнение (11) и (12) можно решить итерационными методами. И модель четвертого случая позволяет найти простые оценки x_{ij}^r , остальные три модели сводятся к квадратным уравнениям относительно x_{ij}^r . Все четыре рассмотренные гравитационные модели были получены для независимых потоков товаров; на самом деле эти потоки должны быть взаимосвязаны. Часть потока продукта r из i в j может быть вызвана спросом, связанным с использованием производителями в j продукте r в качестве сырья.

Эту трудность можно частично преодолеть, если используемые варианты гравитационной модели включают в себя независимые оценки X_i^r, Y_j^r . Оценку этих величин можно получить с помощью регрессионного анализа. Независимые переменные в уравнениях регрессии относительно X_i^r, Y_j^r могут включать в себя характеристики производства и потребления в регионах i , и j продуктов, отличных от r . Коэффициенты этих уравнений аналогичны технологическим коэффициентам в моделях «затраты - выпуск». [2]

Для оценки набора переменных потоков x_{ij}^r при известных ограничениях в виде равенств необходимо максимизировать энтропию связанную с x_{ij}^r распределения вероятностей, в результате чего получится наиболее вероятная оценка x_{ij}^r (наиболее вероятный прогноз потока спроса продукта r из i -го района в j -й район).

Для этого предварительно выясним вид функции $f^r(c_{ij}^r)$, определяющей вид коэффициента K^r и зависящего от функции полезности. Обоснование выбора коэффициента K^r в гравитационной модели основывается на так называемой изопериметрической задаче вариационного исчисления. Мы находим наиболее вероятные значения потоков спроса продукта r , производимого в регионе i , потребителями в регионе j как решение задачи максимизации энтропии. В простейшем случае это выглядит следующим образом. Необходимо отыскать функцию $p(x)$, которая при данных условиях обеспечивает максимум энтропии

$$H = - \int p(x) \log P(x) dx \quad (13)$$

В общем виде, применительно к нашим целям, задача сводится к отысканию P как функции x , при которой интеграл

$$I = \int_a^b F(x, p) dx \quad (14)$$

принимает максимальное значение при условиях, что

$$\left. \begin{aligned} \int_a^b \varphi_1(x, p) dx &= K_1 \\ \int_a^b \varphi_2(x, p) dx &= K_2 \\ \dots &\dots \\ \int_a^b \varphi_n(x, p) dx &= K_n \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

где K_1, K_2, \dots, K_n - константы (заданы) и равенства (15) выражают ограничения, наложенные на интеграл (14). Соответствующая теорема вариационного исчисления гласит, что функция $p(x)$, обеспечивающая максимум интеграла (14), находится с помощью решения уравнения

$$\frac{\partial F}{\partial P} + \lambda_1 \frac{\partial \varphi_1}{\partial p} + \lambda_2 \frac{\partial \varphi_2}{\partial p} + \dots + \lambda_n \frac{\partial \varphi_n}{\partial p} = 0 \quad (16)$$

Здесь $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$ - неопределенные множители, которые находятся подстановкой $p(x)$, удовлетворяющей уравнению (16) в равенства (15).

Конкретизируя решение оптимизации гравитационной модели с учетом того, что мощности предприятий ограничены, т.е.

$$\int_{-\infty}^{\infty} x^2 p(x) dx = \sigma_x^2, \quad (17)$$

найдем распределение вероятностей $p = p(x)$ при котором энтропия максимальна,

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p \log p dx \quad (18),$$

а условия, которые должны быть выполнены, суть нормирующее равенство

$$\int_{-\infty}^{\infty} p dx = 1 \quad (19)$$

и равенство 17 [2]

Итак,

$$F(x, p) = -p \log P \quad (20)$$

$$\frac{\partial F}{\partial p} = -(1 + \log P) \quad (21)$$

$$\varphi_1(x, p) = P \quad (22)$$

$$\frac{\partial \varphi_1}{\partial p} = 1 \quad (23)$$

$$\varphi_2(x, p) = x^2 p \quad (24)$$

$$\frac{\partial \varphi_2}{\partial p} = x^2 \quad (25)$$

Подставляя найденные величины в 16, получаем

$$-(1 + \log p) + \lambda_1 + \lambda_2 x^2 = 0 \quad (26)$$

$$p = e^{\lambda_2 x^2 + \lambda_1 - 1} = e^{\lambda_1 - 1} e^{\lambda_2 x^2} \quad (27)$$

Для того, чтобы исключить λ_1 и λ_2 подставим сначала найденное значение p в 19

$$1 = \int_{-\infty}^{\infty} p dx = \int_{-\infty}^{\infty} e^{\lambda_1 - 1} e^{\lambda_2 x^2} dx = 2e^{\lambda_1 - 1} \int_0^{\infty} e^{\lambda_2 x^2} dx = 2e^{\lambda_1 - 1} \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{-\lambda_2}} \quad (28)$$

откуда $e^{\lambda_1 - 1} = \sqrt{\frac{-\lambda_2}{\pi}}$ (29)

λ_2 должен быть отрицательным, иначе интеграл (28) не существует. Подставим 27 и 29 в (17).

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 p dx = \int_{-\infty}^{\infty} x^2 \sqrt{\frac{-\lambda_2}{\pi}} e^{\lambda_2 x^2} dx = 2\sqrt{\frac{-\lambda_2}{\pi}} ;$$

$$\int_0^{\infty} x^2 e^{\lambda_2 x^2} dx = 2\sqrt{\frac{-\lambda_2}{\pi}} * \frac{1}{4} \sqrt{\frac{\pi}{(-\lambda_2)^3}} = -\frac{1}{2\lambda_2} \quad (30)$$

Следовательно

$$\lambda_2 = -\frac{1}{2\sigma^2} \quad (31)$$

$$\text{и } e^{\lambda_1 - 1} = \sqrt{\frac{-\lambda_2}{\pi}} = \sqrt{\frac{1}{2\pi\sigma^2}} \quad (32)$$

подставляя найденные величины в 27, находим функцию p , для которой при заданных условиях энтропия максимальна:

$$p = e^{\lambda_1 - 1} e^{\lambda_2 x^2} = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (33)$$

Собственно энтропия H находится подстановкой (33) в (13),

$$H = \log \sqrt{2\pi\sigma^2} \quad (35)$$

и что весьма полезно, что при заданной энтропии гауссовское (нормальное) распределение имеет наименьшую из всех одномерных распределений дисперсию.

Проведенные рассуждения говорят о том, что функция $f^r(c_{ij})$ при целевой функции полезности в виде максимума энтропии должны быть экспоненциального типа.

Рассмотрим 4-й случай – ограничено производство и потребление. Предположим, что на перевозку продукта r тратится величина C^r . Тогда надо максимизировать

$$S^r = \sum_i \sum_j \ln x_{ij}^r !$$

при ограничениях (6) и (7) и с учетом стоимостного ограничения

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^r c_{ij}^r = C^r \quad (36)$$

Решение данной задачи имеет вид

$$x_{ij}^r = A_i^r B_j^r X_i^r Y_j^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r) \quad (37)$$

где
$$A_i^r = [\sum_j B_j^r Y_j^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r)]^{-1} \quad (38)$$

$$B_j^r = [\sum_i A_i^r X_i^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r)]^{-1} \quad (38)'$$

Величина μ^r теоретически определяется через уравнение (36);

-при увеличении C^r , μ^r уменьшается.

Аналогично можно получить решения для остальных трех случаев. Например, для случая 2 (ограничение на производство) по этой процедуре получим

$$x_{ij}^r = A_i^r X_i^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r) \quad (39)$$

где
$$A_i^r = [\sum_j \exp(-\mu^r c_{ij}^r)]^{-1} \quad (40)$$

Здесь отсутствует член x_{*j}^r , как и в уравнениях (8) и (9). Это означает, что продукт X_i^r размещается между регионами (потребителями) j пропорционально «транспортной доступности» j по отношению к i , которая характеризуется величиной $\exp(-\mu^r c_{ij}^r)$. Возможны и другие характеристики региона j (отличные от «транспортной доступности»), которые делают более выгодным для j по сравнению с любым другим регионом ввозить продукт r . Пусть, например, v_j^r - прибыль региона j от использования единицы продукта r по сравнению с использованием этой же единицы продукта любым другим регионом. Будем выбирать единицы измерения, так, чтобы они были непосредственно сопоставимы с транспортными затратами c_{ij}^r . Тогда уравнение (39) и (40) переписываются в виде

$$x_{ij}^r = A_i^r X_i^r \exp(\mu^r v_j^r) \exp(-\mu^r c_{ij}^r) \quad (41)$$

$$A_i^r = [\sum_j \exp(\mu^r v_j^r) \exp(-\mu^r c_{ij}^r)]^{-1} \quad (42)$$

Величины v_j^r порождаются уровнем экономики в регионе j , поэтому их можно приблизительно описать текущим уровнем потребления r в j , а это есть x_{*j}^r . Обычно предположение в такой ситуации заключается в том, что прибыль пропорциональна логарифму единицы измерения, поэтому

$$\mu^r v_j^r = \alpha^r \ln x_{*j}^r \quad (43),$$

где α^r – некоторый параметр. При подстановке v_j^r из уравнения (43) в уравнение (41) и (43) они переходят в уравнение (8) и (9).

После приведенного обоснования приведенной гравитационной модели несложно полученные результаты распространяются на модель «затраты - выпуск», которая логично вытекает из теории экономической базы. Эта теория успешно применяется для местного и регионального прогноза, так как представляет собой наиболее простую формулировку взаимозависимости между экономическими секторами.

Определяются два сектора экономической активности, измерения которых проводятся в единицах занятости. Сектор 1 – базовой занятости, сектор 2 – небазовой занятости. Экономическая активность базовой занятости направлена на производство, ориентированное на внешние рынки (в других регионах или экспорт), а небазовый сектор производит товар для внутренних рынков.

Обозначим: X - полная занятость, n - небазовая занятость, y – базовая занятость.

$$X - n = y \text{ или } X(1 - \frac{n}{x}) = y$$

пусть $a = \frac{n}{X}$, тогда $X = (1 - a)^{-1} y$ (44)

Величина « a » принимается константой. Вернемся к тому, что X^r - полный объем производства продукта r . Он может потребляться внутренними секторами региона или внешним сектором «окончательного спроса» (экспорта). Для однорегиональной модели введем обозначения:

часть X^r , обозначаемая через Z^{rp} , потребляемая сектором p , а y^r потребляется сектором окончательного спроса. Тогда по всем S сектора внутреннего спроса

$$\sum_{p=1}^s Z^{rp} + y^r = X^r \quad (45)$$

Величина продукта r на производство продукта p

$$a_{rp} = \frac{Z^{rp}}{X^p} \text{ и } \sum_p a^{rp} X^p + Y^r = X^r$$

Пологая $r = 1, 2$, получим систему уравнений, откуда

$$\vec{X} = (I - a)^{-1} \vec{y} \quad (46)$$

Здесь a - известная матрица технологических коэффициентов «затраты – выпуск», I – единичная матрица. Уравнение (46) совпадает с (44), только в (44) - все величины скалярные, а в (46) – матрицы и векторы и уравнение (45) дает реалистическую оценку экономической структуры города или региона. При развитии модели на многорегиональный случай будем действовать по аналогии и основными результатами Леонтьева – Страута, в которых предполагается, что производителей не интересует окончательное распределение товаров, а потребителей – их происхождение. Это означает, что все товары, производимые в регионе i , как бы поступают в общий фонд предложения, и все товары, потребляемые в i , предварительно извлекаются из фонда потребления. Изобразим существенные потоки продукта r в модели Леонтьева – Страута.

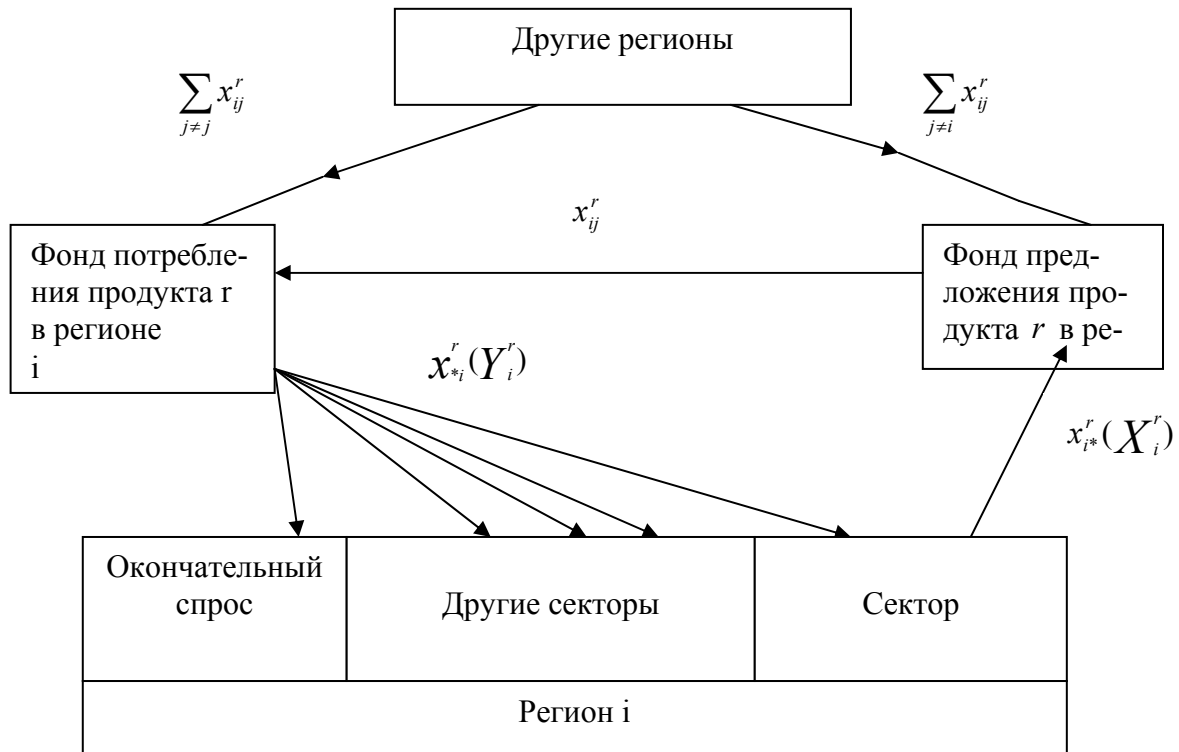


Рис. 1 Потоки продукта r в модели Леонтьева – Страута [3].

Отметим, что при одном регионе i должно выполняться равенство между X_i^r, Y_i^r , но в многорегиональной системе это уже не обязательно. Теперь x_{ij}^r - это объем продукта r , производимый в регионе i и перевозимый в фонд потребления в регионе j .

Теперь каждый регион в отдельности должен удовлетворять соотношению «затраты – выпуск» типа (45) и соответствующая система уравнений согласно рис. 1 принимает вид

$$x_{*i}^r = \sum_p a_{rp}^i x_{i*}^p + y_i^r \quad (47),$$

где x_{*i}^r - количество продукта r , используемое в регионе i ;

y_i^r - потребление сектором окончательного спроса в регионе i ;

$\sum_p a_{rp}^i x_{i*}^p$ - количество продукта r , используемое другими секторами (в этом выражении a_{rp}^i - матрица технологических коэффициентов «затраты – выпуск» в регионе i).

Основными переменными являются x_{ij}^r , относительно которых следует искать решение, но здесь принимаются более слабые допущения: не только нельзя провести независимой оценки $x_{i*}^r, x_{*j}^r, (X_i^r, Y_j^r)$, но даже величину X^r нельзя оценить независимо. Предположения гравитационного типа допускаются, но предполагается, что $\sum_i \sum_j x_{ij}^r = x_{**}^r$ выполняется лишь при $i \neq j$.

При этом система уравнений

$$X_{ij}^r = \frac{X_i^r Y_j^r}{X^r} D_{ij}^r; \quad D_{ij}^r = \frac{\hat{x}_{ij}^r \hat{X}^r}{\hat{X}_i^r \hat{Y}_j^r}$$

$$x_{*i}^r = \sum_p a_{rp}^i x_{i*}^p + y_i^r$$

(где D_{ij}^r - эмпирически оцениваемая функция расстояния) нелинейная по x_{ij}^r и имеет столько уравнений, сколько неизвестных (включая x_{ii}^r). Она может быть решена приближенно при помощи предположения, что известны все потоки \hat{x}_{ij}^r в некоторый базовый период; после этого их можно решить относительно приращений потоков в следующий период. Отсюда следует, что при заданном наборе окончательного спроса можно определить приращения потоков с точностью до величин первого порядка малости и использовать при краткосрочном прогнозе спроса.

Объединим модели «затраты – выпуск» и гравитационную модель, используя метод максимизации энтропии. Из четырех рассмотренных случаев рассмотрим только первый и последний (без ограничений и с ограничениями на спрос и производство). Для этого предположим для первого случая, что нет и независимой оценки для X^r , что соответствует гипотезе Леонтьева и Страута. Единственным ограничением будет уравнение

$$\sum_i \sum_j x_{ij}^r c_{ij}^r = C^r \quad (48)$$

Теперь будем рассматривать уравнение Леонтьева – Страута в качестве ограничения на x_{ij}^r . Запишем его в виде

$$\sum_j x_{ij} = \sum_p a_{rp}^i \sum_j x_{ij}^p + y_i^r \quad (49).$$

Максимизируем энтропию распределения вероятностей, связанного с x_{ij}^r (здесь r переменный индекс, как и i и j). $S = -\sum_i \sum_j \sum_r x_{ij}^r \ln x_{ij}^r$ при ограничениях 48 и 49.

Для решения задачи запишем функцию Лагранжа

$$L = S + \sum_i \sum_r v_i^r (y_i^r + \sum_p a_{rp}^i \sum_j x_{ij}^p - \sum_j x_{ji}^r) + \sum_r \mu^r (C^r - \sum_i \sum_j x_{ij}^r c_{ij}^r),$$

где v_i^r и μ^r - множители Лагранжа, связанные с уравнениями (48) (49), соответственно. Теперь получим оценку x_{ij}^r , решая систему уравнений $\frac{\partial L}{\partial x_{ij}^r} = 0$ совместно с уравнениями (25) и (26). Будем иметь

$$x_{ij}^r = \exp\left(\sum_p v_i^p a_{pr}^i - v_j^r - \mu^r c_{ij}^r\right) \quad (50)$$

(единица включена в множитель v_j^r).

Множитель Лагранжа μ^r получается подстановкой x_{ij}^r в уравнении (25), множитель Лагранжа v_j^r находится подстановкой x_{ij}^r из (50) в уравнении (49), что дает

$$\exp(-v_i^r) \sum_i \exp\left(\sum_p v_j^p a_{pr}^j - \mu^r c_{ji}^r\right) - \sum_p a_{rp}^i \exp\left(\sum_g v_i^g a_{gp}^i\right) \sum_j \exp(-v_j^p) - \mu^r c_{ij}^p - y_i^r = 0 \quad (51)$$

$$\text{Обозначим } \sigma_i^r = \exp\left(\sum_p v_i^p a_{pr}^i\right) \quad (52)$$

$$E_j^r = \exp(-v_j^r) \quad (53)$$

$$\text{тогда } \sigma_i^r = \prod_{p=1}^s (E_i^p)^{-a_{rp}^i} \quad (54)$$

Перепишем уравнение (51) в более компактном виде

$$E_i^r \sum_j \sigma_j^r \exp(-\mu^r c_{ji}^r) - \sum_p a_{rp}^i \sigma_i^p \sum_j E_j^p \exp(-\mu^p c_{ij}^p) - y_i^r = 0$$

$$\text{и из него получим } E_i^r = \frac{y_i^r + \sum_p a_{rp}^i \sigma_i^p \sum_j E_j^p \exp(-\mu^p c_{ij}^p)}{\sum_j \sigma_j^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r)} \quad (55)$$

Это уравнение нельзя решить в явном виде. Используя итерационную процедуру: задать E_i^r , вычислить σ_i^r из уравнения (54), вычислить E_i^r из уравнения (55) и продолжить процедуру пока процесс не сойдется. С помощью уравнений (52) и (53) выражение (50) для x_{ij}^r может быть переписано в виде

$$x_{ij}^r = \sigma_i^r E_j^r \exp(-\mu^r c_{ij}^r) \quad (56)$$

Таким образом, с помощью метода максимизации энтропии первый случай в модели Леонтьева – Страута описывается уравнениями (56),(55),(54). Произведение $\sigma_i^r E_j^r$ обеспечивает согласованность потоков с уравнением Леонтьева – Страута. Из уравнения (32) следует, что размерность этого произведения совпадает с размерностью единицы измерения количества продукта r и гравитационная модель (56) является простейшей: величины x_{ij}^r пропорционально $\exp(-\mu^r c_{ij}^r)$.

В четвертом наиболее реальном с точки зрения практики случае, где есть ограничения на производство и потребление в роли ограничений одновременно выступают уравнения (8) и (9) вместе с модифицированными уравнениями (36) и (49). Поэтому $\sum_j x_{ij}^r$ заменим на X_i^r , а $\sum_i x_{ij}^r$ - на Y_j^r , что дает

$$Y_j^r = \sum_{p=1}^s a_{rp}^j X_i^p + y_j^r \quad (57)$$

Теперь x_{ij}^r в (57) не входит, следовательно, наши предположения отделяют ту часть модели, которая связана с моделью «затраты - выпуск», от гравитационной части. Отсюда следует, что процедуры, используемые для оценки X_i^r и Y_j^r , должны быть такими, чтобы удовлетворялось уравнение (57); тогда потоки спроса можно оценить с помощью гравитационной модели 37 - 38'

Выводы: в реальной ситуации имеется множество различных товаров, некоторые из них являются промежуточными, другие конечными; прогнозировать спрос на одни и другие можно лишь на основе гибридной гравитационной модели, которая будет получена с помощью метода максимизации энтропии на следующем этапе исследований. При этом центральным вопросом остается возможность оценки величин x_{i*}^r и x_{*j}^r независимо от процедуры оценки x_{ij}^r . Поскольку при различных исходных предположениях получается различные модели, то наиболее важный вывод состоит в том, что включаемые в модель гипотезы должны подвергаться всесторонней проверки.

On the basis of analogy between the thermodynamics and economic systems at the use of function of utility as entropy we will consider the method of receipt and optimization of function of demand at limitations of four types on production and consumption

1. А. Дж. Вильсон. Энтропийные методы моделирования сложных систем. М.: «Наука», 1978.
2. С. Голдман. Теория информации. М.: ИЛ., 1957
3. Leontief W., Strout A. Multi – regional input – output analysis. – In: Structural Futerdependence and Economic Deuelopment /Ed. T.Barna, Macmillan, London, 1963.

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ ОШИБОК ИДЕНТИФИКАЦИИ ПРИ ОПТИМАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ

Поливода О.В., Бражник А.М.

Введение.

Современная теория управления включает методы оптимального управления, с помощью которых можно разрабатывать оптимальные системы управления (т.е. системы, при функционировании которых минимизируется или максимизируется некоторый критерий качества), а также методы идентификации, которые позволяют определить структуру модели объекта управления [1]. Однако ошибка модели объекта вызывает ошибку статизма, и оптимальный регулятор не обеспечивает достижения заданного состояния. Для таких случаев в системе управления необходимо реализовать гарантийную составляющую, которая значительно уменьшит ошибку модели.

Постановка задачи.

В постановке задачи появляется вопрос об устранении ошибки статизма при оптимальном управлении. Рассмотрим линейно-квадратичные задачи.

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{B}\mathbf{u}, \quad \mathbf{x}(t_0) = \mathbf{x}_0 \quad (1)$$

Требуется обеспечить достижение заданного целевого состояния с наименьшими возможными затратами ресурса управления. Качество управления определяется квадратичным критерием вида

$$I[\mathbf{u}(t)] = 0,5\mathbf{x}^T \mathbf{S}_f \mathbf{x} + 0,5 \int_0^{t_f} (\mathbf{x}^T \mathbf{F} \mathbf{x} + \mathbf{u}^T \mathbf{E} \mathbf{u}) dt, \quad (2)$$

где матрицы динамики $\mathbf{A}(t)$, $\mathbf{B}(t)$ в общем случае зависят от времени, весовые матрицы \mathbf{S}_f , $\mathbf{F}(t)$ симметричны и положительно полуопределены, а весовая матрица $\mathbf{E}(t)$ симметрична и положительно определена.

Так как ошибка модели объекта вызывает ошибку статизма необходимо реализовать составляющую, которая уменьшит ошибку статизма.

Решение задачи

Решим поставленную задачу, предполагая, что модель объекта управления не содержит ошибок[2-4]. Для критерия (2) оптимальный регулятор задается выражением

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(t)\mathbf{x}(t), \quad (3)$$

$$\text{где } \mathbf{K}(t) = \mathbf{E}^{-1}\mathbf{B}^T\mathbf{S}(t) \quad (4)$$

Таким образом, выведены зависимости, определяющие П-регулятор с зависящим от времени матричным коэффициентом усиления.

Рассмотрим химический реактор с непрерывным перемешиванием, в котором идет многокомпонентная реакция[2].

Введем квадратичный критерий

$$I = \frac{1}{2} \int_0^{t_f} [(x_1 - x_{1d})^2 + \alpha(x_2 - x_{2d})^2 + \beta(u - u_d)^2] dt, \quad (5)$$

Решение этой задачи дается формулами (3), (4) в которые нужно подставить

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -(1 + Da_1) & Da_2 \\ Da_1 & -(1 + Da_2 + Da_3) \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{F} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \alpha \end{bmatrix}, \quad \mathbf{E} = \beta$$

Коэффициент усиления $\mathbf{K}(t) = \frac{1}{\beta} [S_{12} \quad S_{22}]$ задает закон оптимальной обратной связи

$$u(t) = u_d - [K_1(t)(x_1(t) - x_{1d}) + K_2(t)(x_2(t) - x_{2d})] \quad (7)$$

Исследуем качество полученного регулятора для следующих значений параметров: $Da_1=3, Da_2=0,5, Da_3=1, x_{1d}=0,3, x_{2d}=0,4, u_d=0,1, x_1(0)=1, x_2(0)=0, t_f=2, \alpha = 1, \beta = 1$.

Выходы оптимального регулятора обеспечивают достаточно точное попадание в заданное состояние x_{1d}, x_{2d} .

Исследуем влияние ошибки модели на статическую ошибку управляемого процесса.

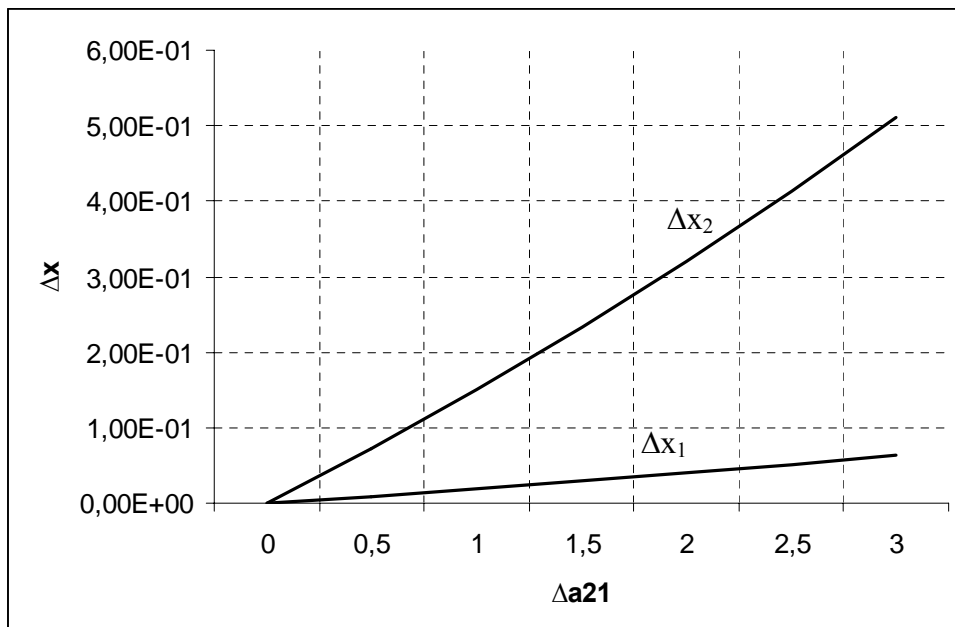


Рис.1 Зависимость статической ошибки от ошибки модели

Из рис.1 видно, что при $\Delta a_{21} > 0,3$ статическая ошибка превышает 5%, полученный оптимальный П-регулятор не обеспечивает достижение заданного состояния, и возникает необходимость реализации гарантийной составляющей, которая значительно уменьшит

ошибку модели. Гарантийную составляющую можно реализовать в виде интегральной составляющей, т.е. оптимальный регулятор будет ПИ-регулятором.

Один из методов получения интегральной составляющей – введение производной $\dot{\mathbf{u}}$ непосредственно в критерий оптимальности[2].

$$I[\mathbf{u}(t)] = 0,5\mathbf{x}^T \mathbf{S}_f \mathbf{x} + 0,5 \int_0^{t_f} (\mathbf{x}^T \mathbf{F} \mathbf{x} + \dot{\mathbf{u}}^T \mathbf{E} \dot{\mathbf{u}}) dt, \quad (8)$$

При этом необходимо продифференцировать уравнения динамики процесса.

$$\ddot{\mathbf{x}} = \mathbf{A}\dot{\mathbf{x}} + \mathbf{B}\dot{\mathbf{u}} \quad (9)$$

После замены переменных

$$\mathbf{v}(t) = \dot{\mathbf{u}}, \quad \mathbf{w}_1 = \mathbf{x}, \quad \mathbf{w}_2 = \dot{\mathbf{x}}, \quad \mathbf{w} = \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 \\ \mathbf{w}_2 \end{bmatrix} \quad (10)$$

Перейдем к уравнению

$$\dot{\mathbf{w}} = \begin{bmatrix} 0 & \mathbf{I} \\ 0 & \mathbf{A} \end{bmatrix} \mathbf{w} + \begin{bmatrix} 0 \\ \mathbf{B} \end{bmatrix} \mathbf{v} \quad (11)$$

и критерию оптимальности

$$I = 0,5 \left(\mathbf{w}^T \begin{bmatrix} \mathbf{S}_f & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{w} \right) + 0,5 \int_0^{t_f} \left(\mathbf{w}^T \begin{bmatrix} \mathbf{F} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{w} + \mathbf{v}^T \mathbf{E} \mathbf{v} \right) dt \quad (12)$$

Воспользуемся теперь выражением оптимального закона регулирования

$$(\dot{\mathbf{S}} + \mathbf{S}\mathbf{A} + \mathbf{A}^T \mathbf{S} - \mathbf{S}\mathbf{B}\mathbf{E}^{-1}\mathbf{B}^T \mathbf{S} + \mathbf{F})\mathbf{x}(t) = 0 \quad (13)$$

Для того чтобы это уравнение выполнялось при произвольных значениях $\mathbf{x}(t)$, необходимо, чтобы обращался в нуль матричный множитель при $\mathbf{x}(t)$. Оптимальный регулятор задается выражением

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}(t)\mathbf{x}(t), \quad (14)$$

$$\text{где } \mathbf{K}(t) = \mathbf{E}^{-1}\mathbf{B}^T \mathbf{S}(t) \quad (15)$$

Тогда получим

$$\mathbf{v}(t) = -\mathbf{K}(t)\mathbf{w} = -[\mathbf{K}_1 \quad \mathbf{K}_2] \begin{bmatrix} \mathbf{w}_1 \\ \mathbf{w}_2 \end{bmatrix}, \quad (16)$$

или возвращаясь к исходным переменным,

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}_2 \mathbf{x}(t) - \int_0^{t_f} (\mathbf{K}_1 - \dot{\mathbf{K}}_2) \mathbf{x}(t) dt. \quad (17)$$

В установившемся состоянии при $t_f \rightarrow \infty$ оптимальный регулятор примет вид

$$\mathbf{u}(t) = -\mathbf{K}_2 \mathbf{x}(t) - \mathbf{K}_1 \int_0^{t_f} \mathbf{x}(t) dt. \quad (18)$$

Применив этот метод к задаче о химическом реакторе, получим оптимальный ПИ-регулятор в виде

$$u(t) = u_d - [K_2(t)(x_1(t) - x_{1d}) + K_4(t)(x_2(t) - x_{2d})] + \left[\int_0^{t_f} (K_1 - \dot{K}_2)(x_1(t) - x_{1d}) dt + \int_0^{t_f} (K_3 - \dot{K}_4)(x_2(t) - x_{2d}) dt \right]. \quad (19)$$

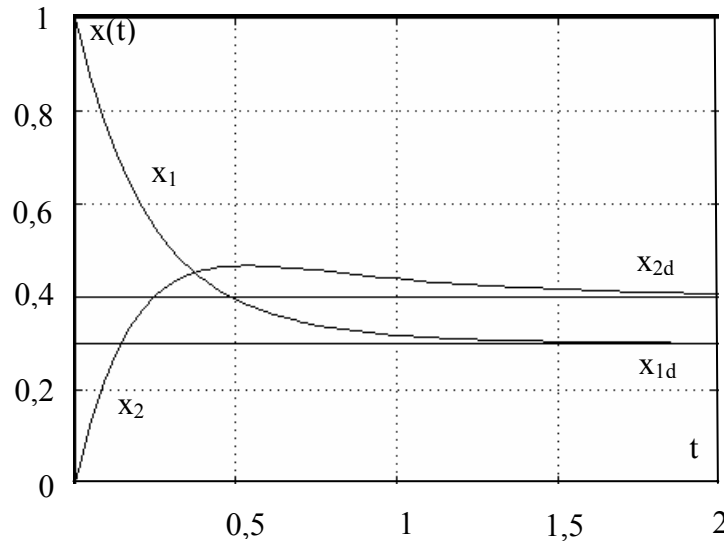


Рис.2 Поведение замкнутой системы с ПИ-регулятором при отсутствии ошибки модели

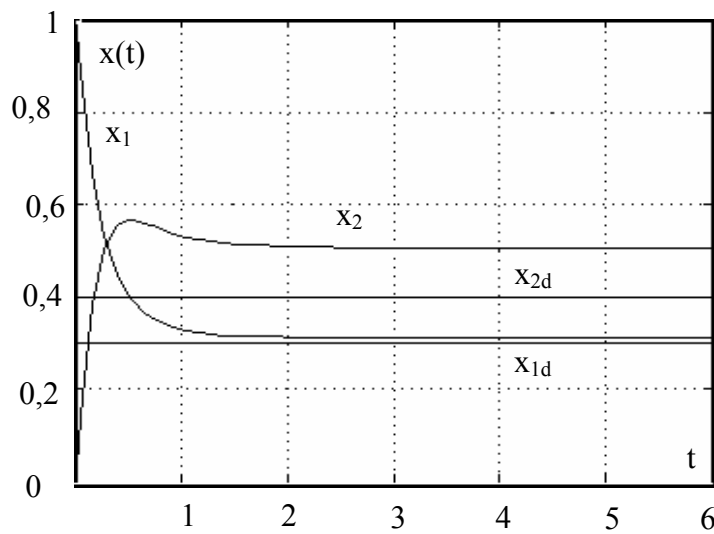


Рис.3 Поведение замкнутой системы с ПИ-регулятором при наличии ошибки модели

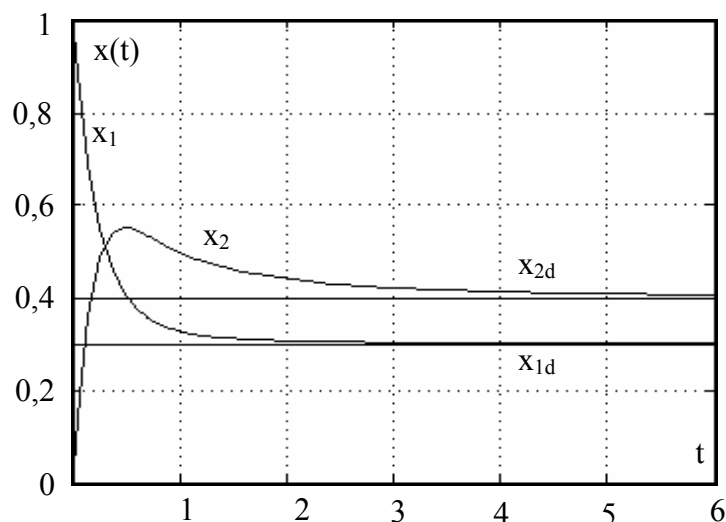


Рис.4 Поведение замкнутой системы с ПИ-регулятором

Использование интегральной составляющей позволило снизить ошибку статизма, при этом время регулирования увеличилось незначительно.

В приведенных примерах моделирование проводилось в пакете MATLAB-Simulink.

Заключение

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод, что гарантийная составляющая, необходимая при невысокой частоте идентификации, позволяет устранить ошибки статизма при оптимальном управлении. Гарантийную составляющую можно реализовать в виде интегральной составляющей регулятора.

As the title implies the article describes one method of compensation errors identification at case of optimal control. The results of research system with P-regulator and PI-regulator are presented. Results of the modeling which has been carried out in package MATLAB-Simulink are submitted.

1. Д. Гроп. Методы идентификации систем. – М.:Мир, 1979. – 302 с.
2. У. Рей. Методы управления технологическими процессами. – М.:Мир, 1983. – 368 с.
3. Х. Квакернаак, Р.Сиван. Линейные оптимальные системы управления. – М.:Мир, 1977. – 653 с.
4. Справочник по теории автоматического управления/ Под ред. А. А. Красовского. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987. – 712 с.

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62-50

РАСЧЕТ ЦИФРОВОГО УПРАВЛЯЮЩЕГО УСТРОЙСТВА
ДЛЯ ЛИНЕЙНОГО ОБЪЕКТА С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Бобриков С.А., Воевода А.Б., Лебедева Т.А.

Полагаем, что объект управления описывается передаточной функцией вида

$$K_o(P) = \frac{K_o e^{-P\Phi}}{T_o P + 1}, \quad (1)$$

Либо

$$K_o(P) = \frac{K_o e^{-P\Phi}}{(T_o P + 1)P}. \quad (2)$$

Подобным образом описываются в первом приближении многие промышленные объекты управления. Хорошо известны методы настройки параметров регуляторов промышленных систем регулирования, описываемых подобными передаточными функциями [1, 2]. Эти методы предназначены для расчета промышленных стандартных регуляторов, обеспечивающих реализацию типовых законов управления (П, И, ПИ, ПИД). Широкое развитие цифровой электронной техники (в частности, микропроцессорной) позволяет строить управляющие цифровые устройства, обеспечивающие более сложные законы управления. Ниже приведен метод расчета цифрового управляющего устройства для объекта с передаточной функцией (1) или (2), обеспечивающий переходную характеристику системы управления с минимальным перерегулированием при минимальном времени переходного процесса.

Принимая во внимание высокое быстродействие современных микропроцессоров цифровое управляющее устройство, при достаточно малой величине периода квантования непрерывного сигнала, можно рассчитывать как непрерывное. После определения необходимой передаточной функции непрерывного управляющего устройства можно определить эквивалентную дискретную передаточную функцию.

Примем следующие требования к системе управления: точность регулирования в установившемся режиме (для статической системы статическая ошибка регулирования не выше заданной величины), минимальное перерегулирование при ступенчатом входном воздействии, минимальное время переходного процесса.

Путем моделирования установлено, что поставленная цель может быть достигнута, если передаточная функция разомкнутой системы (желаемая передаточная функция) будет иметь вид для статической системы

$$K_{ж}(P) = \frac{K(T_2 P + 1)e^{-P\tau}}{T_1 P + 1}. \quad (3)$$

В системе с астатизмом первого порядка передаточная функция разомкнутой системы должна иметь вид

$$K_{ж}(P) = \frac{K(T_2 P + 1)e^{-P\tau}}{(T_1 P + 1)P}. \quad (4)$$

Интегрирующими свойствами может обладать объект управления, либо, если объект является звеном статическим, интегрирование должно осуществляться управляющим устройством.

Необходимый вид передаточной функции системы может быть получен, если последовательно с объектом будет включено управляющее устройство с передаточной функцией $K_y(P)$. Для статической системы либо для системы астатической, если объект обладает интегрирующими свойствами, передаточная функция управляющего устройства будет иметь вид

$$K_y(P) = \frac{K_y(T_2P + 1)(T_0P + 1)}{(T_1P + 1)(T_BP + 1)}, \quad (5)$$

Для системы астатической со статическим объектом управляющее устройство должно иметь передаточную функцию

$$K_y(P) = \frac{K_y(T_2P + 1)(T_0P + 1)}{(T_1P + 1)P}. \quad (6)$$

Введение постоянной времени T_B в передаточную функцию (5) необходимо для обеспечения физической реализуемости управляющего устройства. Величина T_B должна быть достаточно малой и её влиянием на динамические свойства системы пренебрегаем.

Ниже рассмотрен метод расчета параметров управляющего устройства K_y , T_1 , T_2 , обеспечивающих заданное качество управления.

1. **Система статическая.** Считаем заданными следующие величины: параметры объекта – K_o , T_o , τ и коэффициент статизма – S .

Коэффициент усиления системы K связан с коэффициентом статизма S известной формулой

$$K = \frac{1 - S}{S}.$$

Коэффициент усиления управляющего устройства равен

$$K_y = \frac{K}{K_o}.$$

Для определения постоянных времени T_1 и T_2 воспользуемся соотношениями, полученными экспериментальным путем при моделировании системы по структурной схеме рис.1. Моделирование проводилось при различных значениях параметров K , T_1 , T_2 , τ . Подбирались такие значения параметров, при которых переходный процесс получался с минимальным перерегулированием ($\sigma_m < 5\%$) и с минимальным временем переходного процесса. При этом получены следующие соотношения, соответствующие желаемому переходному процессу:

$$\frac{K\tau}{T_1} = 0,7; \quad T_2 = 0,3\tau. \quad (7)$$

Используя соотношения (7) находим T_1 и T_2 .

Пример. Задано: $K=100$, $\tau=0,5$ с.

Находим

$$T_1 = \frac{100 \cdot 0,5}{0,7} = 71,4 \text{с}; \quad T_2 = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15 \text{с}.$$

Результат моделирования приведен на рис.2

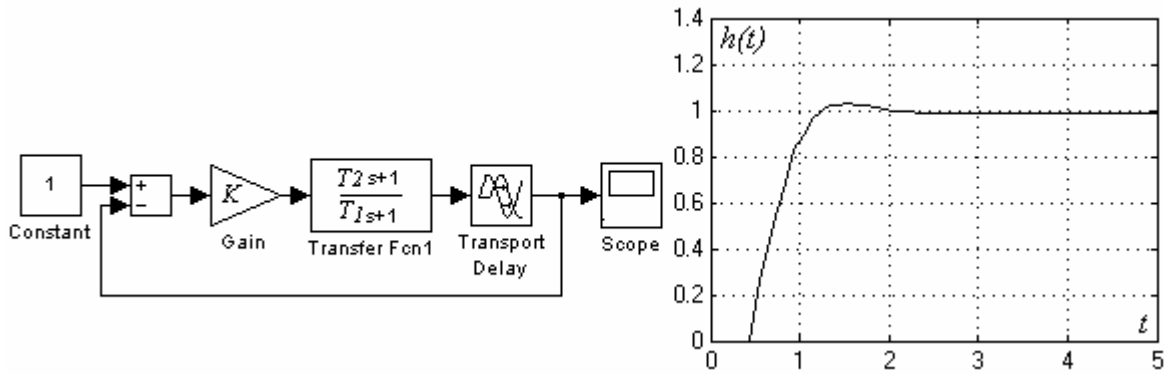


Рис. 1 Схема модели

Рис. 2 Результат моделирования

Определим запас устойчивости по фазе в замкнутой системе с передаточной функцией в разомкнутом состоянии (3). Модуль комплексной частотной передаточной функции для данной системы равен

$$|K_{ж}(j\omega)| = \frac{K\sqrt{T_2^2\omega^2 + 1}}{\sqrt{T_1^2\omega^2 + 1}}. \quad (8)$$

Приравняв (8) единице и подставив $\omega = \omega_c$, определим частоту среза ω_c :

$$\omega_c = \sqrt{\frac{K^2 - 1}{T_1^2 - K^2 T_2^2}}. \quad (9)$$

Значение фазовой частотной характеристики на частоте среза может быть определено по формуле

$$\varphi(\omega_c) = \arctg T_2 \omega_c - \arctg T_1 \omega_c - \tau \omega_c. \quad (10)$$

Запас устойчивости по фазе равен

$$\theta = \pi - |\varphi(\omega_c)|.$$

Как показывают расчеты, приведенные формулы (7) соответствуют запасу устойчивости $\theta = (62-67)^\circ$.

2. Система астатическая. Желаемая передаточная функция имеет вид (4). Считаем заданными следующие величины: τ , K . Требуется определить постоянные времени передаточной функции (4) T_1 и T_2 .

Экспериментальным путем установлены следующие соотношения, обеспечивающие желаемую форму переходного процесса

$$\frac{KT_2\tau}{T_1} = 0,4; \quad T_2 = 80\tau. \quad (11)$$

Пример. Пусть $\tau = 0,5$ с., $K = 20$. Определим с помощью (11) желаемые величины T_1 и

$$T_2. \quad T_2 = 80 \cdot 0,5 = 40 \text{с.} \quad T_1 = \frac{20 \cdot 40 \cdot 0,5}{0,4} = 1000 \text{с.}$$

Схема модели и результат моделирования приведены на рис.3. и рис.4.

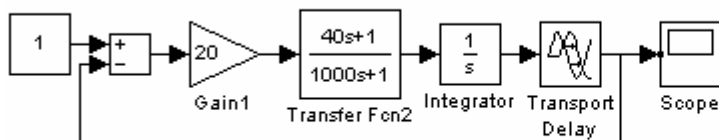


Рис. 3 Схема модели.

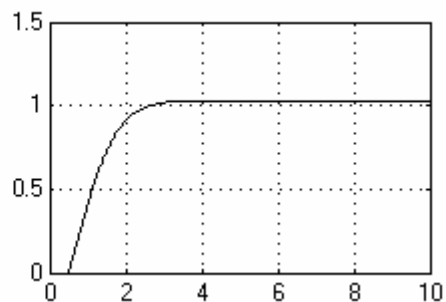


Рис. 4 Результат моделирования.

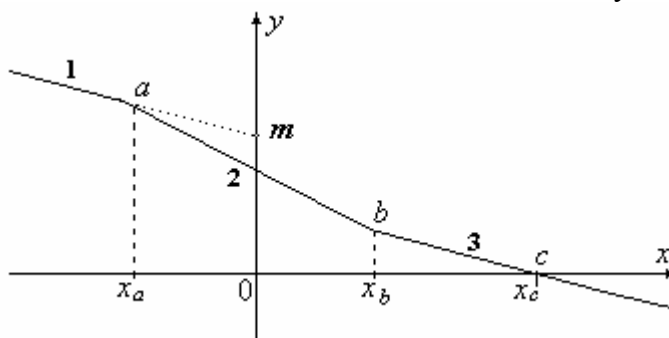


Рис.5 Асимптотическая ЛАЧХ

Частота среза для системы с передаточной функцией (4) может быть определена с достаточно высокой степенью точности по логарифмической амплитудно-частотной характеристике (ЛАЧХ) системы. Для системы с передаточной функцией (4) ЛАЧХ определяется выражением

$$L(\omega) = 20 \lg \left| \frac{K(T_2 j\omega + 1)}{(T_1 j\omega + 1)j\omega} \right|. \quad (12)$$

Асимптотическая ЛАЧХ, соответствующая (12) показана на рис.5. По оси абсцисс отложена величина $x = \lg \omega$, по оси ординат – $y = L(\omega)$.

Запишем уравнения прямых линий 1, 2, 3.

Прямая 1. $y = -20x + c_1$.

Константу c_1 определим по координатам точки $m(0, 20 \lg K)$: $20 \lg K = c_1$.

Таким образом, имеем $y = -20x + 20 \lg K$. (13)

Прямая 2. $y = -40x + c_2$. (14)

Константу c_2 найдем по уравнениям (13) и (14), подставив в них координаты точки a и приравняв правые части.

$$-20x_a + 20 \lg K = -40x_a + c_2.$$

Откуда следует $c_2 = 20x_a + 20 \lg K$.

Таким образом, уравнение прямой 2 имеет вид

$$y = -40x + 20x_a + 20 \lg K. \quad (15)$$

Прямая 3. $y = -20x + c_3$ (16)

Для определения константы c_3 используем координаты точки b , подставив их в уравнения (15) и (16) и приравняв правые части.

$$c_3 = -20x_b + 20x_a + 20 \lg K.$$

Окончательно, уравнение прямой 3 имеет вид

$$y = -20x - 20x_b + 20x_a + 20 \lg K. \quad (17)$$

Подставив в (17) координаты точки c определим частоту среза.

$$0 = -20x_c - 20x_b + 20x_a + 20 \lg K.$$

Откуда следует

$$x_c = -x_b + x_a + \lg K.$$

Или

$$\lg \omega_c = -\lg \frac{1}{T_2} + \lg \frac{1}{T_1} + \lg K.$$

Частота среза равна $\omega_c = \frac{KT_2}{T_1}$.

Значение фазовой частотной характеристики на частоте среза можно определить по формуле

$$\varphi(\omega_c) = \arctg \omega_c T_2 - \arctg \omega_c T_1 - \pi/2 - \tau \omega_c.$$

Запас устойчивости по фазе равен

$$\theta = \pi - |\varphi(\omega_c)|. \quad (18)$$

Расчеты, проведенные по формуле (18) для различных вариантов параметров объекта и управляющего устройства показали, что желаемая переходная характеристика соответствует запасу устойчивости по фазе в пределах $\theta=(65-66)$ гр.

После определения непрерывной передаточной функции управляющего устройства можно определить его дискретную передаточную функцию и получить рекуррентное уравнение управляющего устройства. Для получения дискретной передаточной функции по непрерывной воспользуемся подстановкой в непрерывную передаточную функцию управляющего устройства $K_y(P)$

$$P = \frac{2}{T_0} \left(\frac{Z-1}{Z+1} \right),$$

здесь T_0 – шаг квантования по времени непрерывного сигнала [3]. Данный метод преобразования непрерывной передаточной функции в дискретную является приближенным. Погрешность преобразования тем меньше, чем меньше величина шага квантования T_0 . Допустимая величина T_0 определяется соотношением $T_0 < 1/10\omega_c$, где ω_c – частота среза системы. Кроме того, нужно выполнить также условие $T_0 \leq T_{\min}$, где T_{\min} – минимальная постоянная времени в передаточной функции управляющего устройства.

Рассмотрим пример расчета цифрового управляющего устройства для объекта с передаточной функцией

$$K_0(P) = \frac{0,2e^{-0,5P}}{P+1}.$$

Пусть требуемая величина коэффициента усиления системы равна 100. Система статическая. По формулам (7) находим постоянные времени T_1 и T_2 :

$$T_1 = \frac{K\tau}{0,7} = \frac{100 \cdot 0,5}{0,7} = 71,4; \quad T_2 = 0,3\tau = 0,3 \cdot 0,5 = 0,15.$$

Желаемая передаточная функция разомкнутой системы имеет вид

$$K_{ж}(P) = \frac{(0,15P+1)e^{-0,5P}}{71P+1}.$$

Передаточная функция непрерывного управляющего устройства равна

$$K_{yy}(P) = \frac{K_{ж}(P)}{K_0(P)} = \frac{500(0,15P+1)(P+1)}{71P+1}.$$

В таком виде управляющее устройство физически нереализуемо. Для обеспечения реализуемости вводим в знаменатель дополнительную малую постоянную времени:

$$K_{yy}(P) = \frac{500(0,15P+1)(P+1)}{(71P+1)(0,01P+1)}. \quad (19)$$

Для перехода к дискретной передаточной функции необходимо определить частоту среза желаемой системы, чтобы правильно выбрать шаг квантования по времени. Частоту среза определим по формуле (9):

$$\omega_c = \sqrt{\frac{100^2 - 1}{71^2 - 100^2 \cdot 0,15^2}} = 1,44.$$

Выбираем шаг квантования по времени из условия $T_0 < 0,1/\omega_c = 0,07$. Принимаем $T_0 = 0,01$.

Дискретная передаточная функция управляющего устройства получена в виде

$$K(Z) = \frac{S_2 Z^2 + S_1 Z + S_0}{G_2 Z^2 + G_1 Z + G_0}. \quad (20)$$

$$S_0 = 288.55; \quad S_1 = -599.9; \quad S_2 = 311.55; \quad G_0 = 1.4199; \quad G_1 = -5.6798; \quad G_2 = 4.2603.$$

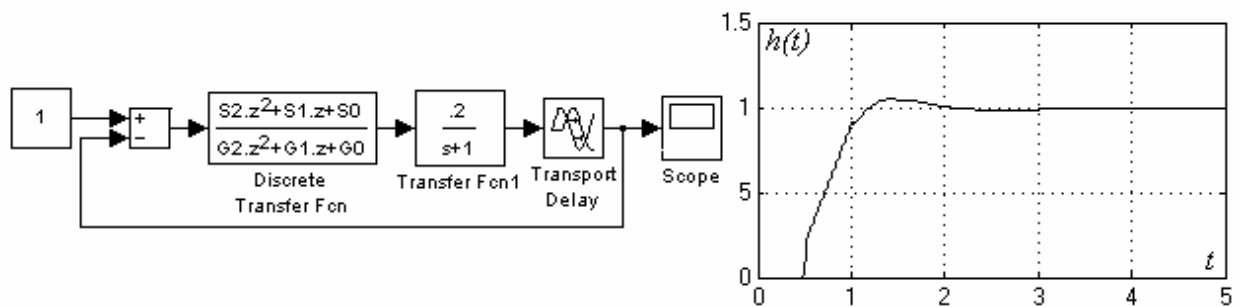


Рис.6. Схема модели с дискретным управляющим устройством

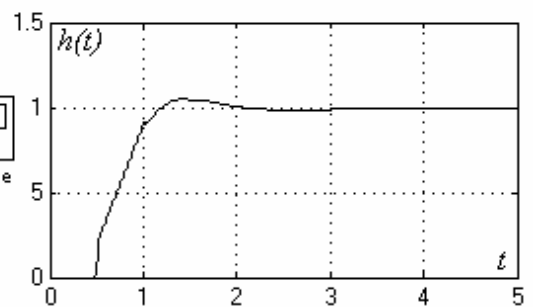


Рис.7. Результат моделирования системы с дискретным управляющим устройством

На рис.6 показана схема модели с дискретным управляющим устройством (20). На рис.7 – результат моделирования системы с дискретным управляющим устройством. Моделирование проводилось в пакете MATLAB-Simulink.

The method of calculation of managing device (MD) for inertial object of the first order with transport delay is considered. The method allows calculating parameters MD providing the characteristic of system with minimal time of transition of process.

MD it is realized in a discrete kind. The method of definition of discrete transfer function MD on continuous is resulted. Examples and results of modeling in system MATLAB-Simulink are resulted.

1. Ротач В.Я. Расчет настройки промышленных систем регулирования. – М.,Л.: Госэнергоиздат, 1961.
2. Стефани Е.П. Основы расчёта настройки регуляторов теплоэнергетических процессов. – М.: Энергия, 1972.
3. Солодовников В.В., Коньков В.Г., Суханов В.А., Шевяков О.В. Микропроцессорные автоматические системы регулирования. Основы теории и элементы. - М.: Высшая школа, 1991.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 62-52:621.9.06

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ СТАБІЛІЗАЦІЇ ПОТУЖНОСТІ РІЗАННЯ МЕТАЛООБРОБНОГО ВЕРСТАТА З ФАЗИ-РЕГУЛЯТОРОМ

Водічев В.А., Мухаммед М.А.

Автоматизовані системи керування робочими рухами верстатів, що стабілізують потужність різання, забезпечують підвищення продуктивності і точності металообробки. [1, 2]. Для цих систем характерна робота під впливом параметричних збурень, які обумовлені зміною величини припуску, що знімається. Дія збурень обумовлює зміну коефіцієнта передачі об'єкта керування, що призводить до погіршення якості перехідних процесів у системі стабілізації і може зробити систему нестійкою.

Для забезпечення стійкості і поліпшення якості перехідних процесів у системах стабілізації потужності різання з регулюванням за відхиленням вихідної координати від заданого значення застосовують пристрої випереджуючої корекції [1] чи використовують гнучкий зворотний зв'язок за регульованою координатою [2]. Проте в першому випадку наявне значне перерегулювання потужності при зміні глибини різання стрибком, а в другому випадку не вдається поєднати у системі добру якість перехідних процесів і малу статичну похибку в усталеному режимі. В сучасних умовах в багатьох випадках недоліки класичних систем керування технологічними процесами можуть бути компенсовані шляхом застосування фази-регуляторів. Проте дослідженням шляхів застосування цих регуляторів у системах, що стабілізують силові параметри процесу металообробки, у літературі уваги не приділено.

Метою роботи є дослідження можливості створення на основі фази-регулятора системи стабілізації потужності різання металообробного верстата з високими статичними і динамічними характеристиками.

Об'єктом управління у такій системі є технологічний процес металообробки, керуючою дією – швидкість подачі виконавчого органу верстата, а основними збурюючими діями – зміни глибини та ширини обробки. Синтез системи стабілізації потужності різання для вертикально-фрезерного верстата виконано в пакеті програм Matlab з використанням бібліотеки «Fuzzy Logic Tool Box» [3]. Модель системи у середовищі Simulink (рис. 1) містить блоки моделей процесу обробки з датчиком потужності різання, електропривода подачі верстата і фази-контролера. Математична модель процесу обробки побудована на основі емпіричних залежностей, що пов'язують потужність обробки з керуючою і збурюючими діями в усталеному режимі [2]. Для врахування динамічних властивостей процесу обробки у складі моделі використано аперіодичну ланку першого порядку зі сталою часу, що є зворотно пропорційною частоті обертання фрези [1]. Інформація про поточне значення потужності різання надходить на вхід фази-контролера від датчика активної потужності асинхронного двигуна головного руху верстата. Для врахування електромагнітної інерційності цих елементів системи їх подано в моделі аперіодичними ланками першого порядку. Модель електропривода подачі стола верстата відповідає комплектному імпульсному електроприводу постійного струму типу ЕШМ1, система управління якого містить пропорційно – інтегральний регулятор швидкості і релейний регулятор струму двигуна [2]. Механічну частину електропривода подачі представлено у моделі двомасовою розрахунковою схемою [4]. Вона враховує пружні властивості механічної передачі фрезерного верстата моделі 6Б75В, що

складається з редуктора, передачі гвинт-гайка і елементів її кріплення. На вхід електропривода подачі надходить сигнал задання максимальної швидкості $u_{зш}$ разом з вихідним сигналом інтегратора u_i , на вхід якого надходить сигнал u_k , що сформований фази-регулятором.

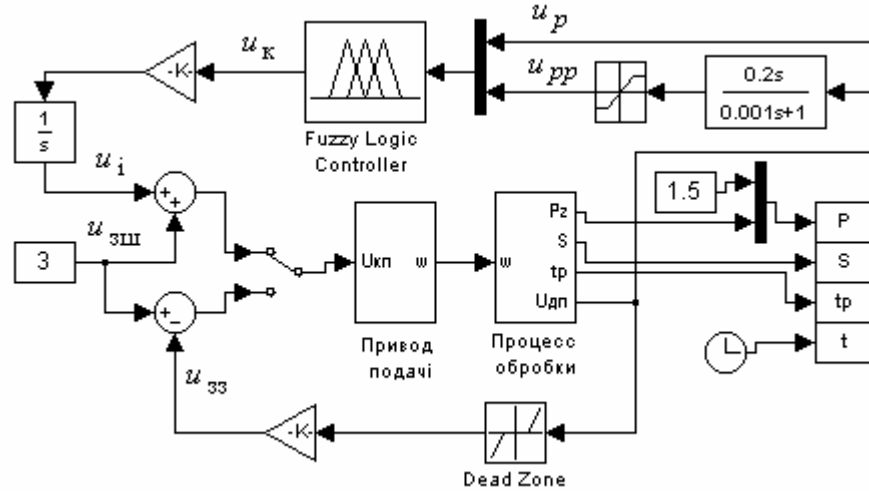


Рис. 1 Схема моделі системи стабілізації потужності різання з фази-регулятором

Регулятор аналізує стан двох вхідних сигналів, що пропорційні потужності обробки u_p і похідній цієї потужності u_p . Для вхідної лінгвістичної змінної „потужність” задамо три лінгвістичні терми: дорівнює заданому значенню, менша за задану, більша за задану. Їм відповідають функції приналежності з іменами PZ, PNB, PPB (рис. 2, а).

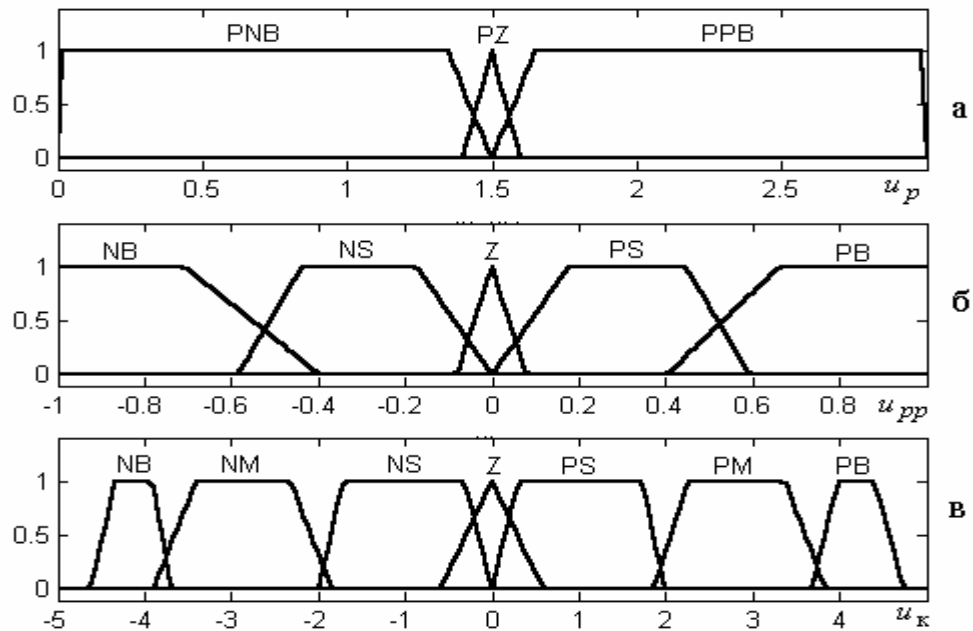


Рис. 2 Графіки функцій приналежності вхідних і вихідного сигналів

Вхідній змінній „похідна потужності” відповідає п'ять лінгвістичних термів: негативна велика NB, негативна мала NS, нуль Z, позитивна мала PS, позитивна велика PB (рис. 2, б). Вихідний сигнал фази-регулятора u_k задає напрям корекції поточного значення швидкості подачі. Вихідній змінній „корекція” відповідає сім лінгвістичних термів: негативна велика NB, негативна середня NM, негативна мала NS, нуль Z, позитивна мала PS, позитивна середня PM, позитивна велика PB (рис. 2, в).

При складанні фази-правил як експертні знання використані результати аналізу перехідних процесів, що були отримані при моделюванні системи з класичним

регулятором. Експертні лінгвістичні вислови, що відображають зв'язок між змінними „потужність”, „похідна потужності”, „корекція”, подані у табл.1. Кожний рядок таблиці відповідає одному правилу.

Таблиця 1

База знань для формування фази-правил

№	Потужність	Похідна потужності	Корекція
1	Дорівнює заданій	Негативна велика	Позитивна середня
2	Дорівнює заданій	Негативна мала	Позитивна мала
3	Дорівнює заданій	Нуль	Нуль
4	Дорівнює заданій	Позитивна мала	Негативна мала
5	Дорівнює заданій	Позитивна велика	Негативна середня
6	Більше заданої	Негативна велика	Позитивна мала
7	Більше заданої	Негативна мала	Нуль
8	Більше заданої	Нуль	Негативна мала
9	Більше заданої	Позитивна мала	Негативна середня
10	Більше заданої	Позитивна велика	Негативна велика
11	Менше заданої	Негативна велика	Позитивна велика
12	Менше заданої	Негативна мала	Позитивна середня
13	Менше заданої	Нуль	Позитивна мала
14	Менше заданої	Позитивна мала	Нуль
15	Менше заданої	Позитивна велика	Негативна середня

При розробці фази-блоку за допомогою «Fuzzy Logic Tool Box» застосовано систему інференції Мамдані. Дефазифікацію виконано методом центра тяжіння (centroid).

Результати дослідження розробленої системи на моделі (рис. 1) подані у вигляді графіків залежностей потужності різання P_z , швидкості подачі S стола верстата і глибини різання t_p від часу t (рис.3).

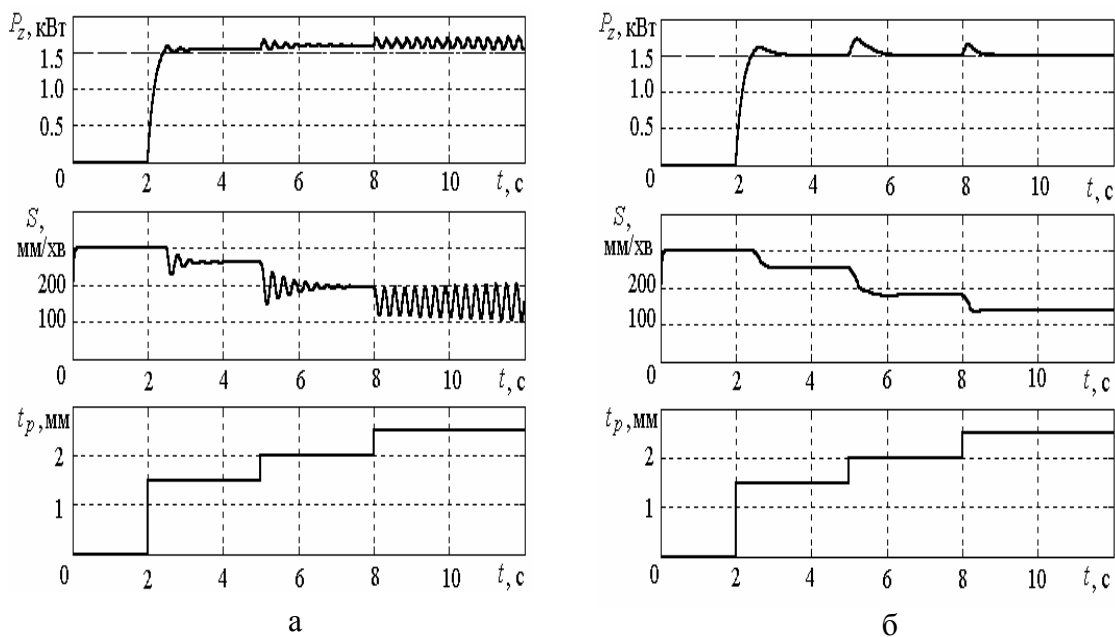


Рис. 3 Часові діаграми роботи систем стабілізації потужності

Моделювання проведено для процесу обробки на легкому фрезерному верстаті моделі 6Б75В з електроприводом головного руху на базі асинхронного двигуна з

короткозамкненим ротором з регулюванням швидкості шпинделя переключенням ступенів коробки швидкостей. Задане значення потужності обробки прийнято таким, що дорівнює номінальній потужності двигуна головного руху у 1,5 кВт. Цей двигун, як джерело інформації про потужність різання представлено аперіодичною ланкою першого порядку зі сталою часу, що дорівнює електромагнітній сталій часу 0,05 с. Датчик активної потужності двигуна представлено аперіодичною ланкою зі сталою часу 0,02 с. Потужність втрат у двигуні і механічній передачі не враховувалась. Коефіцієнти і показники степеня у моделі процесу обробки відповідають обробці сталюї заготовки кінцевою фрезою діаметром $D_{\phi} = 50$ мм з шістьо зубами при ширині обробки $B=40$ мм з постійною частотою обертання шпинделя $n=300$ об/хв, Цій частоті обертання відповідає стала часу процесу обробки у 0,2 с [1].

При моделюванні проведено порівняння розробленої системи з традиційною системою стабілізації з нелінійним технологічним зворотним зв'язком без пристрою корекції (нижнє положення перемикача у наведеній на рис.1 схемі моделі). Як видно з графіків (рис. 3, а) система без корекції при зміні глибини обробки підтримує задане значення потужності з похибкою в усталеному режимі, а при значній зміні глибини t_p втрачає стійкість. Система з фази-регулятором в таких самих умовах обробки в усталеному режимі підтримує потужність різання на заданому рівні без похибки (рис. 3, б), перехідні процеси, що обумовлені зміною глибини різання стрибком, відбуваються без коливань, а перерегулювання потужності не перевищує 14 % від заданого значення.

Проведене дослідження свідчить, що на базі фази-регуляторів можуть бути створені системи стабілізації силових параметрів процесів металообробки з високими статичними і динамічними характеристиками. При застосуванні таких регуляторів можуть бути використані переваги фази-технології, які полягають в тому, що для настроювання регулятора застосовуються вихідні дані, що отримані з досвіду і виражені природною мовою, а також в швидкості настроювання регулятора і відносно малому обсязі пам'яті, що займає фази-блок у пам'яті програмованого контролера.

The paper deals with the application of fuzzy-regulator for feed electric drive control in the automated system, which maintains the cutting power of machine-tool on required level and increases machine-tool productivity. The results of investigation of the system on mathematical model are presented.

1. Шапарев Н.К. Расчет автоматизированных электроприводов систем управления металлообработкой. – К.: Лыбидь, 1992. – 272 с.
2. Водічев В.А. Синтез і дослідження статичної системи стабілізації потужності різання металообробного верстата // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: ХГТУ. – 2002. – №1 (10). – С. 104-110.
3. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzy TECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003.- 736 с.
4. Теорія електропривода: Підручник / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін.; За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища школа, 1993. – 494 с.

ПРОЕКТУВАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ НА НЕЙРОННИХ МЕРЕЖАХ

Квасніков В.П., Кочеткова О.В.

Вступ

Проектування прецизійних координатно-вимірювальних машин (КВМ), що характеризуються високим рівнем інтелектуалізації вимірювання геометричних розмірів деталей, значно відрізняється від проектування автоматизованих систем високої точності. Перспективним напрямком розробки КВМ для вимірювання деталей авіаційних приладів є використання штучних нейронних мереж, дослідження яких почалося ще в 60-і роки, завдяки біонічному направленню в кібернетиці.

В останні роки структури штучних нейронних мереж викликають підвищену зацікавленість і застосовуються в різноманітних областях науки і техніки, в залежності від їх основних функціональних властивостей, що сприяє розвитку нейрокомп'ютерної техніки і її використанню для обробки вхідної інформації.

Нейронні мережі (НМ) представляють собою системи, елементами якої є базові процесорні елементи (штучні нейрони). Штучні НМ можуть змінювати свою поведінку в залежності від внутрішніх і зовнішніх впливів та використовуються для розв'язання задач розпізнавання і класифікації, обробки зображень та сигналів датчиків, системи ідентифікації і керування рухом, планування маршруту, навігації та ін.

Системи керування КВМ розробляються як модульні так і ієрархічні, що складаються із взаємодіючих модулів, які вирішують означені задачі на різних рівнях керування. Одночасно, КВМ повинні забезпечуватися трирівневими, з інтелектуальними особливостями, функціями [1–3].

Постановка задачі

Розробити нову прецизійну КВМ з підвищеними метрологічними характеристиками на штучних НМ, що дозволяє з високою точністю та швидкістю проводити вимірювання прецизійних деталей та провести аналіз просторового руху вимірювального наконечника при подоланні перешкод.

Розв'язання проблеми

Розглянемо вимірювання деталей різної конфігурації на КВМ з використанням НМ, що реалізуються у формі самонавчання комп'ютерних програм.

Оптимальна траєкторія вимірювального наконечника визначається як безпечний маршрут (М), що забезпечує мінімум функціоналу [4-6].

$$\Phi(M) = \sum_j \left(k_1 d_{i_j, i_{j+1}} + k_2 \left| f_{i_{j-1}, i_j, i_{j+1}} \right| \right), \quad (1)$$

де $k_1 \geq 0$, $k_2 \geq 0$ — константи, що характеризують енергетичні витрати на переміщення і поворот; $d_{i, i+1}$ — довжина j -ї ділянки руху з точки i_j у точку i_{j+1} поверхні; $f_{i_{j-1}, i_j, i_{j+1}}$ — кут повороту в точці i_j при переході від $(j-1)$ -ї ділянки до j -ї.

Проаналізуємо просторові траєкторії кусочно-лінійного виду, що дозволяє визначити маршрут для поверхні і перешкод довільної конфігурації.

Для вибору оптимального маршруту пропонується використовувати мережу Хопфілда як один із класичних типів НМ [1]. Параметри нейромережі визначаються елементами матриці W , що характеризує стан мережі, і енергетичною функцією E , що відповідає як даній матриці, так і мінімізуємого функціоналу, тобто значення функції

повинне задовольняти умовам формування матриці і зменшуватися при зменшенні вихідного функціоналу.

Статика мережі Хопфілда в векторно-матричній формі описується співвідношенням [1]

$$s(k) = W_q(k) + r - W_0, \quad (2)$$

де $s(k)$ - компоненти векторної функції обчислюються як

$$s_i(k) = \sum_{j=1, j \neq i}^n w_{i,j} q_j + r_i - w_{0i}, \quad i = \overline{1, n}.$$

Динаміка мережі Хопфілда забезпечується через елементи затримки $z^{-1} = e^{-\Delta t}$ (Δt - період дискретизації безперервних функцій $q_j(k)$) введенням зворотних зв'язків з виходів $q_j(k)$ на входи базових елементів ($i \neq j$). У цьому випадку НМ відповідає нелінійній багатов'язній системі з векторними зворотними зв'язками. Вихід дискретної моделі мережі Хопфілда в векторній формі має вигляд

$$q(k+1) = f(q(k), r(k)), \quad k = 0, 1, \dots; \quad (3)$$

де $f(\cdot) = \text{col}(f(s_1), \dots, f(s_n))$ - вектор нелінійних функцій активації.

Для вибору оптимального маршруту при русі по поверхні, заданої кінцевим набором точок у декартовому просторі, зручно поставити у відповідність кожної траєкторії бінарну матрицю W розмірності $N \times N$ (N - число точок, включаючи початкову точку та кінцеву - точку вимірювання): якщо i - а ділянка руху ($i = \overline{1, N-1}$) починається в точці m і закінчується в точці r поверхні, то елементи (m, i) та $(r, i+1)$ будуть дорівнювати одиниці; інші елементи матриці покладаються рівними нулю.

У цьому випадку умови формування матриці можна записати в такому вигляді:

- кожен стовпець повинен містити не більш однієї одиниці, тому що ділянка руху не може починатися і закінчуватися одночасно в двох точках;
- загальне число одиниць дорівнює N ;
- кожен елемент $(1, 1)$ і (N, N) повинен дорівнювати одиниці (визначає точку старту - 1 і точку вимірювання - N).

Тоді енергетична функція мережі може бути представлена сумою двох доданків:

$$E = E_1 + E_2 \quad (4)$$

Енергетичні функції E_1, E_2 мають вигляд

$$E_i = -0,5 \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_{i,j} \cdot q_i q_j - \sum_{j=1}^n r_j \cdot q_j + \sum_{j=1}^n \Delta_j \cdot q_j, \quad (5)$$

де q_i, q_j - граничні функції активації, $w_{i,j}$ - ваговий коефіцієнт синоптичних зв'язків штучних нейронів, r_j - функція перетворення (входи), Δ_j - граничне значення функції активації,

$$q_{ij} = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \text{ – символ Кронекера.} \quad (6)$$

У формулі (4) перший доданок відповідає контролю за станом матриці і дорівнює нулю, якщо матриця задовольняє перерахованим вище умовам її цьому випадку умови формування матриці можна записати в такий спосіб:

- кожен стовпець повинен містити не більш однієї одиниці, тому що ділянка руху не може починатися і закінчуватися одночасно в двох точках;
- загальне число одиниць дорівнює N ;
- кожен елемент $(1, 1)$ і (N, N) повинен дорівнювати одиниці (визначає точку старту – 1 і точку вимірювання – N).

Енергетична функція мережі Хопфілда не містить доданка з кубічною залежністю від елементів матриці. У цьому випадку вона введена для обліку впливу кута повороту на пріоритет вибраного маршруту. Відповідним чином змінений і вид НМ. Пріоритет і зовнішні входи визначаються з умови не зростання значення E при зміні стану мережі на кожній ітерації.

НМ можуть розходитися, при рівнобіжних обчисленнях можливо одночасне спрацьовування декількох нейронів i , в силу не лінійності енергетичної функції, її значення відрізняється від очікуваних. Можливі наступні три варіанти рішення даної проблеми:

1) на кожній ітерації змінювати значення одного нейрона, зберігаючи загальний вид мережі Хопфілда, але втрачаючи основну її перевагу – паралельність, і зменшуючи в кілька разів швидкість обчислень;

2) обчислювати кінцеву різницю, виходячи з припущення про одночасну зміну значень довільного числа нейронів, що є причиною ускладнення мережі і залежність методу від розмірності задачі;

3) з аналізу зміни побудованої на першому етапі НМ було відмічено, що основна причина її нестійкості – одночасне спрацьовування декількох нейронів у сусідніх стовпцях матриці. У деяких стовпцях спостерігається поява більш ніж однієї одиниці, навпаки, всі елементи стовпця приймають нульове значення. При цьому нема сенсу ставити у відповідність визначеному маршруту матрицю стану мережі. Тому пропонується на кожній ітерації зберігати в кожному стовпці одну одиницю і ненульові значення елементів $(1, 1)$ і (N, N) матриці, тобто фіксувати початкову і кінцеву точки маршруту, а в інших стовпцях змінювати не більш ніж один елемент, виходячи з припущення, що на початку даної ітерації в даному стовпці ненульові точки відсутні (це відповідає зміні точки траєкторії).

Останній варіант найбільш прийнятний тому що точка, що має на попередній ітерації значення 1, виключається з точок повороту траєкторії (вузлів ламаної), а точка, що приймає це значення, включається. Даний підхід дозволяє на кожній ітерації визначати точку повороту, що забезпечує мінімум функціоналу $\Phi(M)$ у кожен момент часу. У цьому випадку доданок E_1 енергетичної функції стає тотожно рівним нулю і виключається із суми; також виключається коефіцієнт G з цього що складається E_2 , що значно спрощує обчислення вагових коефіцієнтів.

Можна зменшити і розмірність мережі, скоротивши максимальне число припустимих точок повороту, що не вплине на збіжність НМ і вибір маршруту вимірювального наконечника.

Використання мереж Хопфілда дозволяє вибирати оптимальний маршрут вимірювального наконечника КВМ при скануванні по вимірюваній деталі з надлишковістю ступенів вільності та з високою точністю позиціонування і роботою в екстремальних ситуаціях, включаючи обхід перешкод.

Висновок

Розроблена нова функціональна структура координатних-вимірювальних машин з використанням штучних нейронних мереж, побудованих на принципах самонавчання компютерних програм, що дозволяє з високою точністю і швидкістю здійснювати вимірювання геометричних розмірів об'єктів з обходом довільної кількості перешкод.

In clause the new functional principle of the coordinate-measuring machine with use artificial neuronetworks realized in the form of self-training of the computer programs, allowing with high accuracy and speed is developed to carry out measurement of the geometrical sizes of objects and detour of obstacles by a measuring tip on an optimum trajectory. The expression for power function neuronetwork is received.

1. Терехов В. А., Ефимов Д. В., Тюкин И. Ю. Нейросетевые системы управления .- М.:ИПРЖ. - 2002.-480 с.
2. Дапонте Д., Гримальди Д. Искусственные нейронные сети в измерениях // Приборы и системы управления. - 1999. - №3. - С.48-64.
3. Филаретов Г.Ф., Житков А.Н., Кабанов В.А. Применение искусственных нейронных сетей в системах управления // Приборы и системы управления.-1999.№4.С.3-6
4. Координатные измерительные машины и их применение/Гапшис А.А., Каспарайтис А.Ю., М.Б. Модестов, Раманаускас З.А., Серков Н.А., Чудов В.А. - М.: Машиностроение. - 1988. -328 с.
5. Дмитриев А.К., Мальцев П.А. Основы теории построения и контроля сложных систем. - Л.: Энергоатомиздат. - 1988. - 340 с.
6. Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Проектирование информационно управляющих систем. - М.: Радио и связь. - 1987. - 256 с.

УДК 681.5

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЕКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Пупена О.М, Ельперін І.В, Ладанюк А.П.

Актуальність. Одним із основних напрямків розвитку сучасних систем автоматизації є створення інтегрованих систем управління виробництвом, які вирішують задачу інтеграції традиційних АСУТП і АСУП з метою створення єдиного інформаційного простору підприємства для об'єктивної і оперативної оцінки стану підприємства, оперативного прийняття своєчасних і ефективних управлінських рішень, а також ліквідації інформаційних та організаційних бар'єрів між управлінським та технологічним рівнями [1]. Серед основних проблем створення інтегрованої системи управління на підприємстві є забезпечення сумісного функціонування технічного та програмного забезпечення, яке традиційно використовується в системах різного рівня. На сьогоднішній день проблему сумісності гетерогенних програмно-технічних засобів вирішують за допомогою використання відкритих технологій [2,3].

Однак функціонування системи в цілому залежить від правильної організації її побудови та ефективного використання всіх ресурсів її складових. Це накладає допоміжні вимоги при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих систем управління (КІСУ) - правильний вибір структури управління, способу інтеграції і т. ін [4]. Таким чином виникає потреба розробити проектну документацію, яка стосується, зокрема, процесів обміну інформаційними потоками між окремими елементами інтегрованої системи управління. Особливістю цієї частини проекту системи автоматизації є те, що вона повинна включати інформаційне, програмне та технічне забезпечення обміну різною за змістом і призначенням інформацією між робочими станціями і технічними засобами, які знаходяться на різних рівнях управління. Це можуть бути: задачі обміну інформації при вирішенні питань координації на рівні управління технологічними процесами, задачі корегування роботи АСУТП на базі обробки технологічної інформації на рівні організаційно-економічного керування виробництвом, задачі розрахунку техніко-економічних показників роботи виробництва з використанням оперативної технологічної інформації і т. і.

Тобто проектна документація для всієї комп'ютерно-інтегрованої системи управління (надалі ПД КІСУ) повинна включати не лише традиційну документацію на систему автоматизації кожної підсистеми, а і для системи в цілому, для виконання якої на сьогодні не існує стандартів. В даній статті пропонується варіант вирішення цієї задачі на основі процедур, орієнтованих на комп'ютерні технології.

В залежності від ситуації процес проектування може йти по різному. Можна виділити дві типові ситуації:

- проект для всієї системи управління розробляється "з нуля";
- кінцева система повинна бути результатом інтеграції підсистем, шляхом заміни частини складових цих підсистем або добавлення нових.

При розробці всієї системи "з нуля" ПД КІСУ є початковою для проектів АСУТП, тобто проект АСУТП розробляється з урахуванням вимог до нього з боку проекту КІСУ.

При вдосконаленні системи, додатковими вихідними даними при проектуванні КІСУ являються обмеження, пов'язані з існуючими підсистемами. Таким чином в цьому випадку ПД АСУТП є додатковим джерелом для розробки проекту КІСУ, а ПД КІСУ – завданням для вдосконалення системи автоматизації підсистеми.

Виходячи з наведених вище причин, проектна документація для КІСУ являється завданням для розробки або вдосконалення проектів АСУТП. Вага деталізації в ньому

зміщена з рівня датчиків та виконавчих механізмів до рівня апаратного та програмного забезпечення мікропроцесорних пристроїв, пов'язаних з їх інтеграцією в єдину систему. Але з іншого боку по ній розробляється програмне забезпечення для вирішення специфічних задач всієї системи, проводиться настройка та інсталяція мережевих компонентів, прокладка комунікацій. Це значить, що ПД КІСУ, як частина проектною документації для всієї системи, повинна вміщувати ряд специфічних до покладених задач схем та креслень, які на сьогоднішній день не описані в стандартах.

Проектна документація КІСУ повинна показати:

- функціонування КІСУ як розподіленої системи управління;
- апаратну реалізацію КІСУ в контексті промислових та комп'ютерних мереж;
- схеми підключення та територіальне розміщення обладнання в пунктах управління, заводських приміщеннях і т.д. з метою кінцевого монтажу;
- функціонування системи в контексті програмної взаємодії;

Виходячи з цих вимог, на наш погляд, проектна документація комп'ютерно-інтегрованої системи управління може включати:

- системний аналіз об'єкта;
- графове представлення схеми інформаційних потоків;
- загальну структурну схему управління;
- схеми з'єднань пристроїв комп'ютерних та промислових мереж;
- схеми мережевих інформаційних потоків;
- план розміщення мережевих комунікацій та мережевого обладнання;

Розглянемо варіант виконання цих розділів проекту на прикладі розроблення комп'ютерно-інтегрованої системи управління цукровим виробництвом, основні відділення якого автоматизовані з використанням сучасних мікропроцесорних засобів автоматизації: промислових контролерів (ПЛК); автоматизованих робочих місць (АРМ) на базі промислових або офісних ПЕОМ з встановленим відповідним програмним забезпеченням (наприклад SCADA-проограм); мікропроцесорних операторських панелей (ОП); частотних перетворювачів (ЧПР) для управління асинхронними двигунами. Для наочності в системі управління використовуються ПЛК різних виробників.

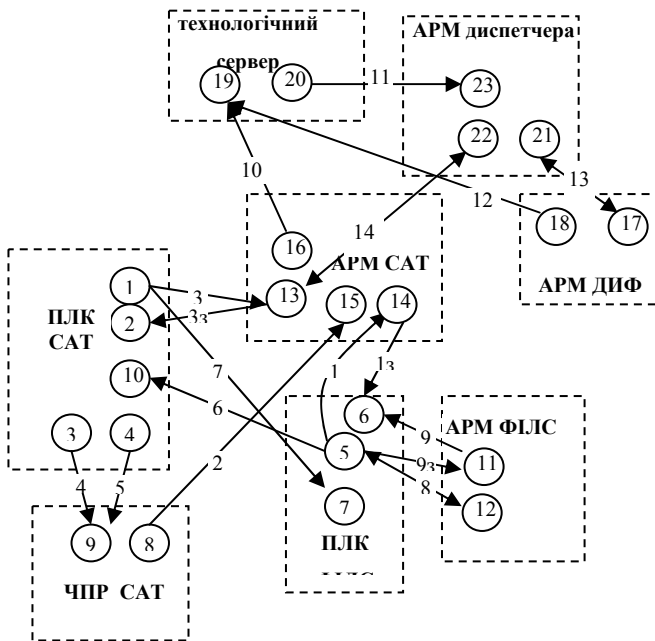
Так як обсяг статті не дозволяє розглянути проектну документацію для системи у повному обсязі, тут і далі будуть наводитись лише окремі приклади. Так у наведеному прикладі, при побудові інтегрованої системи управління передбачається, що система повинна забезпечити:

- у сокоочистному відділенні - автоматичну координацію процесу фільтрації соку 1-ї сатурації та процесу дефекосатурації;
- координацію роботи по матеріальному потоку сокоочистного і дифузійних відділень;
- централізоване диспетчерське управління основним продуктовим потоком;
- передачу інформації про технологічні та енергетичні показники на рівень організаційно-економічного управління.

Графове представлення інформаційних потоків. Основою розробки є результат системного аналізу об'єкта управління, формальним представленням якого може бути схема інформаційних потоків у вигляді потокового орієнтованого графа. Вершинами графа є реалізація функцій системи (процес рішення і отримані результати), а дуги показують інформацію (аргументи функцій), яку треба передати для реалізації функцій.

В графовій моделі показуються лише ті функції, які будуть використовуватись у мережевому обміні між окремими елементами і технічними засобами системи управління. Однак на початку розробки проекту бажано розглянути більш детальну графову модель інформаційних потоків, що дозволить візуально представити поставлену задачу, та допомогти в організації її вирішення. При описі функцій системи (вершин графа) і інформації, яка буде передаватись для їх реалізації (дуги графа), можуть бути наведені додаткові умови. Наприклад, для функції "управління" може бути наведена деталізація і

характеристики окремих параметрів; для функцій моніторингу за значеннями технологічних параметрів може бути наведений їх перелік з указанням діапазону вимірювання, дискретністю опитування і т.ін. Таку інформацію краще наводити у табличній формі.



- Вершини:**
 1, 5, 8 – опитування та збереження локальних даних;
 2, 6, 9 - реалізація управляючих дій, настройка контурів регулювання;
 3 – управління F соку на гарячий дефекатор;
 4 – управління станом комунікаційного обміну;
 7 – управління фільтрами;
 10 – контроль за рівнями в збірниках фільтрованого та нефільтрованого соку;
 11 – анімація технологічного процесу фільтрації;
 12 – управління станом операторської панелі;
 13 – анімація технологічного процесу дефекосатурації;
 14 – анімація технологічного процесу фільтрації;
 15 – контроль роботи приводу насоса соку на гарячий дефекатор;
 16, 18 – збереження даних;
 17 – анімація технологічного процесу дифузії;
 19 – управління збереженням даних;
 20 – управління доступом до даних для читання;
 21 – управління подачею соку на сатурацію;
 22 – управління подачею соку на випарку;
 23 – відображення архівних даних

Дуги:

1ч – параметри для відображення стану фільтрації; 1з – параметри для диспетчерського управління та зміни завдання на фільтрацію;
 2 – параметри, які відображають стан приводу насоса подачі соку на гарячий дефекатор; 3ч - параметри для відображення стану дефекосатурації; 3з – параметри для диспетчерського управління та зміни завдання на дефекосатурацію; 4 – задана частота обертання, параметри управління приводом, задане значення ПІ-регулятора; 5 – команда на включення роботи приводу з комунікацією; при старті ПЛК; 6 – рівень в збірниках фільтрованого соку та нефільтрованого соку; 7 - F соку на дефекосатурацію, F соку на гар. дефекатор 1-ї сатурації, F соку на 2-гу сатурацію; 8 – сторінки для відображення, стан кнопок, аварійна таблиця; 9ч - параметри для відображення стану; 9з – параметри для диспетчерського управління та зміни завдання на фільтрацію; 10,12 – параметри для збереження; 11 – параметри для читання; 13 - параметри для відображення стану та для диспетчерського управління та зміни завдання на відділення дифузії; 14 - параметри для відображення стану та для диспетчерського управління та зміни завдання на відділення дефекосатурації.

Рис. 1 Графова модель інформаційних потоків в КІСУ

Загальна структурна схема управління. Структурну схему управління підприємством виконують в проміжному етапі між постановкою задачі обміну інформацією в графовому вигляді, та конкретним її вирішенням у вигляді схем з'єднань пристроїв промислових та комп'ютерних мереж та схеми інформаційних потоків для її реалізації. На рис.2 показаний приклад такої схеми.

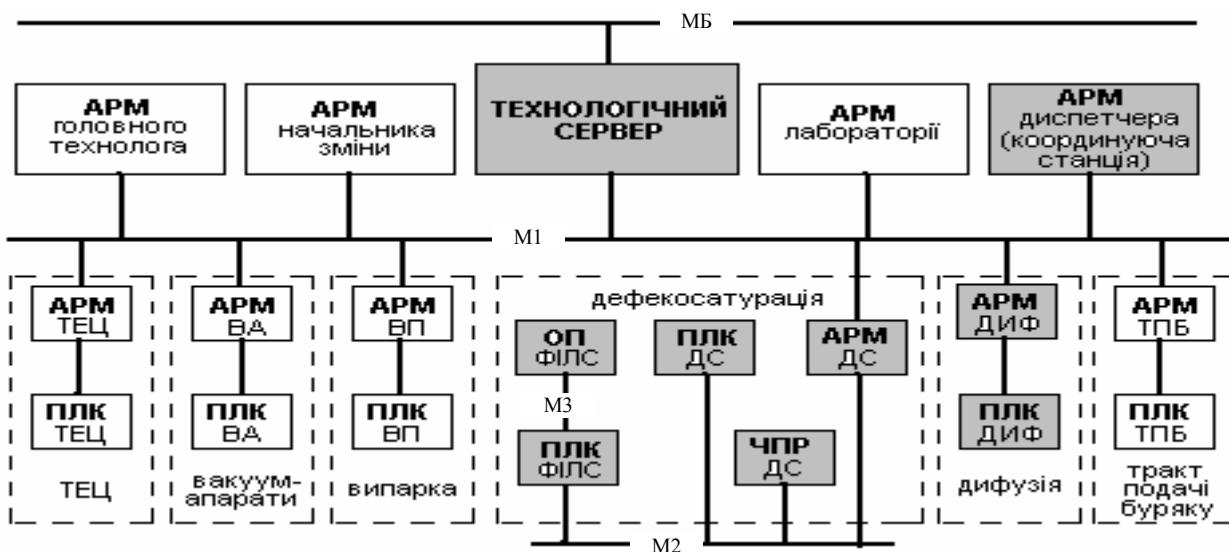


Рис.2. Структурна схема управління.

Метою цієї схеми є вибір типу промислових та комп'ютерних мереж, які необхідно реалізувати в інтегрованій системі управління для забезпечення інформаційного обміну між окремими елементами системи у відповідності з розробленим графом інформаційних потоків.

До структурної схеми додається специфікація, можливий вигляд якої наведений у табл. 1. У прикладі наведені характеристики лише для мереж і виділених елементів, для яких у подальшому будуть показані схеми з'єднань.

Таблица 1.

Спецификация.

Позначення	Призначення мережі	Характеристика
М1	Локальна обчислювальна мережа (ЛОМ) виробництва	Ethernet 100 Base-TX
М2	Локальна мережа управління (ЛМУ) відділення дефекоаатурації	Unitelway на RS-485
М3	ЛМУ станції ФІЛС	Unitelway на RS-485
МБ	ЛОМ організаційно-економічних відділів	Ethernet 100 Base-TX

У наведеному прикладі показано, що для того щоб забезпечити моніторинг роботи сокоочистного відділення і автоматичну координацію управління процесом фільтрації соку 1-ї сатурації вибрана промислова мережа Uni-Telway (М2). Для реалізації задач координації роботи по матеріальному потоку сокоочистного і дифузійних відділень, а також централізованого диспетчерського управління основним продуктовим потоком використовується комп'ютерна мережа Ethernet (М1), яка зв'язує АРМи різних відділень і координуючу станцію АРМ диспетчера. Передача технологічної і енергетичної інформації на рівень організаційно-економічного управління відбувається за допомогою технологічного сервера. Безумовно, можуть бути запропоновані і інші варіанти реалізації функцій системи.

Схеми з'єднань пристроїв обчислювальних мереж. Від структурних схем управління можна перейти до розділу проекту, матеріали якого забезпечують його реалізацію з урахуванням всіх вимог до проектованої системи. Він включає в себе вибір апаратних та програмних засобів, їх конфігурацію та програмування.

Це може бути представлено у вигляді схем з'єднань пристроїв обчислювальних мереж, на яких показуються:

- пристрої та спосіб їх об'єднання у мережу;
- мережеве обладнання та його настройки.

В графічній частині на схемі показуються:

- пристрої, які приймають безпосередню участь в мережевому обміні, з обов'язковим їх маркуванням унікальними для всього проекту ідентифікаторами;
- спосіб підключення пристроїв до мережі: плата або модуль, рознім в платі/модулі/пристрої, клеми і т.д. з їх маркуванням; якщо рознім (або клемна колодка) у пристрою єдиний і не маркується, можна використати умовне позначення (наприклад Х1 - для розніму, ХТ1 - для клемної колодки);
- кабелі(проводи) з'єднання між пристроями з обов'язковим їх маркуванням, унікальним для всього проекту;
- по можливості стан перемикачів, перемичок, тощо;
- для кращої наочності назву мережі/мереж;
- специфікація приладів та умовні скорочення.

Для наочності можна спростити та не показувати деякі деталі підключення, які потім можна вказати в текстовій частині.

Для маркування мережевих пристроїв можна використати наступні скорочення: ПК, РС – офісний або промисловий комп’ютер, який входить до складу відповідного АРМа ; ПЛК, PLC – програмований логічний контролер або РС-сумісний контролер; КП – коробка підключення, КК – комунікаційна карта, КАМ – комунікаційний адаптер мережі(перетворювачі); ОП – операторська панель; ЧПР – частотний перетворювач; ТС – сервер БД. Для маркування кабелів можна використати скорочення КМ – кабель мережі. Маркування повинно бути унікальним і єдиним для всього проекту, щоб можна було однозначно ідентифікувати обладнання або його частини в інших частинах проекту.

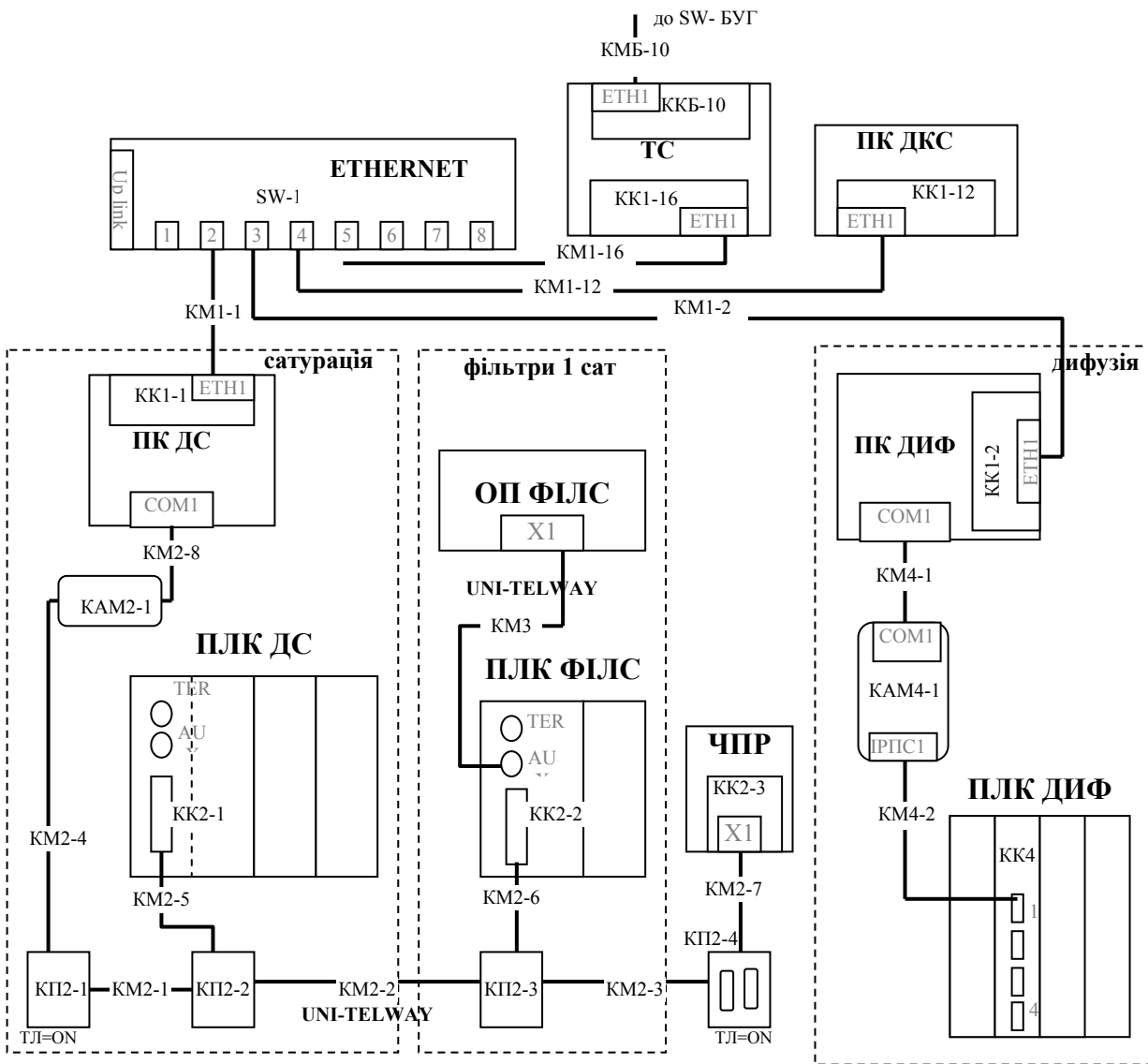


Рис. 3 Схема з'єднань пристроїв обчислювальних мереж 2,3.

В текстовій частині необхідно уточнити деталі, які не вказані на кресленні. Вона може включати специфікацію, якщо остання за певними причинами не може бути відображена на кресленні (наприклад наочність). У випадку неоднозначності підключення деяких пристроїв (наприклад використання клем) необхідно уточнити схему підключення. Крім того в текстовій частині вказуються правила підключення пристроїв, та їх апаратна/програмна конфігурація стосовно технічних засобів.

Специфікація до схеми з'єднань.

Позначення	Найменування	Назва/Виробник
ПЛК ДС	програмований логічний контролер	TSX 57302 S.E.
ОП ФІЛС	операторська панель, текстова 2-строкова на 20 символів, флюоресцентна монохромна	XBT H 021010 S.E.
ЧПР ДС	частотний перетворювач для управління асинхронним двигуном 0,37 kW	ATV 58HUO9M2 S.E.
КК1-1	мережева карта PCI для Ethernet 10Base-T	W89C940 PCI Ethernet Winb. Electr. Corp.
КМ1-1	кабель екранована подвійна вита пара для під'єднання карти Ethernet (RJ-45) до концентратора	STP 5 SHIPtech
КК2-1	комунікаційна PCMCIA карта RS485/RS422 для підключення TSX Micro/TSX Premium до UNI-TELWAY, Modbus, Character mode	TSX SCP 114 S.E.
КАМ2-1	комунікаційний адаптер перетворювач RS232<->RS485	I-7520 ICP_DAS
КП2-1	коробка для T-подібного підключення пасивна з вбудованим термінатором	TSX SCA 50 S.E.
КМ2-1...4	кабель шини, подвійна екранована вита пара	TSX CSA 110 S.E.
КМ2-5	кабель підключення UNI-TELWAY через карту TSX SCP 114 до TSX SCA 50	TSX SCP CU 4030 S.E.

Схеми з'єднань пристроїв обчислювальних мереж можна приводити як на одному, так і на декількох листах. В останньому випадку доречно розділяти листи за принципом використання різних мереж. Якщо один і той же пристрій присутній в різних мережах, то його бажано вказати в усіх кресленнях, де він використовується.

При маркуванні можна пунктиром виділяти АСУ відділенням (підсистема), мережеве обладнання можна маркувати як КМ1-1 (кабель мережі 1, 1), КП1-2 (коробка підключення для мережі 1, 2) і т.п.

Приклад схеми з'єднань наведений на рис.3, специфікація до неї в таблиці 2. Для скорочення об'єму матеріалу текстова частина не приводиться.

Схема мережевих інформаційних потоків. Схему мережевих інформаційних потоків виконують на основі схеми з'єднань пристроїв обчислювальних мереж та графа мережевих інформаційних потоків. Основна задача креслення - показати реалізацію

інформаційних потоків з точки зору програмного забезпечення, оскільки апаратна частина була показана та описана в попередньому розділі.

Схема мережевих інформаційних потоків повинна:

- дати уявлення про обмін даними в мережі;
- слугувати інструментом для вияву конфліктних ситуацій, вирішення оптимальної стратегії зв'язку, зменшення надлишкових потоків і т.д.;
- слугувати технічним завданням для програмістів, які відповідають за певну частину проекту.

Наочність дає змогу краще зрозуміти процеси обміну, які діють в системі, тому бажано особливо не насичувати її надлишковою інформацією. Саме з цієї схеми можна почати розподілення адрес між пристроями, виділення ресурсів (змінних), визначення клієнта та сервера тощо.

Для грамотної побудови такої схеми проєктант повинен розуміти основні принципи роботи мережевого обладнання, протоколів обміну, ПЗ вузлів і т.д. На ній він повинен показати:

- інформаційні потоки, які описані в розділі системного аналізу з відповідними номерами; вони можуть співпадати, об'єднуватись, добавляться, але загальна концепція повинна зберегтись, адже графове представлення більш загальне і наочне;
- блоки даних, якими оперує інформаційний потік як на стороні початкових так і кінцевих даних;
- мережеві сервіси, через які протікають інформаційні потоки;
- комунікаційні логічні канали пристроїв та програмного забезпечення, через які проходять інформаційні потоки: драйвер, логічний канал, адреса, тощо.
- уточнюючі характеристики інформаційних потоків: в графічній частині бажано показати хто ініціював запит (тип клієнт/сервер) та напрямок передачі інформації, в текстовій – частоту появи потоку та його реалізацію.

В графічній частині необхідно показати такі основні елементи: розміщення даних – початкових та кінцевих, їх потоки та шлях проходження потоків.

Дані. З точки зору графового представлення інформаційних потоків дані – це аргументи функцій та їх рішення на локальному та віддаленому вузлі. Кожний інформаційний потік починається та закінчується таблицею даних, або командами. Даними на кресленні можуть бути змінні контролера, змінні SCADA, записи в базах даних і т.д., які як правило об'єднані (згруповані) між собою по принципу: один блок даних спільний для одного інформаційного потоку. Таке об'єднання дозволяє візуально представити весь процес обміну, а інколи допомагає згрупувати змінні для зменшення навантаження на мережу. В блоках даних вказуються назви змінних, або групи змінних, таблиці змінних, таблиці, масиви, тощо. Якщо кількість змінних така, що їх представлення на схемі приведе до погіршення її читабельності, то можна поставити три крапки в середині блоку і вказати кінцеву змінну. Це має сенс, якщо вони представляють собою певний масив, і всі змінні в середині масиву можна ідентифікувати. В протилежному випадку необхідно позначити блок змінних, а в пояснювальній записці вказати перелік змінних, які відносяться до цього блоку.

Інформаційні потоки. Кожний потік має номер, який вказаний в певній геометричній фігурі на лінії потоку. Фігура вказує на тип сервісу. Наприклад для клієнт/серверних моделей сервісів, з боку клієнта (той, хто ініціює запит) вказується напрямок передачі даних, а з боку сервера – кружок. У всіх інших випадках можна вказувати просто кружок. При двосторонньому обміні (читання/запис однакових змінних), при використанні одного і того ж сервісу, два і більше потоки можна показувати як один. При цьому зі сторони клієнта вказується двостороння стрілка а в текстовій частині інформація уточнюється.

Шлях проходження інформаційних потоків. На кресленні вказуються логічні шляхи проходження потоку. Кожний потік починається з даних. Початком потоку можна вважати бік його ініціювання. Далі вказується програмне забезпечення, що відповідає за обмін (драйвери пристроїв, бібліотеки обміну і т.д.) в порядку слідування потоку. Якщо ці складові приховані від проєктанта і вважаються внутрішньою закритою складовою програмно-технічного засобу, то її вказувати не потрібно. Вказуються лише ті частини ПЗ, які неоднозначні і можуть бути замінені на альтернативні. Наприклад, робота з базою даних може йти як через власні або фірмові драйвери, так і через відкриті ODBC або OLEDB. Вказувати частини ПЗ, що відповідають за обмін, надзвичайно важливо, оскільки це дає уявлення про його реалізацію.

Після ПЗ вказуються адреси (при необхідності) та логічні канали, якими "закінчується" програмно-технічний засіб. Логічний канал являється відображенням фізичного каналу, а його маркування залежить від реалізації та типу ПЗ. Якщо ніякого представлення каналу в немає, в загальному випадку логічний канал може мати вигляд:

тип_ком_обл : номер_плати . номер_каналу

Такий вигляд необхідний для зрозумілої ідентифікації каналу. Логічні канали на одному пристрої не можуть мати один і той же ідентифікатор.

Адреса(-си) прив'язуються до логічних каналів. Можуть бути випадки, коли на одному логічному каналі можуть бути декілька адрес. В такому випадку пристрій на одному каналі може "говорити" від різних адрес, а отже необхідно їх вказати на шляху інформаційних каналів.

Після каналу всі потоки об'єднуються в одну інформаційну шину, що являє собою єдиний сервіс, яким вони користуються. Таке представлення дає змогу побачити реалізацію потоку і згрупувати їх за певним принципом задля оцінки навантаження на мережу. Одна мережа і навіть один протокол може підтримувати декілька сервісів. Інформаційні шини не обов'язково повинні відповідати сервісам протоколу одного рівня (наприклад прикладного), але повинні однозначно вказати чим користуються інформаційні потоки.

Інформаційний потік закінчується аналогічно, як і починався. Тому "початок" потоку є умовним і не обов'язково починається зі сторони клієнта.

В текстовій частині повинен бути описаний кожний інформаційний потік з точки зору його реалізації. Це параметри інформаційних потоків за їх номерами: періодичність обміну, уточнення до способу реалізації. До схеми можуть бути добавлені листи з таблицями змінних, які умовно позначені на схемі. Рекомендується використовувати таблицю мережевих змінних, для перехресних вказівок.

Креслення рекомендується приводити окремо для кожної мережі (рівня мереж), якщо дані з пристрою одної мережі (одне креслення) безпосередньо не передаються на пристрої іншої мережі (друге креслення). Тобто інформаційний потік графічно бажано не "розривати". Крім того краще не переобтяжувати креслення мало-важливою інформацією, яку можна вказати в текстовій частині, оскільки втрачається його читабельність. Якщо для одного і того ж потоку використовується велика кількість даних, краще ці дані позначити умовно як таблицю і винести їх деталізацію в записку.

Приклад виконання функціональної схеми інформаційних потоків продемонстрований на рис.4. Текстова частина і специфікація до неї не приводиться з метою зменшення об'єму викладеного матеріалу.

Використання даних підходів можливе як при проєктуванні реальних комп'ютерно-інтегрованих систем управління так і в навчальному процесі. На сьогоднішній день вони використовуються при виконанні студентами курсових і дипломних проєктів за спеціальністю 7.092502 "Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва" на кафедрі автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету харчових технологій.

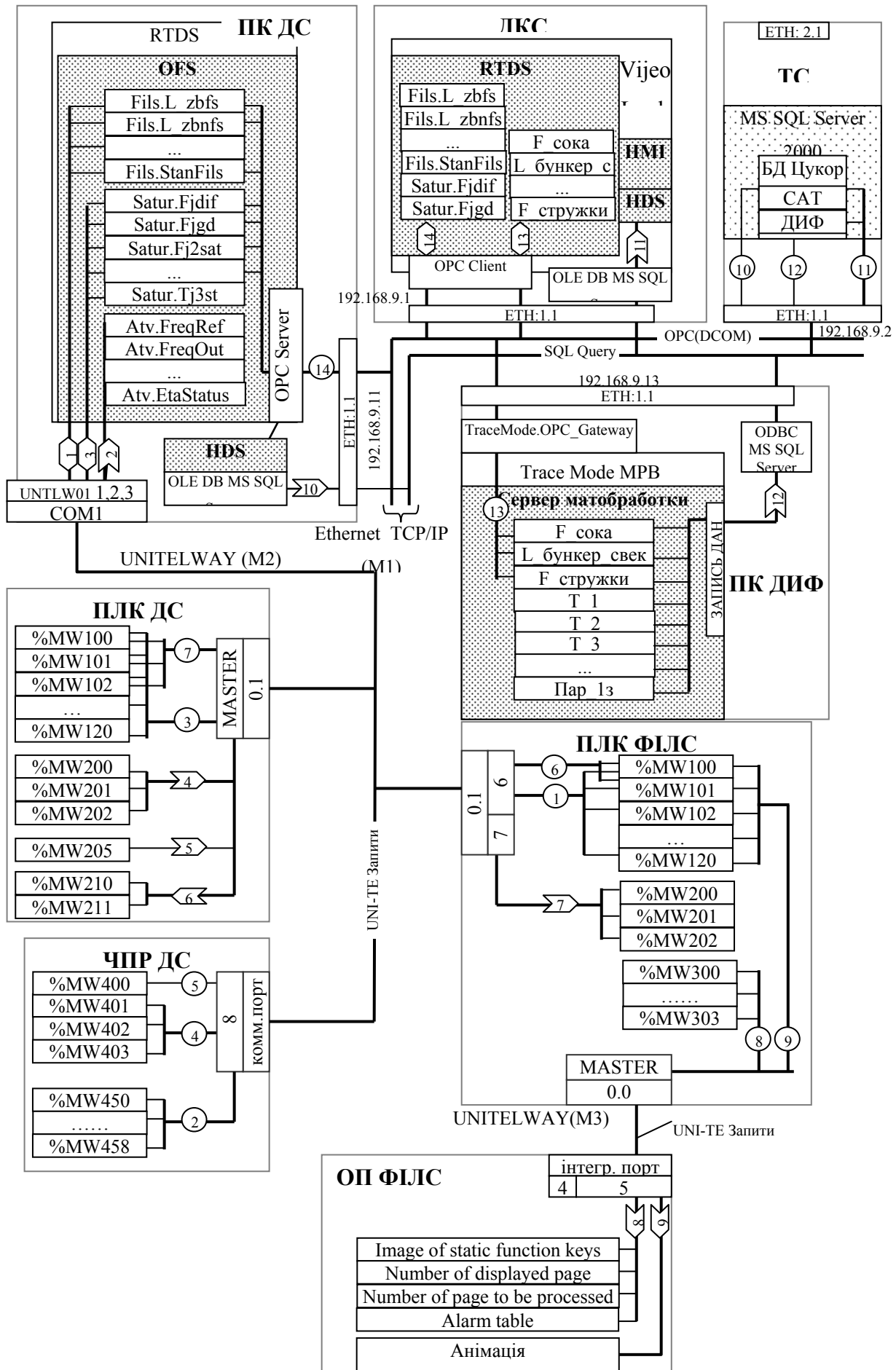


Рис.4. Схема мережевих інформаційних потоків.

In article new approaches are observed at design of computer-integrated systems of handle in view of specificity of these systems. These approaches can be used both at development of the real distributed control systems, and in the educational process.

1. Пупена О.М., Ельперін І.В. Інтеграція систем управління. // Харчова і переробна промисловість. 2005, №1 с.9-11.
2. Баталин Г.Н., Васютинский В.В. Создание распределенных систем сбора данных на основе стандарта OPC. // Промышленные контролеры АСУ. 2005, №10 с.25-30
3. Пупена О.М., Ельперін І.В., Ладанюк А.П. Використання концепції OPC в сучасних системах автоматизації. // Автоматизація виробничих процесів. 2003, №1 с.65-70
4. Трегуб В.Г., Ладанюк А.П. Структуризація системи управління при проектуванні сучасних систем автоматизації цукрових виробництв. // Цукор України, 2005, №4 с.34-36

АЛГОРИТМ ОБУЧЕНИЯ СИСТЕМЫ РАСПОЗНАВАНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ РАЗБРАКОВКИ ТКАНЕЙ

Рожков С.А., Федотова О.Н.

Решение вопросов автоматизации контроля качества текстильных материалов (тканей) с использованием телевизионных систем сдерживается из-за проблемы создания таких систем контроля, которые могли бы обнаруживать и распознавать дефекты (пороки) тканей с малыми уровнями соотношения сигнал-шум [1, 4].

Необходимость разработки специальных методов и средств обнаружения сигналов дефектов, значительные потоки информации в системах обработки сигналов, отсутствие приемников излучения фотоэлектрического типа с необходимыми кривыми спектральной чувствительности и высокая стоимость известных систем контроля качества – это факторы, которые сдерживают создание и широкое внедрение таких систем автоматической разбраковки тканей [1, 2].

Кроме того, дефекты тканей отражают нарушения технологических режимов производства и своевременный анализ полного потока дефектов позволяет повысить эффективность производства тканей [3, 4].

Система распознавания дефектов ткани разрабатывается как часть АСУТП разбраковки тканей, при этом необходимо разработать классификатор системы, который будет осуществлять распознавание дефектов тканей согласно ГОСТ 161-86 [5].

Структурная схема обучающейся системы распознавания представлена на рис.1.

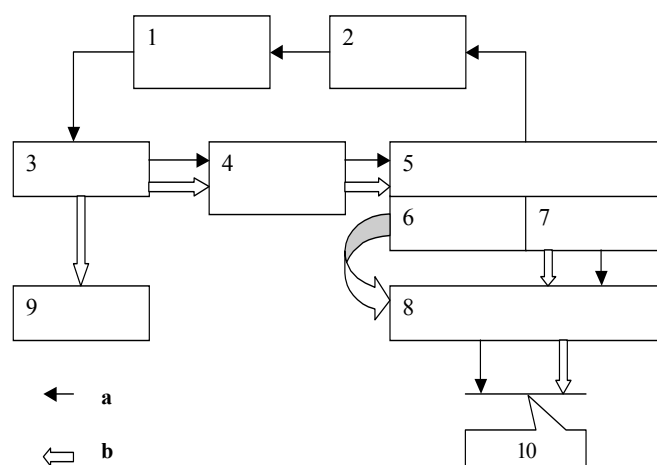


Рис.1 Структурная схема системы распознавания с обучением

1 – обучающие объекты, 2 – учитель, 3- детектор признаков, 4 – система обработки информации, 5 – память, 6- эталонное пространство, 7-алгоритм обучения, 8 – классификатор, 9- распознаваемые объекты, 10 – решение, а – режим работы, b – режим обучения.

В системах без обучения количества первоначальной информации достаточно для того, чтобы определить словарь признаков, описать каждый класс объектов на языке этих признаков и в соответствии с выбранным принципом классификации разделить все множество объектов на классы.

В обучающихся системах распознавания обычно недостаточно информации для описания классов на языке выбранных признаков, но характер априорной информации

позволяет различать принадлежность конкретных объектов соответствующим классам и организовать процедуру обучения.

В самообучающихся системах количество первоначальной априорной информации достаточно только для определения словаря признаков и нет никаких указаний о принадлежности объектов к какому-то классу. Эти указания заменяются наборами правил, в соответствии с которыми на стадии самообучения система распознавания сама вырабатывает некоторую классификацию и в дальнейшем ее придерживается.

В зависимости от того, на языке каких признаков производится описание распознаваемых объектов - детерминированных, логических, стохастических, структурных или тех и других, системы распознавания могут быть подразделены на детерминированные, логические, вероятностные, структурные и комбинированные [6].

При формировании разделяющей границы между двумя классами $C1$ и $C2$ априорное распределение объектов классов чаще всего неизвестно, т.е. определить разделяющую границу расчетным путем не представляется возможным. Так как классы объединяют объекты, отличающиеся друг от друга по значимым признакам, то между двумя классами должна существовать разделяющая граница $F(X1, X2)$, которая отображается решающей функцией $F(Y1, Y2)$ в пространстве признаков эталонов разделяемых классов, где $Y1, Y2$ – вектора эталонов классов $C1$ и $C2$ соответственно.

Функция $F(Y1, Y2)$ формируется в процессе обучения и представляет показатель качества распознавания, например, вероятность ошибки.

Предположив, что пошаговое изменение векторов эталонов будет незначительно изменять вероятность распознавания:

$$\frac{dF}{dt} = F(Y1, Y2, \Delta Y1, \Delta Y2, t), \quad (1)$$

где t - любой параметр, который пошагово изменяет состояние системы.

Учитывая, что в структурной схеме системы распознавания с обучением имеется звено "оператор-учитель" и учитель обладает достаточной «квалификацией», то для того, чтобы осуществлять эффективное обучение с минимизацией ошибочного распознавания, целесообразно использовать (2) вместо (1):

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta F}{\Delta t} = \frac{dF}{dt} = F(Y1, Y2, t). \quad (2)$$

В этом случае получаем возможность рассматривать задачу обучения как задачу оптимального управления системой по отношению к модели, что дает уравнение ошибки в виде

$$\frac{d\bar{\varepsilon}}{dt} = F(\bar{\varepsilon}, t). \quad (3)$$

В новой системе координат (рис.2) согласно условию (3) траектории $g(t)$ соответствует точка $\varepsilon=0$, которая для (3) является положением равновесия, так как $F(0, t)=0$. Таким образом, задача об устойчивости траектории $g(t)$ сводится к задаче об устойчивости начала координат в пространстве измененных переменных [4].

Автоматическую систему разбраковки в режиме обучения можно отнести к автономным системам, так как движение разделяющей границы происходит не во времени, а по мере обработки очередного изображения обучающей выборки под воздействием оператора-учителя, который участвует непосредственно в работе системы.

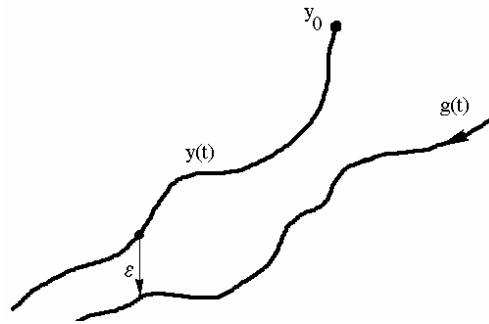


Рис. 2 Траектория движения системы

Предположим, что система распознавания описывается системой второго порядка, т.е. распознавание проводится по двум значимым признакам:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dy_1}{dv} &= y_1(y_1, y_2) \\ \frac{dy_2}{dv} &= y_2(y_1, y_2) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где v - объем изображений обучающей выборки C_1 и C_2 .

Пусть существует некоторая функция переменных состояний $P(y_1, y_2)$ (рис.3,а), которая положительна всюду за исключением начала координат, где она равна 0.

Для системы распознавания в процессе обучения такой функцией является функция изменения вероятности ложного распознавания, которая в результате процедуры обучения должна быть либо минимальной, либо сведена к нулю. Другими словами, обучение может быть описано как движение системы по траектории $y(v)$ (рис.3, б):

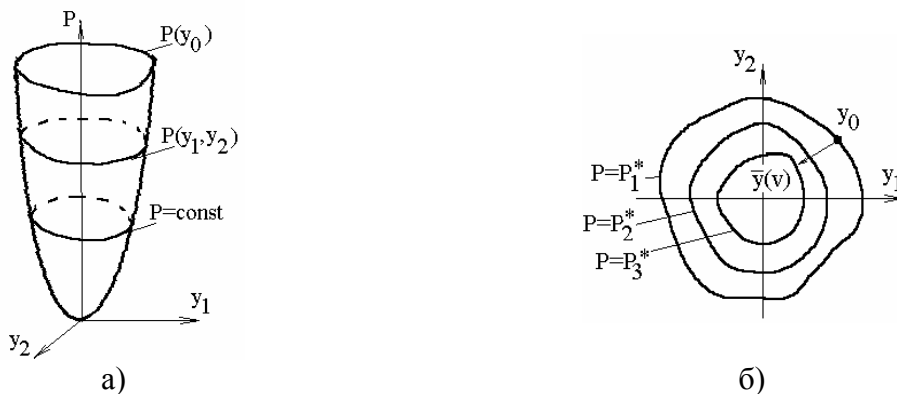


Рис. 3 Движение траектории $y(v)$ в процессе обучения

а) поверхность, определяющая функцию,

б) проекции сечений функции $P(Y_1, Y_2)$ плоскостями $P=const$.

Если выполняется условие оптимальности, то траектория $y(v)$ будет стремиться к началу координат. Но такое изменение траектории $y(v)$ к началу координат не обязательно обеспечивает асимптотическую устойчивость, так как вблизи т.0,0 может наблюдаться $dP/dv=0$, (т.е. $P=const$), но при $P=min$ простая устойчивость должна достигаться. Оценкой P , характеризующей состояние системы распознавания, служит величина вероятности ошибочного распознавания на каждом шаге движения.

Требование оптимальности процесса обучения [7] приводит к традиционно используемому в данных задачах методу динамического программирования, который

применяется для получения оптимальной траектории движения или оптимального управления, т.е. при обеспечении минимального приращения траектории.

В процессе обучения распознающей системы необходимо сформировать такое эталонное пространство, которое бы отражало объекты обучающего массива W для последующей процедуры распознавания.

Для этого создана обучающая выборка, которая получена из зафиксированных на ОАО «Херсонский ХБК» в течение 2-х лет дефектов тканей (размер исходного массива пороков примерно 20000) и количественно составила 984 объекта.

Анализ этих дефектов по причине их возникновения позволяет выделить несколько групп:

- дефекты, обусловленные организацией технологического процесса, например, разный номер утка, шов;
- дефекты процессов отбеливания и аппретирования, например, плохая белизна;
- дефекты процессов прядения и ткачества, например, слет по утку, утолщенная нить;
- дефекты из-за несоответствия качества исходного продукта виду обрабатываемого агрегата и т.п.

Возникновение дефектов носит случайный характер, так как они обусловлены возможными случайными отклонениями в организации технологических процессов, естественными процессами старения оборудования и некомпетентностью обслуживающего персонала.

Для группы отбеленных и гладкокрашеных тканей согласно [5] можно выделить 16 классов (C_i) дефектов:

C1- слет по утку	C5- утолщенная нить	C9- непропрядка	C13- плохая белизна
C2- подплет	C6- шов	C10- прокол	C14- близна
C3- недосека	C7- разный номер утка	C11- пятна масла	C15- засечка
C4- дыры	C8- бракат	C12- пятна грязи	C16- недолет

Разобьем множество изображений обучающего массива W на подмножества (классы) C_1, C_2, \dots, C_k такие, что:

$$W = C_1 \cup C_2 \cup \dots \cup C_k, \quad k = 16$$

$$C_i \cap C_j = \emptyset \quad \text{при } i \neq j$$

где k - количество выделенных классов.

Для каждого изображения обучающей выборки указана его принадлежность определенному классу (образу). Каждое изображение обучающей выборки является реальным изображением, т.е. получено в условиях естественной зашумленности, и характеризуется вектором X .

В процессе формирования эталона на основе реальных изображений необходимо получить представление об идеальном образе класса и согласно последнему сформировать параметры эталона.

Процесс формирования эталонов можно представить следующим образом [9]:

$$Y_j = \varphi'_i(Y^*_{ij}) = \varphi'_i(f'_\beta(X_{ij})), \quad X^*_{ij} = \phi(X_{ij}, z), \quad (5)$$

где Y_j – эталон j -го образа, элемент множества эталонов Y ; множество Y состоит из подмножеств Y_1, \dots, Y_k таких, что в каждом из подмножеств содержится один и только один эталон. Понятие эталона вводится достаточно условно, так как в качестве исходного

эталона может быть выбрано любое изображение, относящееся к данному классу, которое можно затем преобразовать;

X_{ij} – реальное изображение дефекта на поле сканирования, принадлежит множеству изображений X_j , характеризующих класс C_j обучающего массива W ;

X_{ij}^* – идеальное (без учета шума) изображение i -го объекта j -го образа на поле сканирования, принадлежит множеству идеальных изображений X_j^* ;

z – шум, возникающий в процессе отображения;

ϕ – функция, характеризующая воздействие шума;

$f' : X \rightarrow Y^*$ – функция отображения множества X на множество объектов наблюдения Y^* , т.е. функция порождения объектов наблюдений;

β – мешающий переменный параметр отображения, характеризующий неопределенность, имеющую место при отображении объектов наблюдения;

$\phi' : Y^* \rightarrow Y$ – функция отображения множества Y^* на множество эталонов Y , т.е. функция порождения эталонов;

Y_{ij}^* – i -ый объект наблюдения j -го образа (принадлежит множеству Y_j^*), сформированный на основе идеального изображения i -го объекта j -го образа X_{ij}^* :

$$Y_{ij}^* = f\beta'(X_{ij}^*).$$

В общем случае при обучении необходимо определить множество преобразований G , соответствующее множеству возможных изменений параметра β . Удобно формировать максимальный инвариант $T\beta(X)$ [8] относительно параметра β по всем j и строить решающую функцию $F(X)$, зависящую от X только через найденный максимальный инвариант.

В автоматической сканирующей системе разбраковки дефекты, проходящие в поле сканирования, на входе в блок обучения характеризуются вектором:

$$X=(y,x,Mt,Mc), \tag{6}$$

где y – длина дефекта, x – ширина дефекта, (y и x могут быть положительными и отрицательными величинами),

Mt – признак топологии (имеет 20 дискретных уровней),

Mc – признак сигнала (имеет 7 дискретных уровней).

Естественно, что множество эталонов Y должно формироваться в пространстве этих же координат. Но поскольку признаки Mt и Mc имеют по несколько дискретных уровней, исходное 4-хмерное эталонное пространство значительно расширяется:

$$R^Y = R^X \cdot R^y \cdot R^{Mt} \cdot R^{Mc} = R^1 \cdot R^1 \cdot R^{20} \cdot R^7 = R^{142} = 142.$$

Полученная размерность эталонного пространства характеризует общий случай, когда имеют место все значения признаков Mt и Mc .

Разделив множество входных объектов X_i по параметру $x_4 = \text{sign}x \cdot (xy)$, что в этом случае автоматически учитывает функция максимального инварианта $T\beta(X)$.

Таким образом, задача обучения в данном случае сводится к формированию разделяющих границ произвольного вида $F(Y)$ между классами, в том числе пересекающимися, методом "прямоугольников" в эталонном пространстве, структуру которого можно определить следующим образом.

Вектор дефекта X согласно (6) имеет размерность:

$$R^X = R^{(Mm, Mc, X, Y)} = 4$$

Таким образом, структура эталонного пространства описывается выражением:

$$R^Y = (R^{Mm} R^{Mc}) R^4 = (R^{20} R^7) R^4 = 140 R^4 \in R^{142}. \quad (7)$$

На рис. 4 показана разделяющая классы C_1 и C_2 граница $F(A_1, A_2)$, построенная методом "четырёхугольников", каждый из которых характеризует подкласс C_j^n ($j=1,2$ - количество классов, $n=1 \dots p$, p - количество подклассов, A_1, A_2 - матрицы эталонов классов C_1 и C_2 соответственно).

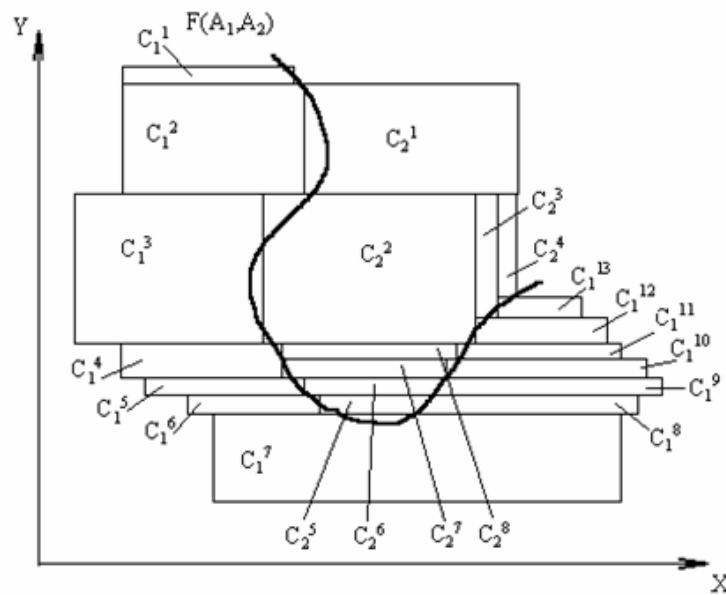


Рис. 4 Разделяющая граница $F(A_1, A_2)$ между пересекающимися классами C_1 и C_2

Матрица класса C_j A_j представляет собой матрицу-столбец, элементами которой являются вектора эталонов Y_j^n p подклассов данного класса C_j :

$$A_j = \begin{vmatrix} Y_j^1 \\ \dots \\ Y_j^p \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} x_j^1 & y_j^1 & Mm_j^1 & Mc_j^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_j^p & y_j^p & Mm_j^p & Mc_j^p \end{vmatrix} \quad (8)$$

Здесь x_j^n, y_j^n характеризуют геометрические размеры пространственной области C_j^n , т.е. матрица A_j описана через параметры эталонных областей. Класс дефектов включает все одноименные подклассы

$$C_j = \sum_{n=1}^p C_j^n. \quad (9)$$

Для рис.4:

$$C_1 = \sum_{n=1}^{13} C_1^n, \quad C_2 = \sum_{n=1}^8 C_2^n.$$

Количество подклассов в каждом классе неограниченно. В области с меньшим градиентом разделяющей функции количество подклассов меньше (рис.4). И наоборот, когда градиент разделяющей функции увеличивается, необходимо формировать большее количество подклассов, чтобы получить границу с минимальной ошибкой линейной аппроксимации.

Эталонная область каждого подкласса C_j^n строится в процессе итерационной процедуры из произвольной точки, которая определяется вектором первого дефекта данного подкласса.

На рис.5 показан процесс формирования эталонной области Y произвольного подкласса в пространстве непрерывных параметров x и y .

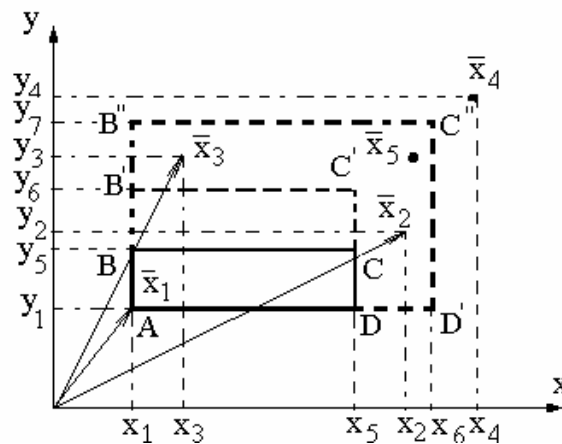


Рис.5 Формирование эталонной области подкласса при помощи обучающей выборки $W = (X_1, X_2, X_3, X_4, X_5)$, формирование максимального инварианта $T\beta_j(X)$

Первый дефект подкласса, характеризующийся вектором $X_1(x_1, y_1)$ формирует весовой вектор W_1 будущего эталона Y классификатора в виде:

$$W_1 = (x_{\min} = x_1, x_{\max} = x_1, y_{\min} = y_1, y_{\max} = y_1)$$

т.е. формирует точку A, с которой начинается построение.

Второй дефект данного подкласса $X_2(x_2, y_2)$ преобразовывает точку A в эталонное пространство ABCD. При этом нижние границы области остаются без изменения: $x_{\min} = x_1, y_{\min} = y_1$.

Верхние границы эталонной области формируются методом половинного деления, который применяется достаточно часто, чтобы создать некоторую инерционность движения и не пропустить точку оптимума при движении к ней:

$$x_{\max} = \frac{x_1 + x_2}{2} = x_5,$$

$$y_{\max} = \frac{y_1 + y_2}{2} = y_5.$$

Весовой вектор \mathbf{W}_2 области ABCD будет иметь вид:

$$\mathbf{W}_2 = \mathbf{W}_1 + \Delta\mathbf{W}_1 = (x_{\min} = x_1, x_{\max} = x_5, y_{\min} = y_1, y_{\max} = y_5).$$

Дефект этого же подкласса $\mathbf{X}_3(x_3, y_3)$ трансформирует пространство ABCD в AB'C'D'. При этом координаты будущего вектора эталона изменяются:

$$\mathbf{W}_3 = \mathbf{W}_2 + \Delta\mathbf{W}_2 = (x_1, x_5, y_1, y_6),$$

т.е. изменилась только одна граница эталонной области - y_{\max} :

$$y_{\max} = \frac{y_5 + y_3}{2} = y_6.$$

При обработке дефекта \mathbf{X}_4 эталонная область расширяется до размеров AB''C''D''. При этом весовой вектор подкласса корректируется:

$$\mathbf{W}_4 = \mathbf{W}_3 + \Delta\mathbf{W}_3 = (x_1, x_6, y_1, y_7).$$

Если следующим появляется дефект \mathbf{X}_5 , то корректировки вектора эталона не потребуется.

Таким образом, процесс обучения формирует такую эталонную область (вектор эталона \mathbf{Y}_j^n), которая с каждым шагом формирования включает в себя все большее количество дефектов данного класса (подкласса).

Если данный класс не является смежным, процесс обучения заканчивается включением в параметры эталона дефектов, которые находятся за границами. Их может быть только два:

$$\mathbf{Y}_j^n = \mathbf{W}_k + \Delta\mathbf{W}_k = (x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}).$$

где k - последний шаг обучения.

При этом сформированный вектор эталона \mathbf{Y}_j^n является максимальным инвариантом $T\beta(\mathbf{X})$ относительно тех изображений, которые присутствовали в обучающей выборке, и предполагается, что максимальный инвариант сохраняется относительно изображений данного подкласса, отсутствующих в данной выборке.

Учет дискретных параметров M_T и M_C изображения \mathbf{X}_i не изменяет пространственной составляющей эталона, но трансформирует эталонную R^4 - область в другую точку R^{142} - эталонного пространства.

Таким образом, в процессе обучения формируется эталон:

$$\mathbf{Y} = (M_c, M_T, x_{\min}, x_{\max}, y_{\min}, y_{\max}). \quad (10)$$

Если матрицу эталонов для класса C_j (8) представить через вектора эталонов (10), получим:

$$A_j = \begin{pmatrix} \mathbf{Y}_j^1 \\ \dots \\ \mathbf{Y}_j^p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M_{cj}^1 & M_{Tj}^1 & x_{\min j}^1 & x_{\max j}^1 & y_{\min j}^1 & y_{\max j}^1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ M_{cj}^p & M_{Tj}^p & x_{\min j}^p & x_{\max j}^p & y_{\min j}^p & y_{\max j}^p \end{pmatrix}. \quad (11)$$

Так как весовой вектор корректируется в зависимости от вектора входного дефекта \mathbf{X}_i , правило формирования вектора эталонной области \mathbf{Y}_j^n можно представить в виде:

$$\mathbf{Y}_j^n = \mathbf{W}_{k+1} = \begin{cases} \mathbf{W}_k + \alpha \mathbf{X}_i, & \text{если } \mathbf{W}_k \mathbf{X}_i > d \\ \mathbf{W}_k, & \text{если } \mathbf{W}_k \mathbf{X}_i < d \end{cases} \quad (12)$$

где k - номер шага обучения,

d - решение принадлежности дефекта \mathbf{X}_i вектору \mathbf{W}_k ,

α - коэффициент приращения, может быть меньше нуля, так как при формировании эталонных областей пересекающихся классов возникает необходимость уменьшения эталонной области при возникновении ошибок первого рода, которые обнаруживаются при проверке вероятности распознавания.

Если в процессе распознавания i -ый объект наблюдения j -го образа \mathbf{Y}_{ij}^* , сформированный согласно (5) на основе изображения объекта в поле сканирования \mathbf{X}_{ij} (6) не соответствует зависимости $Y_{ij}^* = \varphi_i(\mathbf{Y}_j)$, т.е. на данный момент функционирования системы распознавания не сформирован эталон j -го образа \mathbf{Y}_j , по которому была бы возможна классификация объекта \mathbf{Y}_{ij}^* , следует дообучить систему распознавания.

Если на вход распознающей системы поступил дефект нового класса C_k , в режиме обучения формируется весовой вектор первого приближения эталона \mathbf{Y}_k , при этом список эталонов классификатора дополняется названием дефекта класса C_k .

Если принять во внимание, что при помощи обучающего алгоритма (12) в соответствии с правилом построения эталонов класса через подклассы (9) формируется кусочно-линейная разделяющая граница между пересекающимися классами C_1 и C_2 (рис.4.4.1), то решающее правило запишется следующим образом:

$$\varpi_i |_{X_i} \begin{cases} C_1, & \text{если } \max_j Y_{2j} X_i \leq d < \min_g Y_{2g} X_i \\ C_2, & \text{если} \end{cases} \quad (13)$$

Здесь Y_j^i - элементы матрицы эталонов A_1 , включающей эталоны всех подклассов класса C_1 ,

Y_2^j - элементы матрицы эталонов A_2 , включающей эталоны всех подклассов класса C_2 .

Таким образом, в процессе обучения формируются матрицы эталонов подклассов (11). Сформированный вектор эталона соответствует максимальному инварианту $T\beta(\mathbf{X})$ данного подкласса C_j^i .

Выводы

Автоматическая система распознавания на этапе обучения является автономной, так как изменение ее состояния зависит от обработки последовательности изображений обучающей выборки при помощи оператора-учителя, участвующего в управлении.

Теория устойчивости Ляпунова позволяет ожидать эффективного формирования эталонной области при движении системы из произвольного начального состояния по

формирующейся в процессе обучения траектории при условии, что функция вероятности ложного распознавания будет стремиться к минимуму в конечной точке траектории (или равна нулю).

Процедура формирования такой траектории хорошо осуществляется при использовании динамического программирования, когда каждый последующий шаг формирования решающей границы базируется на предыдущих и обеспечивает небольшое приращение траектории, которое для любого вида функции на заданном отрезке можно линеаризовать.

Отличием от традиционно применяемой процедуры динамического программирования является отсутствие заданных множеств возможных управлений и соответствующих им состояний системы, а оптимальность каждого шага движения, проверяется по значению функции цели, при этом вероятность ложного распознавания должна уменьшаться.

Considered adaptive algorithm of recognition of defects fabrics for the automatic system of checking a quality building on the base of educating array. In the process of educating a recognition system is offered to form a master space by buildings of separating boundaries of free type between classes. Under limited collection of signs of classes this allows to describe a multivariate space in the manner of the standard vector.

1. Горелик А.Л., Гуревич И.Б., Скрипкин В.А. Современное состояние проблемы распознавания. -М.: Радио и связь, 1985.
2. Храпливый А.П., Рожков С.А., Терновая Т.И., Бражник Д.А. Использование метода компенсации информационных потоков при создании систем автоматического распознавания. //Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. - 1998, №2. С.93-100.
3. Автоматизированные системы контроля качества готовых тканей в отделочном производстве /Ю.А.Павлов и др.-М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.-264с.
4. Рожков С.О., Тернова Т.И., Єдинович М.Б. Проблеми автоматизованого розбракування тканин. Проблеми легкой и текстильной промышленности Украины –2004. №2(9), С. 204-211.
5. ГОСТ 161-86 "Ткани хлопчатобумажные, смешанные и из пряжи химических волокон. Определение сортности".
6. Системы технического зрения (принципиальные основы, аппаратное и математическое обеспечение)/А.Н. Писаревский, А.Ф. Чернявский, Г.К. Афанасьев и др.; Под общ. ред. А.Н. Писаревского, А.Ф. Чернявского. –Л.: Машиностроение, Ленингр. отделение, 1988. –424 с.
7. Справочник по теории автоматического управления А.Г.Александров и др. М., Наука, 1987.-712с.,ил.
8. Храпливый А.П., Федотова О.Н., Терновая Т.И. Адаптивный алгоритм разбраковки тканей по дефектам внешнего вида. Друга українська конференція з автоматичного керування "Автоматика-95", том 5, Львов, 1995 г. С.92.
9. Васильев В.И. Распознающие системы. Справочник. -К.: Наукова думка, 1983.
10. Бейтс Р., Мак-Доннелл М. Восстановление и реконструкция изображений: Пер. с англ. –М.:Мир, 1989. –336 с.

АЛГОРИТМ ОЦІНЮВАННЯ ДЕФОРМАЦІЙ РАПОРТУ ПЕРІОДИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ

Тернова Т.І.

Вступ

У розвитку сучасного промислового виробництва контроль якості грає усе більш помітну роль. І чим важливіше ця роль, тим більш суттєво застосування машинно-орієнтованих методів контролю. Розробці алгоритмів і методів розпізнавання й оцінювання об'єктів у даний час приділяється багато уваги в різних областях науки і техніки. Однієї з області застосувань даних методик є розробка автоматичних систем розбраковування тканин і інших періодичних об'єктів. Контроль візуальних показників тканин і інших періодичних об'єктів є однієї з найбільш трудомістких операцій легкої промисловості. Розробка і впровадження автоматичних систем розбраковування тканин у текстильному виробництві дозволить скоротити втрату дорогої сировини, знизити собівартість продукції, скоротити час випуску готової продукції і підвищити культуру виробництва.

Постановка проблеми

При контролі якості тканин, що випускаються, і інших періодичних об'єктів дуже важливо контролювати переки, оскільки він є одним з головних видів деформацій, що впливають на зміну контрольованого малюнка. Невеликий переки не є браком і необхідно враховувати, що на викликаний ним сигнал неузгодженості при порівнянні з еталоном не нараховуються бали, що впливають на сортність готової продукції [1]. Відповідно до ДСТ 161-86, допускається переки малюнка і полотна до 3% і клітки до 2% щодо ширини тканини. Задача автоматизації контролю перекося й інших деформацій є актуальною для сучасного виробництва, тому що дозволяє знизити собівартість і підвищити якість продукції, що випускається.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Існує велика кількість найрізноманітніших підходів до задачі розпізнавання та оцінювання, які обумовлюють розробку відповідних засобів та алгоритмів розпізнавання [1-6, 9, 10]). Для класифікації деформацій тканин та інших періодичних об'єктів деякі групи засобів розпізнавання не становлять інтересу.

Найбільше розповсюдження здобули статистичні засоби розпізнавання, в основу яких покладено теорію статистичних рішень [1, 3]. Залежно від різноманітних ситуацій щодо наявності апріорної інформації про об'єкти, що розпізнаються, використовуються різноманітні статистичні засоби розпізнавання. При їх використанні необхідно, щоб були відомі функції розподілу об'єктів класів, що поділяються, тобто необхідно провести попередні статистичні експерименти. Крім того, на практиці класи, що розпізнаються, часом перетинаються, тому зберігається ймовірність помилки розпізнавання.

Не зважаючи на це, саме цей підхід необхідно обирати як вихідний для розпізнавання дефектів тканин, бо по-перше, потік дефектів зовнішнього виду зумовлено природними відхиленнями технологічних процесів виробництва полотна тканин, по-друге, можливі формування та статистична обробка навчаючого масиву дефектів і, по-третє, математичний апарат статистичної теорії рішень достатньо опрацьовано.

При розбраковуванні тканин доцільно використовувати методику розпізнавання образів дефектів, побудованій на основі адаптивного алгоритму навчання. Алгоритм базується на апріорній інформації о дефектах, форма яких апріорно відома, а зміни їх положення в просторі обмежені.

Ціллю статті є розробка й аналіз алгоритму оцінювання деформацій рапорту тканин і інших періодичних об'єктів на основі алгоритму максимальної правдоподібності.

Обґрунтування отриманих наукових результатів

Припустимо, що довільний фрагмент періодичного об'єкта $\tilde{X} = \{x_u^k : u \in U\}$, що спостерігається, у моменти часу $k = 1, 2$ заданий на деякій безперервній області U і модель спостереження фрагменту має вигляд:

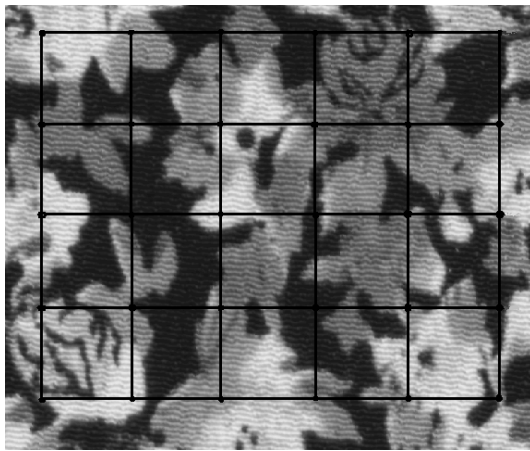
$$z^k = x^k + \theta^k, \quad k = 1, 2 \quad (1)$$

де $\theta^k = \{\theta_j^k\}$ поле незалежних випадкових величин.

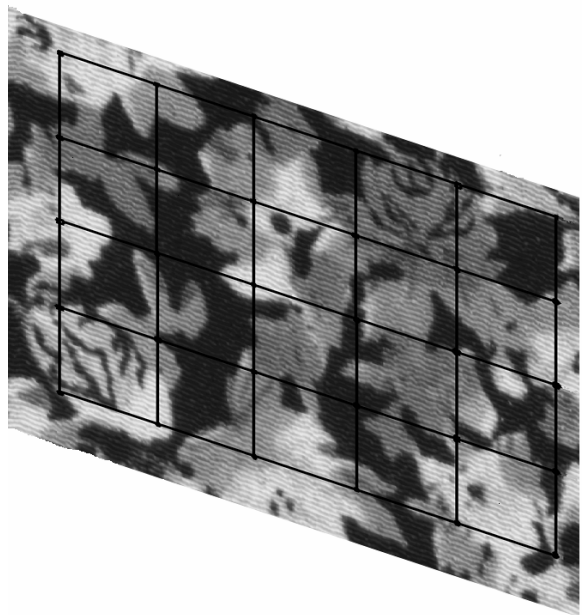
Кадри $x^k = \{x_j^k : j \in \Omega_i\}$ періодичного об'єкта X є системою відрахувань кадру

$x^k = \{x_u^k : u \in U\}$ на сітці $\Omega_k = \{j = (j_1, \dots, j_n) : j_i = \overline{1, N_i}\}$.

При цьому положення і форма сіток Ω_k можуть змінюватися згодом, але індексні розміри $N_1 \times N_2 \times \dots \times N_n$ залишаються постійними. У загальному випадку потрібно оцінити форму сітки Ω_2 і знайти перетворення Ω_1 в Ω_2 (Рис.1).



а) сітка Ω_1 на недеформованій тканині



б) сітка Ω_2 на деформованій тканині

Рис. 1 Зображення тканини з нанесеною умовною сіткою Ω_k

Для реальних зображень контрольованих тканин і інших періодичних об'єктів, отриманих, як правило, за допомогою телекамер, скануючих лінійок і тому подібні [7]

можна обмежитися випадком, коли Ω_1 - прямокутна сітка з одиничним кроком. Крім того, сітки Ω_1 і Ω_2 для сусідніх рапортів тканини звичайно відрізняються друг від друга незначно (при зміні міри деформацій і відсутності інших дефектів) і при оцінці перетворення Ω_1 в Ω_2 припущення про прямокутність Ω_1 не приводить до великих погрешностей.

При стаціонарності \tilde{X} може бути знайдена умовна спільна щільність розподілу імовірностей $w(z^1, z^2/f)$, де f – перетворення координат Ω_1 у систему координат Ω_2 . Це дозволяє застосувати різні статистичні методи оцінювання деформацій між сусідніми рапортами, наприклад, метод максимальної правдоподібності. [8]

$$\hat{f} = \arg \max_f w(z^1, z^2/f) \quad (2)$$

Оцінка максимальної правдоподібності спрощується якщо вид перетворення f відомий і потрібно визначити тільки його параметри α , наприклад тільки зрушення, зрушення і поворот і т.п. У цьому випадку оцінка (2) здобуває вигляд

$$\hat{\alpha} = \arg \max_{\alpha} w(z^1, z^2/\alpha) \quad (3)$$

і містить як правило, невелике число параметрів.

Нехай задані два кадри $z^1 = \{z_j^{(1)}\}$ і $z^2 = \{z_j^{(2)}\}$ багатомірного зображення на n -мірній сітці відрахувань $\Omega : \{j = (j_1, \dots, j_n)\}$.

Будемо вважати, що кожний з кадрів являє собою адитивну суміш інформаційного випадкового поля $\{x_j\}$ і білого випадкового поля $\{\theta_j\}$:

$$\{z_j^{(1)}\} = \{x_j + \theta_j^{(1)}\}, \quad (3)$$

$$\{z_j^{(2)}\} = \{x_j(\alpha) + \theta_j^{(2)}\}, \quad j \in \Omega \quad (4)$$

де $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_m)^T$ - m -мірний вектор невідомих параметрів перетворення контролюємого фрагменту $\{x_j\}$ в $\{x_j(\alpha)\}$, що відповідає будь-яким деформаціям, наприклад, зрушення по заданому або невідомому напрямку, зміна масштабу, поворот і т.п.

Відомо, що x_j , $\theta_j^{(1)}$ й $\theta_j^{(2)}$ однорідні і підпорядковуються гаусовским розподілам із нульовими середніми і заданими коваріаційними функціями

$$R_{x_{j_1}} = M\left\{x_j \ x_1\right\}; \quad R_{\theta_{j_1}} = \sigma_{\theta}^2 \delta_{j_1}; \quad j, l \in \Omega \quad (5)$$

де $\delta_{j,l} = \begin{cases} 1, & j = l \\ 0, & j \neq l \end{cases}$ - символ Кронекера.

Для приведених умов необхідно синтезувати алгоритми оцінювання параметрів α по сукупності спостережень $\{z_j^{(1)}, z_j^{(2)}\}$ $j \in \Omega$ і провести аналіз ефективності отриманих оцінок.

Запишемо спільну щільність розподілу імовірностей двох кадрів об'єкту, що спостерігається

$$w(\{z_j^{(1)}, z_j^{(2)}\} / \alpha) = w(\{z_j^{(1)}\}) / w(\{z_j^{(2)}\} / \{z_j^{(1)}\}, \alpha) \quad (6)$$

Умовний розподіл $w(\{z_j^{(2)}\} / \{z_j^{(1)}\}, \alpha)$ являється гаусовским з математичним очікуванням

$$M \{ \{z_j^{(2)}\} / \{z_j^{(1)}\}, \alpha \} = M \{ x_j(\alpha) / \{z_j^{(1)}\}, \alpha \} = \{ x_j(\alpha) \} \quad (7)$$

Помітимо, що $x_j(\alpha)$ - найкраща в змісті мінімуму дисперсії помилки оцінка деформованого кадру контрольованого об'єкту (прогноз $x_j(\alpha)$, зроблений на основі спостережень $\{z_j^{(1)}\}$).

Коваріаційна матриця умовного розподілу

$$\begin{aligned} \mathbf{V}_z &= \left\| M \{ (z_j^{(2)} - x_j(\alpha))(z_l^{(2)} - x_l(\alpha)) / \{z_j^{(1)}\}, \alpha \} \right\| = \\ &= \left\| M \{ (x_j(\alpha) - x_j(\alpha))(x_l(\alpha) - x_l(\alpha)) / \{z_j^{(1)}\}, \alpha \} + \sigma_\theta^2 \delta_{j,l} \right\| = \\ &= \left\| \mathbf{R}_{\xi,j,l} + \sigma_\theta^2 \delta_{j,l} \right\|, \quad j, l \in \Omega \end{aligned} \quad (8)$$

де $\mathbf{R}_\xi = \left\| \mathbf{R}_{\xi,j,l} \right\|$ - коваріаційна матриця помилок $\{\xi_j = x_j(\alpha) - x_j(\alpha)\}$ прогнозування деформованого інформаційного поля $x_j(\alpha)$ по спостереженням першого кадру $\{z_j^{(1)}\}$, $j \in \Omega$.

Для оцінювання невідомого параметра $\bar{\alpha}$ скористаємося методом максимальної правдоподібності [8]. Запишемо (6) з урахуванням (7) у наступному вигляді

$$w(\{z_j^{(1)}, z_j^{(2)}\} / \alpha) = \frac{w(\{z_j^{(1)}\})}{(2\pi)^{N/2} \sqrt{\det \mathbf{V}_z}} \exp \left\{ -\frac{1}{2} (\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha))^T \mathbf{V}_z^{-1} (\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha)) \right\} \quad (9)$$

де індекси $j, l \in \Omega$, опущені для скорочення запису; N – число точок в області Ω .

При наявності шумів залежністю ξ_j від α можна зневажити. Тоді максимальна функція правдоподібності

$$L(\alpha) = w(\{z_j^{(1)}, z_j^{(2)}\} / \alpha) \quad (10)$$

еквівалентна мінімізації наступної квадратичної форми

$$\wedge(\alpha) = \frac{1}{2} (\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha))^T \mathbf{V}_z^{-1} (\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha)) \quad (11)$$

У ряді задач (зокрема при зображеннях великих розмірів) добуток

$$(\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha))^T \mathbf{V}_z^{-1} (\mathbf{z}^2 - \mathbf{x}(\alpha))$$

можна вважати не залежним від параметра α . Тоді пошук оптимальної оцінки зводиться до максимізації

$$U(\alpha) = (\mathbf{x}(\alpha))^T \mathbf{V}_z^{-1} \mathbf{z}^2 \quad (12)$$

по параметру α . Помітимо, що відповідно до правил тензорного вирахування

$$\mathbf{x}(\alpha) \mathbf{z}^2 = \sum_{j \in \Omega} \mathbf{x}(\alpha) z_j^{(2)} \quad (13)$$

тобто провадиться підсумовування по однакових нижніх індексах. Останню процедуру перебування оцінок по максимуму $U(\alpha)$ можна назвати оціночно-кореляційно-екстремальною. Дійсно, вона полягає в переборі всіх можливих значень параметра α і знаходженні максимуму взаємної кореляції

$$U(\alpha) = (\mathbf{x}(\alpha))^T \mathbf{V}_z^{-1} \mathbf{z}^2 = \sum_{j, l \in \Omega} \mathbf{x}(\alpha) V_{z_{j,l}}^{-1} z_j^{(2)} \quad (14)$$

спостережень $\{z^{(2)}(\alpha)\}$ другого кадру і оцінки інформації об'єкту $\{x_j(\alpha)\}$, зроблених на основі першого кадру спостережень.

Після диференціювання (11) по параметру α і прирівнюванню похідній нулеві одержимо наступне рівняння для перебування оцінки α максимальної правдоподібності

$$\sum_{j, l \in \Omega} \frac{dx_j(\alpha)}{d(\alpha)} V_{z_{j,l}}^{-1} (z_l^{(2)} - x_l(\alpha)) = 0 \quad (15)$$

При цьому пошук найкращої оцінки здійснюється наприклад за допомогою направленої перебору параметрів α , що виконується до забезпечення умови (15). Для детермінованого

сигналу $z_j(\alpha)$ похідна $\frac{dx_j(\alpha)}{d(\alpha)}$ може розглядатися як багатомірна дискримінантна характеристика.

Таким чином у результаті аналізу методом максимальної правдоподібності отримано три види (11), (14) і (15) реалізацій алгоритму оцінювання векторного параметра α . Для аналізу якості оцінок скористаємося нерівністю Рао-Крамера.

Відомо, що для незміщених спільно ефективних оцінок компонентів вектора α коваріаційна матриця помилок визначається наступним виразом

$$\mathbf{V}_\xi = M \left\{ \xi_\alpha \xi_\alpha^T \right\} = \left(-M \left\{ \frac{d^2 \ln w(\{z_j^{(1)}, z_j^{(2)}\}/\alpha)}{d\alpha^2} \right\} \right)^{-1} \quad (16)$$

де $\xi_\alpha = \hat{\alpha} - \alpha$.

Після диференціювання логарифма щільності розподілу імовірностей (9) одержимо

$$\mathbf{V}_\xi = \left(M \left\{ \left(\frac{d\mathbf{x}(\alpha)}{d\alpha} \right)^T \mathbf{V}_z^{-1} \frac{d\mathbf{x}(\alpha)}{d\alpha} \right\} \right)^{-1} \quad (17)$$

Співвідношення (17) дозволяє при визначеному вигляді вектора α і заданих моделей об'єкту $\{x_j(\alpha)\}$ і перешкоди θ_j , $j \in \Omega$ дати оцінку нижньої границі погрешностей, що виникають при вирішенні задачі оцінювання параметрів деформацій зображень.

Висновки

Алгоритм оцінювання просторових деформацій методом максимальної правдоподібності можна застосовувати при контролі деформацій тканин та інших періодичних об'єктів. При визначеному m -мірний векторі невідомих параметрів перетворення зображення і заданих моделей контрольованого зображення можна визначити нижню границю погрешностей деформації рапорту.

In the article considered algorithm of valuing the spatial deformation by the method of maximum plausibility. Shown possibility of using a given algorithm for the evaluation of deforming of fabric and other periodic objects.

1. Тернова Т.І., Єдинович М.Б., Рожков С.О. Проблеми виявлення та розпізнавання дефектів тканин в процесі їх розбраковування. Сьома всеукраїнська міжнародна конференція УкрОБРАЗ'2004, 11-15 жовтня 2004 року, Київ, Україна. Праці. Оброблення сигналів і зображень та розпізнавання образів. с.151-154.

2. Федосеев В.Н. Автоматизация контроля в технологии поверхностной обработки текстильных материалов, Иваново, 1990. – 88с.

3. Федотова О.М., Бражник О.М., Храпливий А.П. Аналіз засобів розпізнавання з точки зору використання їх у алгоритмах класифікації дефектів нефарбованих тканин. Технологія, автоматизація та економіка в переробній галузі. Збірник наукових праць/ За заг.ред. Л.А.Чурсиної та А.Ф.Скорочнко.- К. - ІЗМН, 1998 с.79-83.

4. Тернова Т.І., Храпливий А.П., Бражник О.М., Тимофесв К.В., Рожков С.О. Пристрій для визначення просторового зміщення зображення об'єкту по відношенню до еталону зображення. Патент 30433А Україна, МКВ G06K 9/00, №4707484/SU; Опубл. 15.11.2000 р., Бюл. № 6-11
5. 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.
6. 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.
7. Храпливий А.П., Бражник А.М., Тернова Т.І. Засоби побудови систем автоматичної розбраковки тканин. Технологія, автоматизація та економіка в переробній галузі. Міністерство освіти України, Інститут змісту і методів навчання, Херсонський державний технічний університет. Київ, 1998, с.86-90.
8. Ташлинский А.Г. Оценивание параметров пространственных деформаций последовательностей изображений / Ульяновск: УлГТУ, 2000. – 131с.
9. Н.И.Мурашко, В.Л.Степанов. Цифровая обработка изображений на основе методов теории оценивания и управления. // Материалы Второй международной конференции. Цифровая обработка информации и управление в чрезвычайных ситуациях. Минск: институт технической кибернетики НАН Беларуси, 2000, Т.2., стр.81-87.
10. Г.Г.Грабовский, А.В.Ушаков. Системы контроля и диагностики в интегрированных АСУ ТЛС. Автоматизація виробничих процесів, 2004, №2(19), с.81-93.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 621.311

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МОЩНОСТИ СИММЕТРИЧНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ФАКТИЧЕСКОГО ВКЛАДА СУБЪЕКТА В ИСКАЖЕНИЕ СИММЕТРИИ

Сендерович Г.А.

Последние годы в Украине все большее внимание уделяется вопросам качества электроэнергии. В тоже время, законодательная база регулирования отношений в области учета качества электроэнергии и его нарушений не соответствует современным требованиям. Существующие штрафные санкции в размере 25% от стоимости потребленной энергии в случае нарушений требований по качеству электроэнергии [1] не учитывают причин и действительных виновников нарушений качества. Сложилась парадоксальная ситуация, когда потребитель, по вине которого испорчено качество электроэнергии в сети, может получать по штрафным санкциям наряду с другими предприятиями. При этом за все будет расплачиваться сетевое предприятие.

Нужен закон, согласно которому нарушение любого из показателей качества должно вызывать определенные штрафные санкции. Оплачивать эти санкции должен виновник возникновения нарушений требований ГОСТ [2]. Для разработки закона необходима методологическая база, согласно которой будет определяться виновник и степень его ответственности за невыполнение требований по качеству электроэнергии.

Аналогичная ситуация существует в других странах СНГ, где актуальны те же проблемы. Госэнергонадзором министерства энергетики Российской Федерации утвержден метод определения фактического вклада субъекта, имеющего искажающие приемники, обусловившие несоответствие показателей качества электроэнергии [3]. В основе метода в части его применения к несимметричным режимам лежит определение источника искажений симметрии по направлению активной мощности обратной последовательности. В описании метода приняты ряд допущений, которые не имеют обоснования или количественной оценки. В тоже время, использование активной мощности обратной последовательности для решения рассматриваемой задачи представляется весьма наглядным и достаточно простым. Данный подход требует должного обоснования.

Целью статьи является анализ возможности использования мощности симметричных составляющих для определения виновника нарушения симметрии в точке общего присоединения (ТОП) и определения степени его влияния на эту несимметрию.

Классический подход к решению задач с не симметричной нагрузкой в сети предполагает рассмотрение схем симметричных составляющих. Максимально упростим расчетную схему. Сеть за точкой измерения назовем нагрузкой, до точки измерения – системой (рис. 1, а). \underline{U} , \underline{I} – напряжение и ток в точке измерения, \underline{z} – сопротивление нагрузки, \underline{z}_c – сопротивление связи с системой, \underline{E} – эквивалентная ЭДС системы. Схема замещения состоит из трех схем по симметричным последовательностям: прямой (рис. 1, б), обратной (рис. 1, в), нулевой (рис. 1, г). Нагрузка, как принято в литературе [4], представлена в виде симметричной и несимметричной частей. Симметричная нагрузка введена в схемы соответствующих последовательностей сопротивлениями $\underline{z}_1^{(c)}$, $\underline{z}_2^{(c)}$, $\underline{z}_0^{(c)}$. Несимметричная нагрузка на основании принципа компенсации заменена эквивалентными ЭДС. \underline{z}_N , $\underline{z}_N^{(c)}$, $\underline{z}_N^{(H)}$ – сопротивления нейтралей сети, симметричной и не симметричной нагрузок.

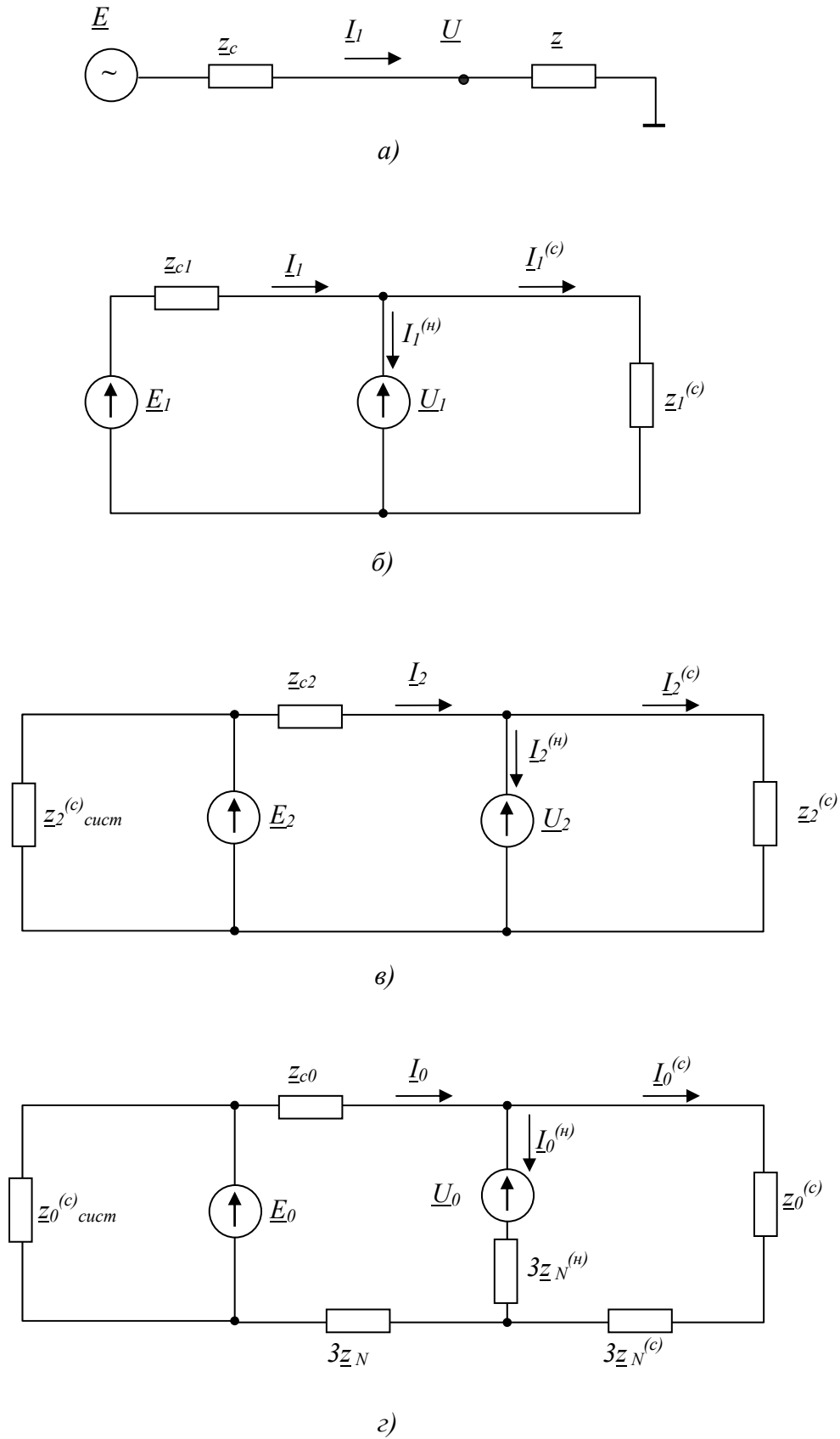


Рис.1 Схемы для определения соотношения несимметрии системы и нагрузки:
 а – расчетная; б – замещения прямой последовательности; в – замещения обратной последовательности; г – замещения нулевой последовательности

Основным отличием рассматриваемой схемы замещения от классической модели сети в несимметричных режимах [5] является учет несимметрии системы. Для этого, наряду с ЭДС \underline{E}_1 в схеме прямой последовательности, введены ЭДС \underline{E}_2 , \underline{E}_0 в схемы обратной и нулевой последовательностей, а также сопротивления симметричной нагрузки системы прямой и обратной последовательностей $\underline{Z}_2^{(c)}$ сист., $\underline{Z}_0^{(c)}$ сист.

Мощность в месте измерения может быть определена по симметричным составляющим токов и напряжений [6]:

$$\underline{S} = \underline{U}_1 \hat{I}_1 + \underline{U}_2 \hat{I}_2 + \underline{U}_0 \hat{I}_0. \quad (1)$$

В несимметричной сети мощность есть сумма мощностей симметричных составляющих:

$$\underline{S} = \underline{S}_1 + \underline{S}_2 + \underline{S}_0 \quad (2)$$

Напряжения симметричных составляющих в месте измерения являются комплексными величинами. Коэффициенты несимметрии напряжений – числа вещественные, определяемые соотношениями модулей:

$$K_{2U} = \frac{|\operatorname{Re} \underline{U}_2 + j \operatorname{Im} \underline{U}_2|}{|\operatorname{Re} \underline{U}_1 + j \operatorname{Im} \underline{U}_1|}; \quad K_{0U} = \frac{|\operatorname{Re} \underline{U}_0 + j \operatorname{Im} \underline{U}_0|}{|\operatorname{Re} \underline{U}_1 + j \operatorname{Im} \underline{U}_1|}. \quad (3)$$

Эту особенность следует учитывать при определении фактического вклада субъектов в появление несимметрии по направлению потоков мощности симметричных составляющих. Соотношение несимметрий системы и нагрузки будет проявляться в направлении потоков как активной, так и реактивной мощностей.

Симметричные составляющие токов будут зависеть от несимметрии как нагрузки, так и системы. Токи обратной последовательности (рис. 1, в):

$$\underline{I}_2 = \frac{\underline{E}_2 - \underline{U}_2}{\underline{Z}_{c2}}. \quad (4)$$

Если считать, что \underline{E}_2 и \underline{U}_2 взаимно независимы, то, учитывая (4), можно написать, что

$$\underline{S}_2 = \underline{U}_2 \cdot \frac{\hat{\underline{E}}_2 - \hat{\underline{U}}_2}{\underline{Z}_{c2}}, \quad (5)$$

где $\hat{\underline{Z}}_{c2}$ – сопряженный комплекс сопротивления связи с системой в схеме замещения обратной последовательности.

Преобразование формулы (5) дает выражения для определения активной и реактивной мощностей обратной последовательности в точке измерения:

$$\left. \begin{aligned} P_2 &= \frac{\underline{E}_2 \cdot \underline{U}_2}{z_{c2}} \cdot \left[\cos(\varphi_2 - \delta_2) - \frac{\underline{U}_2}{\underline{E}_2} \cdot \cos \varphi_2 \right]; \\ Q_2 &= \frac{\underline{E}_2 \cdot \underline{U}_2}{z_{c2}} \cdot \left[\sin(\varphi_2 - \delta_2) - \frac{\underline{U}_2}{\underline{E}_2} \cdot \sin \varphi_2 \right]; \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где δ_2 – угол между векторами \underline{E}_2 и \underline{U}_2 ;

φ_2 – аргумент комплекса сопротивления связи ($\varphi_2 = \arg z_{c2}$).

Основной составляющей сопротивления связи с системой является индуктивное сопротивление трансформатора. Сделаем принятое в энергетике допущение, пренебрегая активным сопротивлением. При этом $z_c = x_c$, $\varphi_2 = \pi/2$ и уравнения (6) примут вид:

$$\left. \begin{aligned} P_2 &= \frac{E_2 \cdot U_2}{x_{c2}} \cdot \sin \delta_2; \\ Q_2 &= \frac{E_2 \cdot U_2}{x_{c2}} \cdot \cos \delta_2 - \frac{U_2^2}{x_{c2}}. \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Зависимости от угла δ_2 , полученные в (7), имеют разный характер для активной и реактивной мощностей обратной последовательности. На рис. 2 показаны графики, соответствующие условию $E_2 = U_2$.

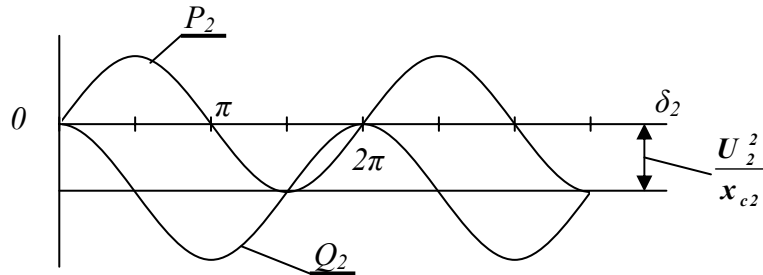


Рис. 2 Зависимость мощности обратной последовательности от δ_2

Соотношение между E_2 и U_2 может быть другим, можно учесть, что $\varphi_2 \neq \pi/2$, но, в любом случае качественно графики не поменяются. Величина и направление перетоков активной и реактивной мощностей обратной последовательности определяются, прежде всего, углом δ_2 и мало зависят от соотношений несимметрий. Для взаимно не зависимых \underline{E}_2 и \underline{U}_2 ни активная ни реактивная мощности не несут информацию о равенстве их модулей, либо о преобладании одной из этих величин.

Учтем взаимное влияние векторов \underline{E}_2 и \underline{U}_2 . Для этого используем метод суперпозиции. Режим работы схемы замещения обратной последовательности (рис. 1 б) представим как сумму двух режимов (рис. 3): а – нарушение симметрии в системе; б – нарушение симметрии у потребителя.

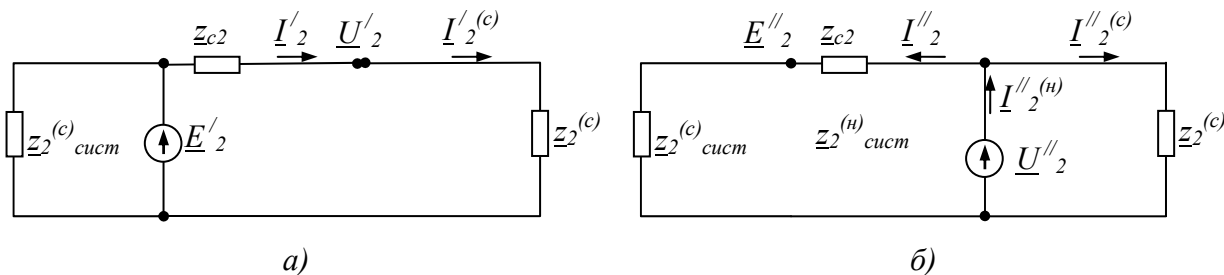


Рис. 3 Применение метода суперпозиции для схемы замещения обратной последовательности

Токи в ветвях и напряжения в узлах получаются в результате наложения двух режимов:

$$\underline{U}_2 = \underline{U}'_2 + \underline{U}''_2; \quad \underline{I}_2 = \underline{I}'_2 - \underline{I}''_2. \quad (8)$$

Токи в рассматриваемых режимах будут равны

$$\underline{I}'_2 = \frac{\underline{E}'_2}{z_{c2} + z_2^{(c)}}; \quad \underline{I}''_2 = \frac{\underline{U}_2''}{z_{c2} + z_2^{(c)}_{\text{сист}}}. \quad (9)$$

Составляющая напряжения \underline{U}''_2 определяется несимметрией нагрузки потребителя. Зависимая от несимметрии системы составляющая напряжения

$$\underline{U}'_2 = \frac{\underline{E}'_2}{\underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)}} \cdot \underline{z}_2^{(c)}. \quad (10)$$

Метод суперпозиции неприменим к мощности, поскольку мощность суть квадратичная функция токов [6]. Поэтому мощность определяем для полной схемы замещения по обратной последовательности (рис. 1, в).

$$\underline{S}_2 = (\underline{U}'_2 + \underline{U}''_2) \cdot \left(\frac{\widehat{\underline{E}}'_2}{\widehat{\underline{z}}_{c2} + \widehat{\underline{z}}_2^{(c)}} - \frac{\widehat{\underline{U}}''_2}{\widehat{\underline{z}}_{c2} + \widehat{\underline{z}}_2^{(c)} \text{ сист}} \right). \quad (11)$$

После преобразования формулы (11) можно получить выражения активной и реактивной мощностей:

$$P_2 = \left(\underline{E}'_2 \right)^2 \cdot \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|^2} - \left(\underline{U}''_2 \right)^2 \cdot \frac{\cos \varphi_{\text{с, сист}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|} + \\ + \underline{U}''_2 \cdot \underline{E}'_2 \cdot \left[\frac{\cos(\varphi_{\text{с, н}} - \delta_2)}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|} - \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \cos(\varphi_{\text{н}} - \varphi_{\text{с, н}} + \varphi_{\text{с, сист}} + \delta_2)}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right| \cdot \left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|} \right], \quad (12)$$

$$Q_2 = \left(\underline{E}'_2 \right)^2 \cdot \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \sin \varphi_{\text{н}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|^2} - \left(\underline{U}''_2 \right)^2 \cdot \frac{\sin \varphi_{\text{с, сист}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|} + \\ + \underline{U}''_2 \cdot \underline{E}'_2 \cdot \left[\frac{\sin(\varphi_{\text{с, н}} - \delta_2)}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|} - \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \sin(\varphi_{\text{н}} - \varphi_{\text{с, н}} + \varphi_{\text{с, сист}} + \delta_2)}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right| \cdot \left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|} \right]. \quad (13)$$

Уравнения (12, 13) имеют по три составляющих. Первая составляющая определяется несимметрией в системе, вторая – несимметрией в нагрузке потребителя, третья составляющая существует при наличие несимметрии и в системе и у потребителя. При идеально симметричной нагрузке $\underline{U}''_2 = 0$, уравнения принимают вид:

$$P_2 = \left(\underline{E}'_2 \right)^2 \cdot \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \cos \varphi_{\text{н}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|^2}; \quad Q_2 = \left(\underline{E}'_2 \right)^2 \cdot \frac{\underline{z}_2^{(c)} \cdot \sin \varphi_{\text{н}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \right|^2}, \quad (14)$$

в случае идеальной симметрии системы ($\underline{E}''_2 = 0$) –

$$P_2 = - \left(\underline{U}''_2 \right)^2 \cdot \frac{\cos \varphi_{\text{с, сист}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|}; \quad Q_2 = - \left(\underline{U}''_2 \right)^2 \cdot \frac{\sin \varphi_{\text{с, сист}}}{\left| \underline{z}_{c2} + \underline{z}_2^{(c)} \text{ сист} \right|}. \quad (15)$$

Выявлен качественный признак нарушения симметрии напряжения в ТОП, который позволяет утверждать: виновата система или виноват потребитель. Если причина несимметрии находится в системе, то направление активной мощности обратной последовательности ($P_2 > 0$) совпадает с направлением активной мощности прямой последовательности ($P_1 > 0$). Если причиной несимметрии является нагрузка, то направление активной мощности обратной последовательности ($P_2 < 0$) противоположно направлению активной мощности прямой последовательности. Характер изменения реактивной мощности аналогичен. При нарушении симметрии в системе $Q_2 > 0$, при нарушении симметрии в нагрузке $Q_2 < 0$.

Признаком равного участия системы и потребителя в нарушении симметрии по обратной последовательности можно считать равенство составляющих напряжения обратной последовательности, определяемой несимметрией нагрузки потребителя \underline{U}''_2 и зави-

симой от несимметрии системы \underline{U}'_2 .

$$\underline{U}'_2 = \underline{U}''_2. \quad (16)$$

Уравнения (12, 13) с учетом (10) можно записать в виде:

$$P_2 = \left(\underline{U}'_2\right)^2 \cdot \frac{\cos \varphi_H}{\left|Z_{c2} + Z_2^{(c)}\right|} - \left(\underline{U}''_2\right)^2 \cdot \frac{\cos \varphi_{c, \text{сист}}}{\left|Z_{c2} + Z_{2 \text{ сист}}^{(c)}\right|} + \\ + \underline{U}'_2 \cdot \underline{U}''_2 \cdot \left[\frac{\cos(\varphi_{c, H} - \delta_2)}{Z_2^{(c)}} - \frac{\cos(\varphi_H - \varphi_{c, H} + \varphi_{c, \text{сист}} + \delta_2)}{\left|Z_{c2} + Z_{2 \text{ сист}}^{(c)}\right|} \right], \quad (17)$$

$$Q_2 = \left(\underline{U}'_2\right)^2 \cdot \frac{\sin \varphi_H}{\left|Z_{c2} + Z_2^{(c)}\right|} - \left(\underline{U}''_2\right)^2 \cdot \frac{\sin \varphi_{c, \text{сист}}}{\left|Z_{c2} + Z_{2 \text{ сист}}^{(c)}\right|} + \\ + \underline{U}'_2 \cdot \underline{U}''_2 \cdot \left[\frac{\sin(\varphi_{c, H} - \delta_2)}{Z_2^{(c)}} - \frac{\sin(\varphi_H - \varphi_{c, H} + \varphi_{c, \text{сист}} + \delta_2)}{\left|Z_{c2} + Z_{2 \text{ сист}}^{(c)}\right|} \right]. \quad (18)$$

Возьмем конкретный пример подключения нагрузки через трансформатор 10/0,4 кВ мощностью 1 МВ·А и кабель длиной 1 км. Графики (рис.4), получены при расчете в относительных единицах по формулам (17), (18) при выполнении признака равного участия системы и потребителя (16).

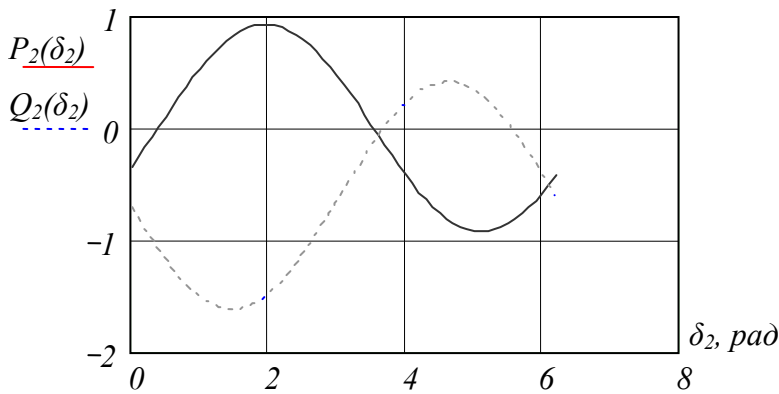


Рис. 4 Изменения P_2 и Q_2 при $\underline{U}'_2 = \underline{U}''_2$

При равном участии системы и потребителя в нарушении симметрии по обратной последовательности для принятых типичных параметров распределительной сети с учетом взаимного влияния \underline{E}_2 и \underline{U}_2 , величина и направление потоков активной и реактивной мощностей обратной последовательности определяются, прежде всего, углом δ_2 , как и без учета взаимного влияния (рис. 2). Условия $P_2 = 0$ или $Q_2 = 0$ не являются критериями равного участия системы и потребителя в нарушении симметрии.

В тоже время встает вопрос, насколько достоверно качественное определение ответственности по направлению P_2 и Q_2 , указанное выше и действующее при расположении источника несимметрии или только в системе или только в нагрузке. По формуле (17) выполнены расчеты активной мощности в относительных единицах при условии, что $\underline{U}'_{*2} + \underline{U}''_{*2} = 1$. Графики по результатам расчетов (рис. 5) даны для изменения $0 \leq \underline{U}''_{*2} \leq 1$.

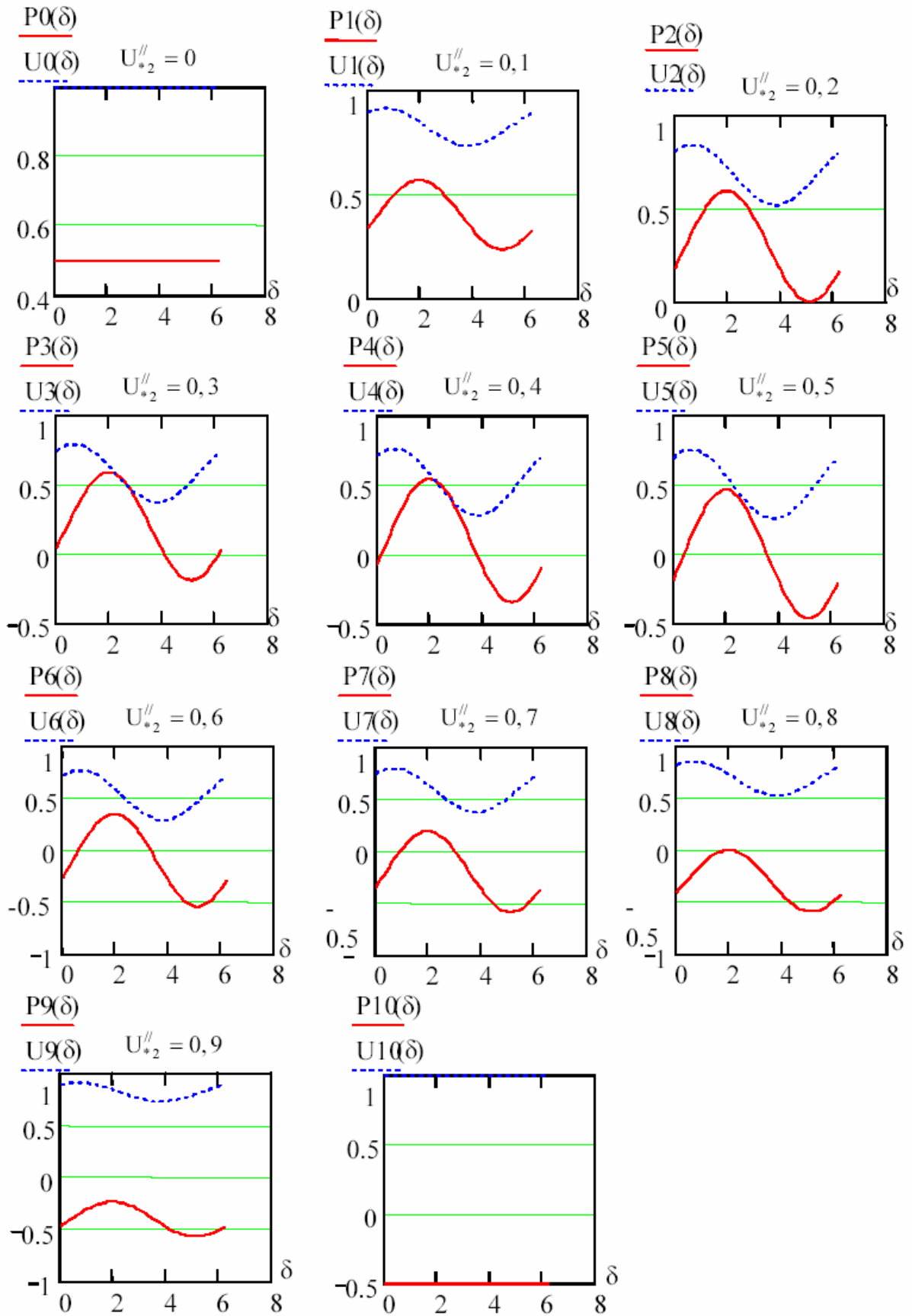


Рис. 5 Графики $P_2 = f(\delta_2)$, $U_2 = f(\delta_2)$

Не зависимо от угла δ_2 для $0 \leq U_{*2} < 0,2$ наблюдается потребление активной

мощности обратной последовательности ($P_2 > 0$), для $0,8 < U_{*2}'' \leq 1$ – генерация ($P_2 < 0$). Направление активной мощности обратной последовательности может дать информацию об ответственности от 0 до 20 % и от 80 % до 100 %. В диапазоне изменения ответственности от 20 % до 80 % направление активной мощности носит характер зависимый от δ_2 и не может дать достоверной информации о распределении ответственности.

На графиках также показано изменение напряжения обратной последовательности в точке измерения. В диапазоне изменения ответственности от 20 % до 80 % не наблюдается снижения $U_2 = \left| \underline{U}'_2 + \underline{U}''_2 \right|$, достаточного для того, чтобы рассматривать возможность снижения несимметрии в результате взаимной компенсации до допустимой величины.

Выводы:

- по направлению активной или реактивной мощности можно определить виновника искажения симметрии, если его фактический вклад в создание несимметрии является основным, порядка 80% и более;
- не представляется возможным определение долевого участия субъекта в создании несимметрии по направлению и величине активной или реактивной мощности;
- так как нет возможности произвести количественную оценку вклада субъекта в создание несимметрии, определение виновника согласно первому пункту выводов нельзя считать достоверным.

The model for the analysis of asymmetrical modes of the electrical circle in the symmetrical components coordinates has been considered. The analysis of the power stream of the inverse sequence at the breach of the symmetry in system and beside consumer has been done. The analysis has shown that the direction and value of the power of inverse sequence does not give the sufficient information about the contribution of the subject in the breach of the symmetry.

1. Витяги з Правил користування електричною енергією щодо перетікань реактивної електроенергії та показників якості електроенергії – ПРОМЕЛЕКТРО, 2002, № 4, – с.36 - 39.
2. ГОСТ 13109-97. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 18.06.99. – Минск: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. 1999. – 30с.
3. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Часть 2. Анализ качества электрической энергии РД 153-34.0-15.501-01. Разработано научно-методическим центром 000 « Научный центр ЛИНВИТ». – Москва: 2001 – 23с.
4. Оптимизация несимметричных режимов систем электроснабжения / Шидловский А.К., Кузнецов В.Г., Николаенко В.Г. – Киев: Наук. думка, 1987.-176 с.
5. Ульянов С.А. Электромагнитные переходные процессы в электрических системах. Учебник для электротехнических и энергетических вузов и факультетов. – Москва: Энергия, 1970.– 520 с.
6. Поливанов К.М. Теоретические основы электротехники.Т.1. – М., Энергия, 1972.-240 с.

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

УДК 004.738.5

ДИНАМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ТОРГОВЫХ ОТНОШЕНИЙ В ИНТЕРНЕТЕ

Крючковский Д.А., Полетаева А.Н.

Введение. Процессы развития глобальных информационно-коммуникационных технологий очень динамичны в настоящее время, а их возможности для общества и экономики еще только начинают масштабно использоваться. Примерно 10 лет назад слово “Интернет” ещё никто не знал, затем в течение нескольких лет он рассматривался преимущественно как гигантская библиотека, и главной его задачей считалась помощь в поиске нужной информации и организация доступа к ней. В настоящий “коммуникационный” этап своего развития главной задачей сети интернет является помощь в поиске желательных партнеров и предоставление средств для организации с ними нужного вида коммуникаций с необходимой интенсивностью. Сегодня практически невозможно найти даже малую организацию в нашем городе, которая не имеет своего представительства в интернете. Развиваются интернет – магазины, интернет – казино, интернет – аукционы. Некоторые фирмы предоставляют возможность заказа продукции или услуги через интернет с оплатой курьеру по факту доставки. Результаты последних исследований показали, что использование интернет - технологий в маркетинге может принести реальную экономию и прибыль. Это связано с большими выгодами и удобствами, которые получают как потребители, так и фирмы.

На сегодняшний день в Интернет представлено огромное количество информации, в том числе и о предприятиях, различная финансовая и аналитическая информация, новости экономики и политики, а также многое другое. Большинство организаций, независимо от направлений деятельности и форм собственности, имеют свои представительства в Интернет (web-сайты или просто странички), где представлена информация об их деятельности, предложениях, потребностях и пр. Вследствие этого Интернет предоставляет прекрасные возможности для проведения маркетинговых исследований. Причем, в отличие от традиционных методов исследований, Интернет позволяет найти необходимую информацию достаточно оперативно и в полном объеме. Такие исследования просто необходимы для разработки стратегии развития бизнеса, для быстрого реагирования на изменения рынка и для планирования рекламной кампании. На основе маркетинговых исследований в Интернет можно:

- предоставить отчеты по исследованию рынка;
- провести обзор отечественных и мировых цен по любым наименованиям товаров;
- осуществить поиск любой продукции, товаров и услуг, а также их возможных производителей;
- осуществить поиск бизнес партнеров и потенциальных покупателей;
- предоставить данные по проводимым в различных регионах выставкам и ярмаркам;
- провести текущий мониторинг ценовых тенденций по многим товарам, представить графическую информацию о динамике цен на основных мировых биржах;
- провести поиск конкурентов на международном рынке, предоставить информацию об аналогичных по профилю компаниях, сравнить их политику ценообразования, ассортимент, дополнительные услуги;

- предоставить любую финансовую информацию в реальном времени (курсы валют, котировки акций и государственных ценных бумаг).

Анализ публикаций. Работы [1] - [5] исследуют децентрализованные торговые системы, когда сосуществует ряд локальных рынков с различными ценами. В пространственных и других сетевых моделях равновесия [1,2] существование и свойства равновесия анализируются согласно различным предположениям. Также в [1] предполагается, что сетевое равновесие может быть вычислено с помощью алгоритмов. В [3,4] рассматривается ценовое формирование в попарных встречах покупателей и продавцов с розничными формами торговли.

В некоторых работах рассматривается скопление торговых посредников. В [6] расположение покупателей и продавцов изменяется, чтобы максимизировать их целевые функции. Если усиление взаимной близости больше, чем транспортные издержки, продавцы и покупатели формируют локальный рынок. В [7] рассматривается совокупность отдельных классов покупателей и продавцов, и анализируется создание локальных рынков. Формирование локального рынка в данном классе подвергается издержкам, но без локального рынка должны идти в рынки других классов, которые являются также нерентабельными. Показано, что если торговые издержки достаточно низки, то существуют устойчивые торговые структуры. В [7] исследуется формирование внутреннего характера торговых операций, но исследуется только заключительное состояние системы - ESS [8], как и в сетевых моделях равновесия.

Постановка задачи. Исследование взаимодействия участников рынка: покупатели, продавцы и посредники в распределенном рынке товаров. Каждый тип описан набором параметров и правил поведения в рынке. Естественно, для новых вычислений необходимо упростить правила принятия решения для индивидуальных участников рынка, и уделить больше внимания новым свойствам всей системы.

Основная часть. Обозначим наборы покупателей, продавцов и посредников C , P и T , соответственно. Примем, что множества P и T конечны. Поведение продавцов является внешним для системы. Покупатели желают подобрать и купить некоторый товар. Посредники могут покупать или продавать товар в зависимости от конкретного обстоятельства. Покупатели индексированы по $i \in C \cup T$, а продавцы - по $j \in P \cup T$. Покупатели могут покупать только одну единицу товара за сделку. Для каждой пары (i, j) из $C \cup T \times P \cup T$ определен неотрицательный номер r_{ij} , которое обозначим как торговое расстояние. Торговое расстояние – это среднее время, которое покупатель i должен потратить, чтобы приобрести единицу товара у продавца j . Время для сбора текущей информации о продавце, поиск продавца и физическая покупка товара значительна, и как показано ниже, может быть определяющим для динамических свойств торговой сети.

Время, потраченное на торговую операцию - реализация вероятностного процесса Пуассона со средним, равным, торговому расстоянию; процессы независимы для различной пары продавец-покупатель. Однако, моделирования доказали, что можно использовать средние потоки вместо вероятностных.

В дополнение ко времени, затраченному на покупку, нас также интересуют издержки в пространственных [1] моделях равновесия. Примем, что издержки пропорциональны торговому расстоянию $K_{ij} = k_i r_{ij}$, с коэффициентом k_i , являющимся стоимостью накладных расходов на единицу расстояния.

Каждый покупатель имеет предпочтение покупки α_{ij} , то есть, если покупатель i хочет купить единицу товара, то он будет идти к продавцу j с вероятностью α_{ij} . Естественно, требуем $\alpha_{ij} \geq 0$, $\sum_i \alpha_{ij} = 1$ и $\alpha_{ii} = 0$, $i \in T$. Следовательно имеется некоторый

спрос покупателя i для продавца j -го товара $\lambda_{ij} = \lambda^i \alpha_{ij}$, где λ^i - является i -ым общим покупательным спросом.

Продавцы описаны их ценами p_j и вероятностями доступности товара β_j . Примем, что продавцы не различают покупателей, поэтому любой покупатель, который приходит к продавцу j , покупает единицу товара по p_j с вероятностью β_j .

Как это было указано выше, продавцы – это пассивные владельцы товара. Их цены p_j и вероятности отсутствия дефицита $\beta_j, j \in P$ являются или постоянными параметрами или внешними функциями времени в модели.

Предлагаемая модель - динамическая реализация [9] с торговыми расстояниями. Предполагается, что ценовые корректировки случаются медленнее, чем корректировки количества. Также предполагается, что покупательное предпочтение изменяется медленнее, чем количество, но быстрее чем цена. Таким образом, иерархия времени следующая. Чтобы поддерживать равновесие (ограниченный бюджет покупателей и материальный баланс торговцев) в каждый момент времени, требуется немедленная корректировка потоков продаж и приобретений, то есть покупатели λ^i и продавцы β_i устанавливают подчинение принуждению по предлагаемым ценам и покупательским предпочтениям. Затем каждый покупатель определяет очертания покупательного предпочтения α_{ij}^* , которое максимизирует его целевую функцию по предлагаемым ценам и медленно корректирует его текущий a_{ij} до оптимальной отметки. Затем продавцы могут наблюдать реакцию покупателей на цены и определять цены, которые максимизируют их целевые функции и корректируют текущие цены p_i .

Итак, все положения могут быть отнесены так: торговцы устанавливают цены и наблюдают реакцию покупателей, изменяют цены и наблюдают реакцию на новые цены и т.д. Из-за мгновенной корректировки быстрых переменных все требуемые равновесия поддерживаются в каждый момент времени. В этой структуре, равновесие цен предоставляется равновесием Нэша [10].

Динамическая система определена, в ее текущем состоянии дан набор переменных для всех агентов: α_{ij}, p_j . Рассмотрим систему в состоянии равновесия. Система находится в равновесии, если все предпочтительные покупки оптимальны и цены всех торговцев локально увеличиваются за счет их функций прибыли.

Функции прибыли $\Pi_i(p_i)$ получены по данным цены других продавцов из:

$$\Pi_i = \frac{\sum \alpha_{ij} (\beta_j (p_i - p_j) - k_i r_{ij})}{\max\{\sum \alpha_{ij} \beta_j / \lambda_i, \sum \alpha_{ij} r_{ij}\}} \quad (1)$$

со спросами:

$$\lambda_i = \sum_{k \in CUT} \lambda_{ki}. \quad (2)$$

$$\frac{I}{A_i} = \sum \alpha_{ij} \left(\frac{\beta_j}{\beta_i \lambda_i} - r_{ij} \right). \quad (3)$$

$$\lambda_{ij} = \frac{\alpha_{ij} \min\{q_i \lambda_i, I\}}{\sum \alpha_{ij} r_{ij}}, \quad (4)$$

и предпочтением покупки. По определению, в равновесии $\beta_i = 1$ для всех $i \in T$, как будто торговец имеет дефицит, его функция прибыли $\Pi_i(p_i)$ увеличивается. При доказательстве исключим случаи, когда торговцы не имеют никакого спроса и способны понизить цену, чтобы привлечь покупателей. Следовательно, функция прибыли $\Pi_i(p_i) = -\infty$, если $\lambda_i(p_i) = 0$.

Примем, что заработная плата и торговые расстояния ограничены, и распределение покупателей в пространстве и по заработной плате таково, что функция прибыли каждого торговца является вогнутой для всех цен других данных торговцев. Затем состояние равновесия в следующей игре: набор игроков - T , их стратегии цены p_i (согласно предположению p_i принадлежат некоторым компактным наборам) и их функции выплаты выигрыша - функции прибыли $\Pi_i(p_i)$ определенные выше.

Все предположения естественны, за исключением вогнутости функций прибыли. Если торговец i , имеет дефицит $\beta_i < 1$, его функция прибыли $\Pi_i(p_i)$ увеличивается и становится вогнутой. Но если торговец не имеет никакого дефицита $\beta_i = 1$, то это зависит от распределения покупателей. В этом случае прибыль, полученная от продажи одиночному потребителю, увеличивает дробно-линейную функцию, до тех пор, пока покупатель не перемещается к другому продавцу, и прибыль, получаемая от него с перерывами не падает до нуля. Торговец получает большее количество прибыли на покупателей, которые все еще покупают у него, но он теряет всю прибыль от исчезающих потребителей. Если распределение покупателей однородно (приблизительно одинаковое число покупателей на каждом уровне заработной платы в каждой точке метрического пространства), то с увеличением цены, прибыль сначала растет медленно и затем падает медленно и может быть вогнутой. Но если распределение концентрируется, то после того, как торговец теряет целую группу покупателей из-за увеличения цены, его прибыль падает до конечного количества, поскольку увеличение прибыли от оставшихся заказчиков мизерно. Дальнейшее увеличение цены приносит в жертву непрерывное увеличение прибыли, до тех пор пока торговец не теряет группу. В этом случае функция прибыли имеет несколько локальных максимумов, а не вогнутость. Однако, равновесие в рассматриваемой динамической системе может все еще существовать, кроме того, может быть несколько равновесий.

Следствием этого факта является то, что средняя торговая прибыль у всех торговцев может представляться негладкой функцией времени: функция прибыли в случае группового распределения потребителей. Торговец покупает товар по цене производителя.

В этом случае, первоначально торговцы были в некоторых локальных оптимумах. Благодаря распределению покупателей, которое ведет к множественным локальным оптимумам, система в состоянии переключаться между ними довольно быстро. Важно подчеркнуть, что такой скачок средней прибыли не соответствует ни одному скачку средней цены. Временное изменение в прибыли - только следствие перераспределения спроса потребителей среди продавцов. В таком случае, более высокий максимум появляется, чтобы быть менее устойчивым, чем более нижний.

Это объясняет постоянные колебания, которые происходят в системе. Поскольку локальные максимумы индивидуальной функции прибыли зависят от цен других торговцев, изменение цены торговца i может привести торговца j , к переходу из данного локального максимума к следующему, следовательно изменение цены торговца j будет влиять на функцию прибыли i и заставлять последнего изменять его цену снова.

Другой источник неустойчивости, который вносит свои особенности в распределение покупателей вызван внезапным дефицитом. Эта опасность значительна, когда покупатели меняют свой спрос слишком быстро (высокий μ_i). Если большая группа покупателей имеет одинаковое расположение и заработную плату, то малое изменение торговцем j_1 цены может заставить их идти к другому торговцу j_2 . Если группа достаточно велика, торговец j_2 , будет тоже иметь дефицит, таким образом его привлекательность для покупателей будет резко падать.

Далее целая группа покупателей возвратится к торговцу j , и создаст дефицит там и т.д. Обратите внимание, что, если коэффициенты потребительской адаптации μ_i достаточно малы, то полученный дефицит не будет большим, и торговец будет иметь время, чтобы преодолеть это, увеличивая свою цену, таким образом торговец воспринимает свою функцию прибыли непрерывной. Ситуация становится более критичной с ухудшением инфраструктуры торговой сети, поскольку малые изменения в ценах теперь генерируют относительно высокие уровни дефицита.

Если индекс i , определенный по P_w, P_c, P_j , является управлением распределением последовательных состояний марковского процесса. Запишем уравнение баланса возможных приростов и падений в любом состоянии:

$$\frac{P_c}{\tau_i} = \sum \frac{P_j \beta_j}{r_{ij}}, \quad (5)$$

$$P_w \Lambda_i = \frac{P_c}{\tau_i} + \sum \frac{P_j (1 - \beta_j)}{r_{ij}}, \quad (6)$$

$$\frac{P_j}{r_{ij}} = P_w \Lambda_i \alpha_{ij}. \quad (7)$$

По определению - $P_w + P_c + \sum P_j = 1$. Решим эту систему уравнений и найдем:

$$P_w = \{1 + \Lambda_i \sum \alpha_{ij} (r_{ij} + \tau_i \beta_j)\}^{-1}, \quad (8)$$

$$P_c = \{1 + \Lambda_i \sum \alpha_{ij} (r_{ij} + \tau_i \beta_j)\}^{-1} \Lambda_i \tau_i \sum \alpha_{ij} \beta_j, \quad (9)$$

$$P_c = \{1 + \Lambda_i \sum \alpha_{ij} (r_{ij} + \tau_i \beta_j)\}^{-1} \Lambda_i \alpha_{ij} r_{ij}. \quad (10)$$

Мы пишем ожидаемые изменения благосостояния покупателей со временем (разница между доходами и затратами покупателей):

$$\Lambda_i = P_w s_i - P_w \Lambda_i \sum \alpha_{ij} \beta_j p_j - k_i \sum p_j \quad (11)$$

Вывод. Для того чтобы сделать вышеуказанное равным нулю и сохранить финансовый баланс, покупатель устанавливает его быструю переменную Λ_i , которая определяет количество времени и денег на потребление:

$$\Lambda_i = \{\sum \alpha_{ij} (\beta_j p_j + k_i r_{ij}) / s_i\}^{-1} \quad (12)$$

Ожидаемый прирост потребления находится в стабильном состоянии:

$$U_i = \frac{P_c}{\tau_i} = \frac{\sum \alpha_{ij} \beta_j}{\sum \alpha_{ij} (\beta_j \tau_i + \beta_j p_j / s_i + r_{ij} + k_i r_{ij} / s_i)}. \quad (13)$$

Определяя по P_i, P_j вероятности распределения в устойчивом состоянии Марковского процесса. Затем мы пишем баланс вероятности приростов и падений в любом состоянии:

$$P_i \Lambda_i = \sum P_j / r_{ij}, \quad (14)$$

$$P_j / r_{ij} = P_i \Lambda_i \alpha_{ij}. \quad (15)$$

Используя $P_i + \sum P_j = 1$ находим:

$$P_i = \{1 + \Lambda_i \sum \alpha_{ij} r_{ij}\}^{-1}, \quad (16)$$

$$P_j = \{1 + \Lambda_i \sum \alpha_{ij} r_{ij}\}^{-1} \Lambda_i \alpha_{ij} r_{ij}. \quad (17)$$

Напишем условия материального баланса. Ожидаемое изменение притока товаров торговцев равно разнице покупок и продаж за единицу времени, т.е.:

$$P_i \Lambda_i \sum \alpha_{ij} \beta_j - \beta_i \lambda_i. \quad (18)$$

Заменяя на P_i и делая равным нулю, получаем отношение между быстрыми переменными торговцев Λ_i и β_i :

$$1/\Lambda_i = \sum \alpha_{ij} (\beta_j / (\beta_i \lambda_i) - r_{ij}). \quad (19)$$

Находим ожидаемую прибыль торговца. В устойчивом состоянии сеть приростов наличных денег равна:

$$\Pi_i = p_i \beta_i \lambda_i - P_i \Lambda_i \sum \alpha_{ij} \beta_j p_j - P_j k_i = \beta_i \lambda_i \left(p_i - \frac{\sum \alpha_{ij} (\beta_j p_j + k_i r_{ij})}{\sum \alpha_{ij} \beta_j} \right). \quad (20)$$

The interactions of the participants of the market are investigated: the buyers, sellers and intermediaries in the distributed(allocated) market of the goods. Each type is described by a set of parameters and rules of behavior in the market. Naturally, for new calculations it is necessary to simplify rules of acceptance of the decision for the individual participants of the market, and to give more attention to new properties of all system.

Offered model - dynamic realization with trade distances. It is supposed, that the price updating happen more slowly, than updating of quantity(amount). Also it is supposed, that the purchased preference changes more slowly, than the quantity(amount), but is faster than price. Thus, hierarchy of time following(next). To support balance (limited budget of the buyers and material balance of the dealers) at each moment of time, the immediate updating of flows of sales and purchases is required.

1. Nagurney A. Network Economics: A Variational Inequality Approach.- Dordrecht etc.: Kluwer, 1993.

2. Евстигнеев И.В., Таскар М. "Стохастическое равновесие в графах, II". Журнал математической экономики, март 1995, ч.24, н.4, стр.371-381.

3. Рубинштейн, Ариел, Вольтский, Эйшер. "Равновесие на рынке с последовательным ведением переговоров". Эконометрия, сентябрь 1985, ч.53, н.5, стр.33-50.

4. Вольтский, Эйшер. "Информационные тайны на рынке с попарными встречами". Эконометрия, январь 1990, ч.58, н.1, стр.1-24.

5. Stodder, James. "The Evolution of Complexity in Primitive Exchange: Theory" and " The Evolution of Complexity in Primitive Exchange: The Empirical Tests" Journal of Comparative Economics. 20, pp.1-31, 190-210, 1995.

6. Baesemann, R.C. "The Formation of Small Market Places in a Competitive Economic Process – the Dynamics of Agglomeration". Econometrica, March 1977, Vol.45, No.2, pp.361-376.

7. van Raalte, Chris L. and Gilles, Robert P. "Endogenous Formation of Trade Center: An Evolutionary Approach". Department of Economics ant CentER, Tilburg University, June 1994.

8. Maynard Smith, John. Evolution and the Theory of Games. Cambridge: Cambridge University Press, 1982.

9. Bertrand, Joseph. "Review of "Theorie mathematique de la richesse sociale" and "Recherches sur les principes mathematique de la theorie de la richness", Journal des Savants, 1983, pp.499-508.

10. Nash, John F., Jr. "Non-cooperative games". Annals of Mathematics, 1951, 45:286-295.

УДК 336.445.6

МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІНАНСОВОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ВЕЛИКИХ ЕКОНОМІЧНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ КОРЕЛЯЦІЙНОГО АНАЛІЗУ

Рогальська Н.Г.

Система управління фінансами будь-якого господарюючого суб'єкта має забезпечувати ефективний менеджмент фінансових і товарно-матеріальних потоків, під яким розуміють таке управління, яке максимізує або задовольняє допустимі значення таких критеріїв як: норма прибутку, мінімізація втраченої вигоди, мінімізація витрат, об'єм продаж (зростання), частка ринку (лідерство), ліквідність, фінансова стійкість, гнучкість (адаптивність) тощо. [1].

Сучасна фінансова наука, як на мікро-, так і на макрорівні включає як необхідний елемент математичні методи і моделі, які дозволяють виділити і формально описати найбільш важливі, суттєві зв'язки економічних змінних і об'єктів. Математичні моделі використовувалися з ілюстративними і дослідницькими цілями ще Ф. Кене (1758 р., "Економічна таблиця"), А. Смітом (класична макроекономічна модель), Д. Рікардо (модель міжнародної торгівлі). У ХІХ ст. великий внесок у модулювання ринкової економіки внесла математична школа (Л. Вальрас, О. Курно, В. Парето та ін.). У ХХ ст. математичні методи моделювання застосовувались дуже широко, з їх використанням пов'язані практично всі роботи, удостоєні Нобелівської премії з економіки (Д. Хікс, Р. Солоу, В. Леонтьєв, П. Самуельсон та ін.) [2].

Однією з першочергових задач при плануванні фінансових потоків компанії є оцінка її ефективності. Дане положення зумовлене тим, що будь-який господарюючий суб'єкт має за мету досягнення максимально можливого позитивного ефекту у вигляді фінансових та нефінансових результатів. Оскільки головним мірилом фінансових результатів підприємства є передусім його прибутковість, важливим завданням управління є оптимізація прибутків та факторів, що на них впливають.

Прибуток будь-якої великої економічної системи можна представити у вигляді факторної моделі, яка зазнає впливу n -ної кількості чинників. У межах даного дослідження розглянемо два різні випадки:

- 1) Оптимізація прибутковості великої корпорації, що діє на засадах франчайзингу.
- 2) Оптимізація прибутковості фінансово-кредитної установи, який займається зовнішньоекономічною діяльністю.

У першому випадку прибутковість франчайзингової корпорації можна представити наступним чином:

$$B = R \cdot Q \cdot \overline{B_i} - E \quad (1)$$

де B – загальний прибуток франчайзера від розширення (без урахування прибутків від основної діяльності); R – середній розмір ставки роялті мережі; Q – загальна кількість підприємств мережі; B_i – середній дохід i -того члена мережі; E – витрати а на підтримку мережі.

Виходячи з даного рівняння, очевидні наступні напрями підвищення прибутковості мережі: а) збільшення ставки роялті; б) зростання кількості членів мережі; в) підвищення прибутковості кожного підприємства мережі; г) зменшення витрат на підтримку мережі.

Разом з тим, всередині даної системи існують також неявні, приховані зв'язки, які необхідно враховувати:

- 1) Розмір відсоткової ставки роялті впливає на зміну кількості франчайзі. Так, якщо ставка завищена, слід очікувати зменшення числа потенційних франчайзі; більш

того, певна кількість діючих партнерів також може відмовитись від франшизи. Це дозволяє зробити висновок про зворотний взаємозв'язок показників R та Q .

- 2) Обсяг витрат франчайзера на підтримку мережі (E) здійснює певний позитивний вплив на сукупний дохід членів мережі ($Q \cdot B_i$), оскільки включає в себе витрати на розвиток інфраструктури мережі, рекламу, навчання, консультування, надання гарантій і рекомендацій, оперативну підтримку. Отже, можна стверджувати про наявність прямої залежності між E та $Q \cdot B_i$.

Тому задачу підвищення ефективності (прибутковості) відносин франчайзі не можна звести до зазначених вище чотирьох напрямів. Рішення даної проблеми лежить у іншій площині: знаходження оптимального співвідношення показників $R, Q, \overline{B_i}, E$, яке дасть максимальне значення показника B , з урахуванням існуючих прямих (явних) та опосередкованих (прихованих) зв'язків і обмежень (рис.1).

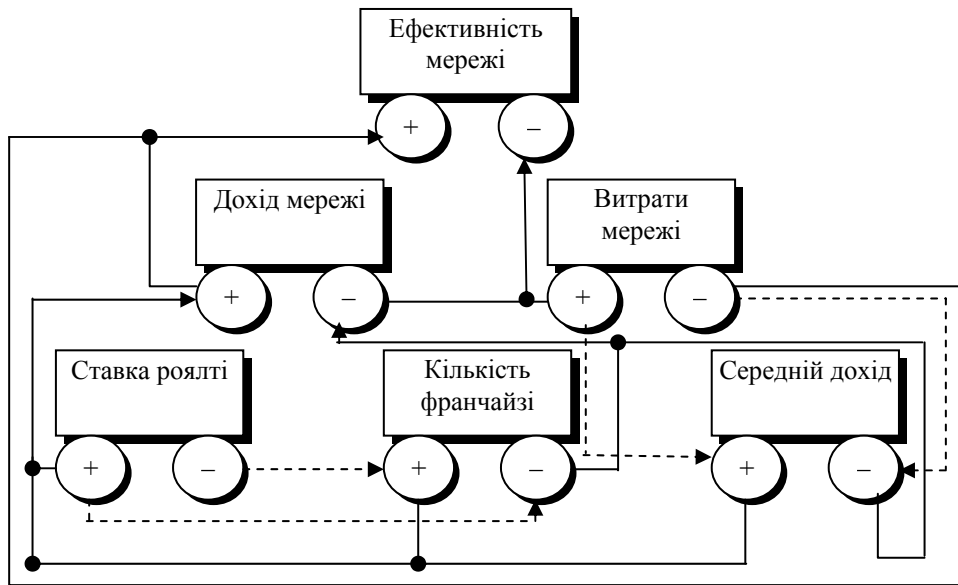


Рис. 1 Фактори ефективності франчайзингу: явні та приховані впливи

Таким чином, для того, аби спрогнозувати прибутковість франчайзингової мережі та встановити оптимальний рівень її показників, необхідно скласти економіко-математичну модель на базі схеми, наведеної на рис. 1:

$$B = R \cdot Q \cdot \overline{B_i} - E \rightarrow \max \quad (2)$$

Врахуємо зворотний зв'язок між ставкою роялті та кількістю партнерів:

$$Q = a_1 + \frac{b_1}{R} \quad (3)$$

та прямий зв'язок між витратами франчайзера на підтримку мережі та сукупною дохідністю франчайзі:

$$Q \cdot \overline{B_i} = a_2 + b_2 \cdot E \quad (4)$$

де a_i, b_i – параметри i -того рівняння кореляції, розраховані дослідним шляхом. Введемо також наступні обмеження:

$$\begin{cases} R \in [R_{\min}; R_{\max}] \\ Q \in [Q_{\min}; Q_{\max}] \end{cases} \quad (5)$$

де R_{\min} – мінімальна ставка роялті в галузі; R_{\max} – максимальна ставка роялті в галузі; Q_{\min} – мінімальна прийнятна кількість франчайзі в наступному періоді (враховується як кількість франчайзі в попередньому періоді); Q_{\max} – максимальна прийнятна кількість франчайзі в наступному періоді (враховується як кількість франчайзі в попередньому періоді Q_{\min} плюс кількість нових заявок на придбання франшизи).

В даному випадку найбільш складною проблемою, що стоїть перед аналітиками під час застосування даної моделі, є задача розрахунку рівняння залежності (кореляції) між розміром ставки роялті та кількістю франчайзі, оскільки необхідно спрогнозувати, як вплине зміна відсотку відрахувань на попит на франшизу даної компанії; при цьому, аби одержати високу точність розрахунків, потрібна достатньо велика вибірка даних для аналізу. В якості таких даних доцільно використати:

- статистичну інформацію за n періодів аналогічної компанії, яка вже тривалий час діє на основі „плаваючої” ставки роялті;
- статистичні відомості за 1 період щодо розміру ставок роялті та кількості діючих франчайзі n аналогічних компаній;
- результати опитування (анкетування, інтерв'ювання) n потенційних франчайзі щодо прийнятної для них ставки роялті.

У сучасних умовах для знаходження оптимального рішення використовують вбудовані функції Microsoft Excel, яка має у своєму арсеналі потужний пакет інструментів фінансового аналізу, в тому числі функції пошуку оптимуму із використанням методів Ньютона та спряжених градієнтів [3-5]. Об'єкт оптимізації описується засобами табличного процесора Excel як сукупність формул, зведених у таблицю і залежних від змінюваних параметрів – вхідних даних. В цілому під моделлю об'єкта розуміють її математичний (у випадку Excel – формульний) опис, що характеризує залежність вихідних характеристик об'єкта (в тому числі й цільової функції) від вхідних даних.

За результатами апробації даної моделі з використанням числових даних компанії McDonald's [6] автором були зроблені відповідні висновки: спрямування наявних джерел (2980 млн. дол.) на здійснення капітальних витрат (за умови, що витрати на підтримку франчайзингової мережі стабільно складають близько 10% капітальних витрат, або 298 млн. дол.) дозволить підвищити сукупний дохід (виручку) франчайзі до 28528 млн. дол. (проти існуючого – 25692 млн. дол.), а прибуток мережі – до 834,668 млн. дол., зберігаючи встановлений темп приросту кількості франчайзі; ставка роялті за оптимальних умов може бути знижена до 4%. Подібна ставка може застосовуватись не для всіх франчайзі, а, наприклад, в якості бонусу для тих, які забезпечують високий рівень ключових показників [7]. Тобто реальне підвищення ефективності фінансової діяльності компанії за умов використання оптимізаційної моделі може сягати порядку 10-11%.

У дещо видозміненому вигляді модель може бути застосована для інвестиційних фондів, комерційних банків, страхових компаній, інших фінансових установ – загалом, для будь-якого економічного комплексу, котрий характеризується системою прямих і непрямих впливів та обмежень і може досягати певного рівня ефективності шляхом регулювання відповідної відсоткової ставки.

Отже, перейдемо до розгляду другого прикладу. Доходи та витрати фінансово-кредитної установи від зовнішньоекономічної діяльності включають в себе наступні параметри:

- доходи від здійснення міжнародних розрахункових операцій,
- доходи від здійснення кредитування міжнародних операцій,
- витрати на виплату відсотків по валютним депозитам,

- інші доходи та витрати (здійснення валютних операцій, операцій на міжнародному фондовому ринку, іноземні інвестиції, міжнародні лізингові, факторингові та форфейтингові операції, відкриття рахунків “Ностро” в іноземній валюті в українських та іноземних банках, наявність рахунків “Лоро” українських та іноземних банків, тощо) [8-9].

Щоб краще проаналізувати результат банку від міжнародних валютних, кредитних та розрахункових операцій, треба виділити також фактори другого порядку, тобто ті, які здійснюють вплив на фактори першого порядку, наведені вище.

На витрати банку на сплату відсотків по валютних депозитах впливають, в основному, два фактори: середньомісячна ставка відсотку та місячна сума вкладень у іноземній валюті. Доходи банку від здійснення валютного кредитування залежать також від двох факторів: середньомісячної ставки відсотку по валютним кредитам та місячної суми кредитної заборгованості. Також два основних фактори мають вплив і на доходи від здійснення міжнародних розрахункових операцій: середньомісячний рівень комісійних за здійснення цих операцій та їхній обсяг.

Можна також прослідкувати, що фактори впливають один на інший. З’ясовано, що зростання ставки відсотку по валютним депозитам викликає збільшення суми вкладень у іноземній валюті, оскільки клієнти банку вкладають більше грошових коштів в надії отримати більший прибуток. З практики видно також, що підвищення ставки відсотку по валютним депозитам викликає й підвищення ставки по валютним кредитам, оскільки остання має перевищувати першу для того, аби банк працював у цій сфері прибутково. Проте одночасно збільшення кредитного відсотку негативно впливає на суму виданих позик, оскільки клієнти починають шукати більш дешеві кредити в інших банківських закладах. Взаємозалежність між динамікою зміни ставки відсотку по валютних депозитах і суми вкладень населення в інвалюті показана на прикладі одного з українських комерційних банків на рис. 2.

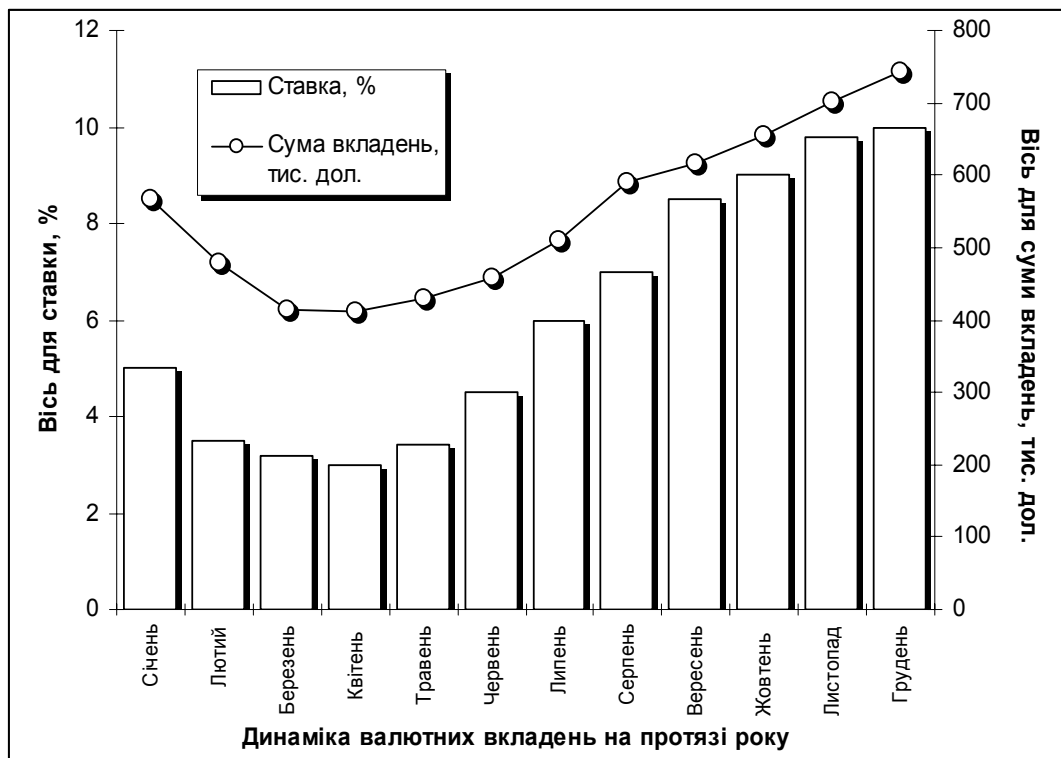


Рис. 2 Динаміка зміни ставки відсотку по валютних депозитах і суми вкладень населення в інвалюті: графік з двома осями Y

До необхідної та бажаної інформації, якою має володіти керівництво банку, відносяться:

- рівняння та коефіцієнт кореляції між ставкою відсотку по валютним депозитам та сумою вкладів у іноземній валюті,
- рівняння та коефіцієнт кореляції між ставкою відсотку по валютним кредитам та сумою виданих кредитів у іноземній валюті,
- рівняння та коефіцієнт кореляції між ставкою комісійного відсотку за здійснення міжнародних розрахункових операцій та обсягом цих операцій,
- рівняння та коефіцієнт кореляції між курсами купівлі-продажу основних іноземних валют та прибутками банку від здійснення міжнародних розрахункових і валютних операцій,
- рекомендації Національного банку щодо відсоткової ставки по кредитах і депозитах,
- “валютний коридор”, встановлений Національним банком у даному періоді,
- дані маркетингового відділу щодо попиту на послуги банку у попередні періоди та прогнозні дані на наступний період,
- дані маркетингового відділу щодо загальної ситуації на ринку банківських послуг та щодо обсягів і вартості здійснення таких послуг конкуруючими банківськими структурами,
- проекти доходів та витрат, пов'язаних із міжнародними лізинговими, факторинговими та форфейтинговими операціями, та із участю, здійсненням чи одержанням іноземних інвестицій, тощо.

Володіючи вказаними вище даними, керівництво банку може планувати та прогнозувати прибутки від здійснення міжнародних розрахункових та валютних операцій на наступні періоди, а також встановлювати, у межах рекомендованих НБУ, відсоткові ставки на валютні кредити і депозити та курси іноземних валют, їх оптимальне співвідношення, задля оптимізації ефективності своєї діяльності у цьому напрямку, тобто задля одержання максимального прибутку при мінімальних витратах і підвищення попиту на свої послуги у цій сфері.

Тобто виникає наступна ситуація: коли обидві ставки більш низькі, банк видає більшу кількість кредитів, але в нього не вистачає валютних коштів для їх фінансування, оскільки сума валютних вкладень занижена. І навпаки, коли обидві ставки знаходяться на більш високому рівні, до банку надходить велика кількість валютних коштів, але вони перевищують потребу, оскільки банк видає меншу кількість кредитів. Отже, завжди банк має або надлишок коштів у іноземній валюті, або їх нестачу. Ситуація виправляється дуже легко шляхом купівлі або продажу необхідної кількості валюти. Таким чином, існує ще один важливий фактор впливу – валютний курс. Вплив усіх факторів на результат (прибуток) банку від здійснення валютно-кредитних і розрахункових операцій ілюструє рис.3.

Володіючи інформацією щодо кореляції вказаних факторів, керівництво банку може планувати та прогнозувати прибутки від здійснення міжнародних розрахункових та валютних операцій на наступні періоди, а також встановлювати, у межах рекомендованих НБУ, відсоткові ставки на валютні кредити і депозити та курси іноземних валют, їх оптимальне співвідношення, задля оптимізації ефективності своєї діяльності у цьому напрямку, тобто задля одержання максимального прибутку при мінімальних витратах і підвищення попиту на свої послуги у цій сфері.

Тепер, для того, щоб спрогнозувати прибутки банку від здійснення міжнародних валютних, кредитних та розрахункових операцій і встановити оптимальний порядок їх проведення (тобто визначити оптимальний рівень та співвідношення відсоткових та комісійних ставок, а також курсу валюти), необхідно скласти економіко-математичну модель на базі схеми, наведеної на рис.3.

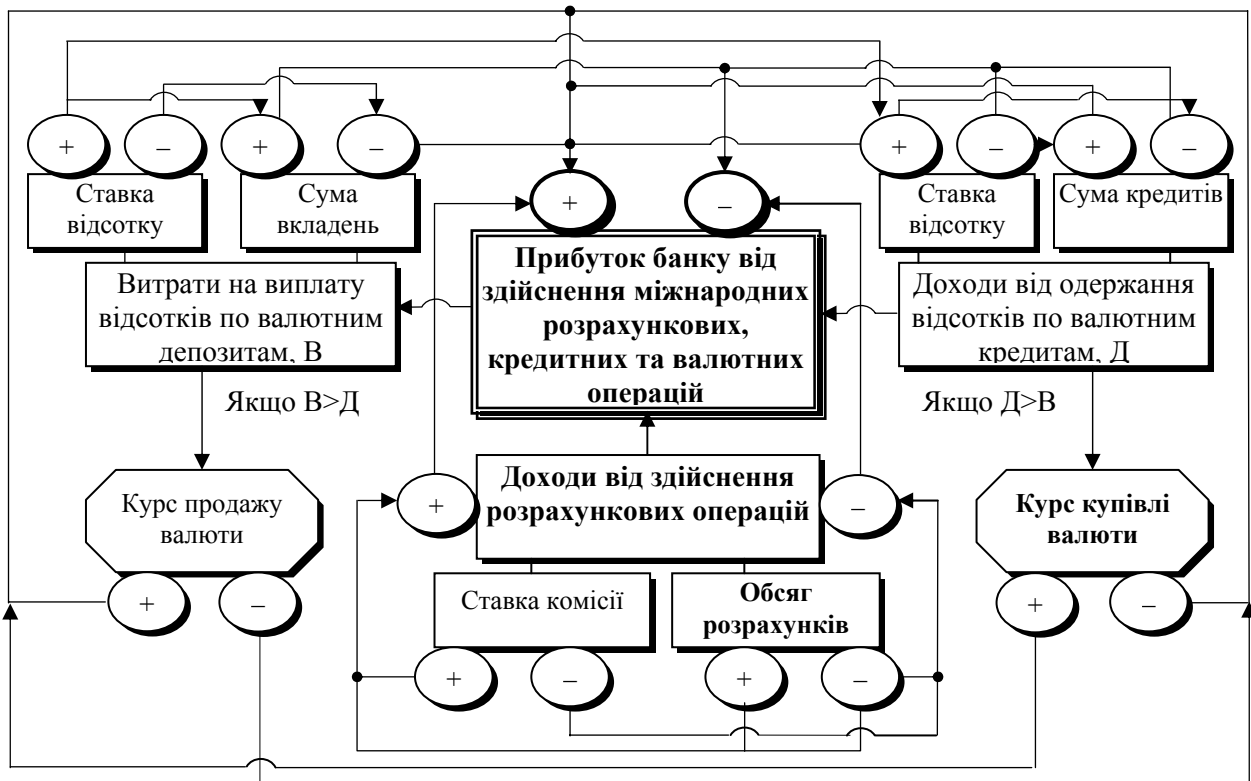


Рис.3 Фактори прибутку від здійснення міжнародних розрахункових, кредитних та валютних операцій

$$f = z_2 + z_3 + z_4 - z_1 \rightarrow \max \quad (6)$$

де f - загальний прибуток банку від здійснення міжнародних розрахункових, валютних та кредитних операцій; z_1 - місячна сума витрат банку на виплату відсотків за валютними депозитами; z_2 - місячна сума доходів банку від одержання відсотків за валютними кредитами; z_3 - місячна сума доходів банку від одержання комісійного відсотку за проведення міжнародних розрахунків; z_4 - місячна сума інших доходів та витрат банку за зовнішньоекономічними та валютними операціями.

$$z_1 = \frac{y_1 \cdot x_1}{100} \quad (7)$$

де y_1 - місячна сума валютних вкладень,

$$y_1 = a_1 + b_1 x_1 \quad (8)$$

де x_1 - середньомісячна ставка відсотку за валютними депозитами (має знаходитися у межах від m_1 до n_1),

$$z_2 = \frac{y_2 \cdot x_2}{100} \quad (9)$$

де y_2 - місячна сума валютних позик,

$$y_2 = a_2 + b_2 x_2 \quad (10)$$

$$x_2 \geq x_1$$

де x_2 – середньомісячна ставка відсотку за валютними кредитами (знаходиться у межах від m_2 до n_2).

$$z_3 = \frac{y_3 \cdot x_3}{100} \quad (11)$$

де y_3 – місячна сума міжнародних розрахунків,

$$y_3 = a_3 + b_3 x_3 \quad (12)$$

де x_3 – середньомісячна комісійна ставка за проведення міжнародних розрахункових операцій (знаходиться у межах від m_3 до n_3).

$$f = t \quad (13)$$

де t – загальний прибуток банку від здійснення міжнародних розрахункових, валютних та кредитних операцій, розрахований на основі рівняння залежності від зміни валютного курсу.

$$\begin{aligned} t &= a_4 + b_4 x_4, \text{ при } z_2 \geq z_1 \\ t &= a_5 + b_5 x_5, \text{ при } z_2 < z_1 \end{aligned} \quad (14)$$

де x_4 – курс купівлі іноземної валюти (знаходиться у межах від m_4 до n_4 гривень за 1 долар США); x_5 – курс продажу іноземної валюти (знаходиться у межах від m_5 до n_5 гривень за 1 долар США); a_i, b_i – параметри i -того рівняння кореляції, розраховані дослідним шляхом [3,4]; m_i, n_i – мінімальна та максимальна межа коридору, рекомендованого НБУ по даній позиції.

Розрахунки показують, що застосування наведеної моделі для рішення задачі оптимізації показників зовнішньоекономічної діяльності комерційного банку дозволяє вивільнити потенціал, який дасть змогу підвищити річний прибуток банківської установи від проведення міжнародних та валютних операцій на 9-9,5% (так, для окремо взятої філії Промислово-інвестиційного банку України потенційний середньорічний прибуток від ЗЕД було обчислено на рівні 151,8 тис. дол. проти існуючого у 138,72 тис. дол. [10]). Тобто відсоток підвищення ефективності внаслідок використання запропонованої моделі для банку майже аналогічний цьому ж показнику, розрахованому вище для франчайзингової компанії.

Таким чином, дослідження, проведене у статті, дає можливість зробити наступні висновки:

1. Формалізація основних особливостей функціонування економічних суб'єктів дозволяє оцінити можливі наслідки впливу на них і використовувати такі оцінки в управлінні.

2. Для аналізу потенціалу максимізації ефективності або прибутку фірми доцільно використовувати оптимізаційне моделювання.

3. Прибутковість великої франчайзингової корпорації залежить як від основних (ставка роялті, обсяг, доходи і витрати мережі), так і від опосередкованих чинників – відмічено прямий зв'язок між показниками "витрати" – "доходи" та зворотній між відсотком роялті та зростанням мережі.

4. Використання запропонованої в статті моделі для оптимізації діяльності франчайзингової компанії дозволить регулювати такі показники як витрати на підтримку мережі, ставка роялті, зростання мережі з метою підвищення ефективності фінансової діяльності компанії.

5. Фундаментальною проблемою для банківської сфери є потенційне протиріччя між намаганням фінансових установ з метою залучення клієнтури сплачувати більш високі відсотки і зниженням їх надійності, до якого подібні дії можуть призвести. Одним із засобів рішення даної проблеми є впровадження оптимізаційної моделі, що врахує явні і приховані зв'язки між показниками.

6. Проведені розрахунки для франчайзингової компанії та фінансово-кредитної установи дають змогу встановити, що неврахований потенціал зростання прибутковості внаслідок використання запропонованої моделі оптимізації складає в середньому 10%.

7. У дещо видозміненому вигляді модель може бути застосована для інвестиційних фондів, страхових компаній, інших фінансових установ – загалом, для будь-якого економічного комплексу, котрий характеризується системою прямих і непрямих впливів та обмежень і може досягати певного рівня ефективності шляхом регулювання відповідної відсоткової ставки.

In the article the optimization models of financial results of large economic systems such as franchising company and commercial bank are considered. The factors that influence into the characters of benefit directly or indirectly are emphasized.

1. Тренев Н.Н. Управление финансами: Учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика. – 1999. – 496 с.

2. Замков О.О., Толстопятенко А.В., Черемных Ю.Н. Математические методы в экономике: Учебн. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, Издательство "ДИС". – 1998. – 368 с.

3. Карлберг К. Бизнес-анализ с помощью "Excel". – М., Спб., К. – 2000

4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. М.: «Наука» - 1988. – 480 с.

5. Коваленко И.Н., Филипова А.А. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа – 1982 – 256 с.

6. McDonald's 2002 Financial Report - 11-Year Summary: http://www.mcdonalds.com/invest/pub/2003_financials.htm

7. Чуйко Н.Г. Оптимізація показників діяльності франчайзингової компанії з використанням кореляційного аналізу // Збірник матеріалів науково-практичної конференції „Розвиток фінансової системи України в умовах ринкових трансформацій”. – Вінниця: ВІЕ ТАНГ. – 2004

8. Резанова Н.С. Міжнародні фінанси. К.: КНЕУ – 2001 – 119 с.

9. Мороз А.М., Савлук М.І. та інші. Банківські операції: Підручник. – К.: КНЕУ – 2000. – 384 с.

10. Чуйко Н.Г. Управління міжнародними розрахунками підприємств, установ з метою підвищення ефективності їх проведення (на матеріалах Херсонського Центрального відділення Промінвестбанку): Дипломна робота спеціаліста: 7.050104. – Херсон: ХДТУ, 2002. – 102 с.

РЕФЕРАТЫ

Гасанов А.С. Алгоритм адаптивного определения математических моделей объектов с помощью гармонического анализа – С. 5 - 13.

Рассмотрены вопросы применения фильтра Винера-Калмана для адаптивного определения математических моделей объектов с помощью гармонического анализа. Приведены вычислительные формулы и пример, характеризующий сходимость рекуррентных соотношений.

Завальнюк И.П., Бражник А.М. Исследование критических режимов автоколебательных систем – С. 14 - 20.

Рассматривается поведение автоколебательной системы при изменении функции диссипации. Установлено, что переход системы из одного состояния в другое носит квантовый характер. Определено, что при снятии управления система выходит из критического режима и выделяет накопленную энергию.

Клименко А.К. О влиянии конструктивных параметров обратной модели на её устойчивость – С. 21 - 26.

Рассматривается влияние дискретности времени и конструктивного сдвига времени на устойчивость дискретной обратной модели. Установлено условие устойчивости в функции исходных параметров моделируемого объекта и конструктивных параметров обратной модели. Рассмотрена граница устойчивости на плоскости параметров.

Тодорцев Ю.К., Беглов К.В., Максименко И.Н. Модели элементов установки теплоснабжения как объекта автоматизации – С. 27 - 31.

В данной статье рассматриваются математические модели элементов установки теплоснабжения, использующей нетрадиционные источники энергии. Эти модели позволяют составить обобщённую модель установки теплоснабжения при различных видах взаимосвязей между элементами. Также модели могут быть использованы при синтезировании регулятора оптимального управления такой установкой.

Хомченко А.Н., Моисеенко С.В., Цыбуленко О.В. Моделирование трансляционных функций формы на гексагоне – С. 32 - 34.

Исследуется возможность геометрического моделирования трансляционных базисных функций типа Лагранжа для восстановления потенциального поля на гексагоне. Анализируется явление слабого весового дисбаланса в системе функций формы.

Вайсман В.А. Математическое моделирование процесса управления кинематической точностью шарико-винтовых передач – С. 35 - 39.

В статье изложено решение задачи статистического исследования кинематической точности шарико-винтовых передач (ШВП), что позволяет управлять процессом повышения их качества, минимизировать затраты времени на контроль точности изделий и повысить эффективность производства ШВП.

Крылов В.Н., Полякова М.В. Частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений – С. 40 - 46.

Предложен помехоустойчивый частотно-детекторный метод текстурной сегментации изображений с пространственно-частотной локализацией значений интенсивности.

Руденко О.Г., Бессонов А.А., Бобух В.А. Аппаратная реализация нечеткой сети СМАС и ее применение для задач сжатия изображений – С. 47 - 52.

В статье рассматриваются вопросы аппаратной реализации FCMAC и применения ее для задач сжатия изображений. Приводятся результаты имитационного моделирования, выполненного с помощью среды Matlab и свидетельствующего об эффективности приме-

нения нечеткой сети FCMAC для решения задач обработки изображений в реальном времени.

Тодорцев Ю.К., Бундюк А.Н., Студинский Е. Система принятия решений при управлении обучением персонала – С. 53 - 56.

В статье даны характеристики разработанной компьютерной системы, используемой для принятия решений при модульном контроле знаний по учебным курсам.

Для компьютерного обеспечения процесса тестирования использован пакет Lab-View 7.0 фирмы National Instrument. Система реализована в виде программы, структурно представленной последовательностью кадров, запускающих соответствующие процедуры.

Фанина Л.А., Бражник Д.А. Использование метода компенсации информационных потоков при построении систем управления с речевым интерфейсом – С. 57 - 65.

Целью данной статьи является создание системы распознавания речи инвариантной к внешним возмущениям. В решение данной проблемы выделяется прямая и двойственная задача. Приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований.

Ходаков В.С., Шеховцов А.В., Бараненко Р.В. Математичні аспекти створення автоматизованої системи „Реєстр виборців України” – С. 66 - 72.

В даній статті розглядаються математичні аспекти проектування автоматизованої системи „Реєстр Виборців України”, особливості організації даних у системі, критерії, яким має задовольняти автоматизована система, аналізуються алгоритми інформаційного пошуку в системі та розроблена модель залежності часу обробки даних від швидкодії технічних засобів обробки та обсягу даних, що обробляються.

Бабенко Н.И., Бабичев С.А. Яблуновская Ю.А. Автоматизированная информационная система управления учебным заведением – С. 73 - 79.

В статье представлена автоматизированная информационная система поддержки принятия решений при управлении учебным заведением, основанная на теории нечетких множеств, в которой реализован высокий уровень взаимосвязи между всеми элементами учебного заведения. Преимущество предложенной системы заключается в высокой скорости обработки поступающей информации, что позволяет сократить временные затраты для формирования как стратегических, так и тактических решений.

Бараненко Р.В., Шаганян С.М., Дячук М.В. Аналіз алгоритмів взаємних виключень критичних інтервалів процесів у розподілених системах – С. 80 - 83.

Розглянута проблема синхронізації процесів у розподілених системах, проведений порівняльний аналіз алгоритмів взаємного виключення критичних інтервалів процесів, у результаті якого визначені їхні основні переваги й недоліки.

Вайсман В.А., Гогунский В.Д., Руденко С.В. Формирование структур организационного управления проектами – С. 84 - 88.

Выполнен анализ различных структурных схем управления объектами. Разработаны принципиальные структуры организационного управления проектами системы менеджмента качества с использованием основ теории автоматического управления.

Гожий А.П., Коваленко И.И. Системные технологии генерации и анализа сценариев – С. 89 - 96.

В данной статье описана системная методология построения сценариев. Предложено с позиций системного подхода рассматривать определенную совокупность инструментальных методов в виде системы методов для построения различных сценариев

Козак Ю.А., Колчин Р.В. Модель информационного обмена в автоматизированной системе управления запасами материальных ресурсов в двухуровневой логистической системе – С. 97 - 101.

В терминах теоретико-множественного подхода, рассмотрена концептуальная модель информационного обмена в автоматизированной системе управления запасами материальных ресурсов в двухуровневой логистической системе. Данная модель может быть использована как основа для разработки информационного и программного обеспечения АСУ запасами материальных ресурсов в логистической системе указанного типа.

Нагорный Ю.И. Решение задачи автоматизированного расчета надежности иасуп с использованием модифицированного метода вероятностной логики – С. 102 - 106.

В статье описан подход к автоматизированному расчету надежности ИАСУП и оптимизации ее функциональной структуры.

Балтовский А.А. Синтез оптимального закона управления большой системой на основе композиции локальных оптимальных решений – С. 107 - 110.

Предлагается новый подход к решению задач управления, основанный на идее эквивалентности или квазиэквивалентности исходной задачи большой размерности и соответствующей блочной декомпозиционной задачи.

Марасанов В.В., Забитовская О.И., Щербина Е.В. Энтропийные методы оптимизации гравитационных моделей. – С. 111 - 122.

Статья посвящена вопросам построения баз знаний экспертных систем прогноза спроса на аналогии между экономическими и физическими системами.

Поливода О.В., Бражник А.М. Метод компенсации ошибок идентификации при оптимальном управлении – С. 123 - 127.

Согласно названию в статье описывается один из методов компенсации ошибок идентификации при оптимальном управлении. Приведены результаты исследования системы с П-регулятором и ПИ-регулятором. Представлены результаты моделирования, проведенного в пакете MATLAB-Simulink.

Бобриков С.А., Воевода А.Б., Лебедева Т.А. Расчет цифрового управляющего устройства для линейного объекта с запаздыванием – С. 128 - 133.

Статья посвящена коррекции нелинейных элементов систем управления, что позволяет улучшить как статические, так и динамические свойства элементов системы

Водічев В.А., Мухаммед М.А. Дослідження системи стабілізації потужності різання металообробного верстата з фази-регулятором – С. 134 - 137.

Розглянуто застосування фази-регулятора для управління електроприводом подачі в автоматизованій системі, яка забезпечує підтримку потужності різання металообробного верстата на заданому рівні і підвищує продуктивність верстата. Наведені результати дослідження системи на математичній моделі.

Квасніков В.П., Кочеткова О.В. Проектування координатно-вимірювальної машини на нейронних мережах – С. 138 - 141.

В статті розроблений новий функціональний принцип координатно-вимірювальної машини з використанням штучних нейронних мереж, що реалізуються у формі самонавчання комп'ютерних програм, що дозволяють з високою точністю і швидкістю здійснювати вимірювання геометричних розмірів об'єктів і обходу перешкод вимірювальним на-

конечником по оптимальній траєкторії. Отриманий вираз для енергетичної функції нейронної мережі.

Пупена О.М., Ельперін І.В., Ладанюк А.П. Особливості проектування комп'ютерно-інтегрованих систем управління – С. 142 - 151.

В статті розглядаються нові підходи при проектуванні комп'ютерно-інтегрованих систем управління з урахуванням специфіки цих систем. Ці підходи можна використати як при розробці реальних розподілених систем управління, так і в навчальному процесі.

Рожков С.А., Федотова О.Н. Алгоритм обучения системы распознавания автоматической системы разбраковки тканей – С. 152 - 161.

Рассмотрен адаптивный алгоритм распознавания дефектов ткани для автоматической системы контроля качества, построенный на основе обучающего массива. В процессе обучения системы распознавания предложено формировать эталонное пространство путем построения разделяющих границ произвольного вида между классами. При ограниченном наборе признаков классов это позволяет описать многомерное пространство в виде вектора эталона.

Тернова Т.І. Алгоритм оцінювання деформацій рапорту періодичних об'єктів – С. 162 - 168.

У статті розглянуто алгоритм оцінювання просторових деформацій методом максимальної правдоподібності. Показано можливість застосування даного алгоритму для оцінки деформацій тканин і інших періодичних об'єктів.

Сендерович Г.А. Использование мощности симметричных составляющих для определения фактического вклада субъекта в искажение симметрии – С. 169 - 176.

У статті розглянуто алгоритм оцінювання просторових деформацій методом максимальної правдоподібності. Показано можливість застосування даного алгоритму для оцінки деформацій тканин і інших періодичних об'єктів.

Крючковский Д.А., Полетаева А.Н. Динамическая система торговых отношений в интернете – С. 177 - 182.

Исследуются взаимодействия участников рынка: покупатель, продавец и посредники в распределенном рынке товаров. Каждый тип описан набором параметров и правил поведения в рынке. Естественно, для новых вычислений необходимо упростить правила принятия решения для индивидуальных участников рынка, и уделить больше внимания новым свойствам всей системы.

Предлагаемая модель - динамическая реализация с торговыми расстояниями. Предполагается, что ценовые корректировки случаются медленнее, чем корректировки количества. Также предполагается, что покупательное предпочтение изменяется медленнее, чем количество, но быстрее чем цена. Таким образом, иерархия времени следующая. Чтобы поддерживать равновесие (ограниченный бюджет покупателей и материальный баланс торговцев) в каждый момент времени, требуется немедленная корректировка потоков продаж и приобретений.

Рогальська Н.Г. Моделі оптимізації фінансової діяльності великих економічних систем з використанням кореляційного аналізу – С. 183 - 190.

В статті розглянуто моделі оптимізації фінансових результатів діяльності великих економічних систем, таких як франчайзингова компанія та комерційний банк. Виділені фактори, що здійснюють вплив прямиий та опосередкований вплив на показники прибутковості.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Бабенко Н.И. - директор Херсонского физико–технического лицея при ХНТУ и ДНУ.

Бабичев С.А. - Херсонский Морской институт, доцент кафедры естественно–научной подготовки, кандидат техн. наук, доцент кафедры общей и прикладной физики Херсонского национального технического университета.

Балтовский А.А. - кандидат технических наук, доцент кафедры вооружения Одесского ордена Ленина института Сухопутных войск.

Бараненко Р.В. - ассистент кафедры Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета, аспирант кафедры Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета

Беглов К.В. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизация тепло–энергетических процессов», Одесский национальный политехнический университет

Бессонов А.А. - стажер-исследователь, кафедра ЭВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Бобух В.А. - аспирант, кафедра ЭВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Бражник А.М. - кандидат техн. наук, доц., зав. каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет.

Бражник Д.А. - ассистент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета

Бундюк А.Н. - канд. техн. наук, профессор кафедры АТП, Одесский национальный политехнический университет

Вайсман В.А. - кандидат технических наук, доцент Одесского национального политехнического университета, г. Одесса.

Водичев В.А. - заведующий кафедрой электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского национального политехнического университета, доктор техн. наук.

Гасанов А.С. - старший научный сотрудник Международного научно-учебного центра информационных технологий и систем НАН и МОН Украины

Гожий А.П. - кандидат техн. наук, доцент, декан факультета компьютерных наук Николаевского государственного гуманитарного университета им. П.Могилы, заведующий кафедрой Информационных технологий проектирования

Дячук М.В. - студентка специальности „Комп’ютерні системи та мережі” кафедры Інформаційних технологій і Дизайну ХНТУ

Эльперин И.В. - Национальный университет пищевой промышленности

Завальнюк И.П. - аспирант кафедры технической кибернетики, Херсонский Национальный Технический Университет

Клименко А.К. - к. т. н., с. н. с., доцент, Бердянский госпедуниверситет

Коваленко И.И. - д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Програмного обеспечения автоматизированных систем, Национального университета кораблестроения.

Козак Ю.А. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой информатизации и управления ОНАС.

Крылов В.Н. - д.т.н., профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет

Крючковский Д.А. - начальник отдела информационных технологий Херсонской дирекции украинского государственного предприятия почтовой связи "УкрПочта".

Ладанюк А.П. - зав. кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевой промышленности, профессор, доктор техн. наук.

Максименко И.Н. - Одесский национальный политехнический университет

Марасанов В.В. - зав. кафедрой экономической кибернетики Херсонского аграрного университета, профессор, доктор техн. наук.

Моисеенко С.В. - Херсонский Национальный Технический Университет

Мухаммед М.А. - аспирант кафедры электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского национального политехнического университета

Нагорный Ю.И. - аспирант Херсонского национального технического университета.

Полетаева А.Н. - старший преподаватель кафедры Дизайн, Херсонский национальный технический университет

Поливода О.В. - аспирант кафедры «Технической кибернетики» Херсонского национального технического университета

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

Пупена О.М. - Национальный университет пищевой промышленности

Рогальська Н.Г. - старший преподаватель кафедры „Финансы”, Херсонский национальный технический университет; соискатель Одесского государственного экономического университета.

Рожков С.А. - доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета, кандидат техн. наук

Руденко О.Г. - д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭВМ, кафедра ЭВМ, Харьковский национальный университет радиоэлектроники

Сендерович Г.А. - к. т. н., старший научный сотрудник, доцент кафедры электрооборудования городов Харьковской национальной академии городского хозяйства

Студинский Е. - студент кафедры АТП, Одесский национальный политехнический университет

Тернова Т.И. - старший преподаватель 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, докт. техн. наук, профессор

Фанина Л.А. - аспирантка кафедры «Технической кибернетики» Херсонского национального технического университета

Федотова О.Н. - доцент кафедры технической кибернетики Херсонского национального технического университета, кандидат техн. наук

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, заведующий кафедры прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета, доктор физ.-мат. наук.

Цыбуленко О.В. - аспирант кафедры «Прикладной математики и математического моделирования» Херсонского национального технического университета

Шаганян С.Н. - ассистент кафедры Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета Херсонского национального технического университета

Шеховцов А.В. - кандидат техн. наук, доцент кафедры Информационных технологий и Дизайна Херсонского национального технического университета Херсонского национального технического университета

Яблуновская Ю.А. - инженер–программист Херсонского физико–технического лицея при ХНТУ и ДНУ.

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
ХГТУ, Редакция журнала ААЭКС
Бражнику Александру Михайловичу
т.: (0552) 552968, 326937
E-mail: aaecs@yandex.ru, app@kstu.edu.ua

Рефераты научно-технического журнала аннотируются по сети INTERNET

Работы следует направлять в редакцию журнала по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24, ХГТУ, Редакция журнала ААЭКС
E-mail: app@kstu.edu.ua

Справки по телефону: (0552) 552968, 326937