

ISBN 5-7763-8361-7

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ УКРАИНЫ

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ

УКРАИНСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ

АВТОМАТИКА

АВТОМАТИЗАЦИЯ

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ

КОМПЛЕКСЫ И

СИСТЕМЫ

№ 1(17) 2006

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

АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ.
ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

Издание Херсонского Национального технического университета

№ 1(17)

Х Е Р С О Н

2006

Основан в июле 1997 г.

Выходит два раза в год

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор: Тодорцев Ю.К.

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

ОРГАНИЗАЦИИ - ОСНОВАТЕЛИ ЖУРНАЛА

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

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

Свидетельство о регистрации КВ № 2997 от 10.12.1997 г.

© Херсонский государственный технический университет

Офсетная печать

Цена договорная

СОДЕРЖАНИЕ

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Астионенко И.А., Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н.</u> Моделирование физических полей с распределенными параметрами в многоугольных областях	5
<u>Марасанов В.В., Корень Е.В.</u> Применение законов Кирхгофа для расчета тепломассообменных процессов в электрических машинах.....	12
<u>Становский А.Л., Кухаренко С.В., Колчин Р.В.</u> Оценка адекватности аналитической модели управления запасами материальных ресурсов в многоуровневой логистической системе	20
<u>Завальнюк И.П., Бражник А.М., Завальнюк О.П.</u> Моделирование динамики выхода технологического аппарата из критического режима эксплуатации.....	26
<u>Русанов С., Луняка К., Карманов В.</u> Математичне моделювання процесу віброкипіння сипких середовищ	32

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

<u>Бражник Д.А.</u> Использование проективного преобразования для автоматизации обнаружения объектов.....	41
<u>Рожков С.О., Федотова О.М.</u> Алгоритм розпізнавання дефектів тканин для автоматичної системи контролю якості.....	47
<u>Полякова М.В., Крылов В.Н.</u> Мультифрактальный метод автоматизированного распознавания помех на изображении	60
<u>Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.</u> Модель измерителя емкости с линейной шкалой измерений	70
<u>Корниенко-Мифтахова И.К., Филоненко С.Ф.</u> Информационно-измерительная система для анализа характеристик динамического поведения конструкций	75
<u>Тищенко И.А., Лубяный В.З.</u> Управление коммутационными процессами в интегрированных сетях связи.....	84

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Сидорук М.В., Сидорук В.В.</u> Информационные системы управления корпорацией в решении задач разработки бюджета.....	90
<u>Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н.</u> Структура и принципы функционирования системы поддержки принятия решений при ликвидации лесных пожаров на базе новых геоинформационных технологий.....	99
<u>Петрушенко А.М., Хохлов В.А., Петрушенко І.А.</u> Про підключення до мови САА/Д деяких засобів паралельного програмування пакету MPICH.....	105

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

<u>Водічев В.А.</u> Порівняльний аналіз швидкодії алгоритмів керування у системі оптимізації технологічного процесу металообробки.....	114
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

<u>Кириллов О.Л., Якимчук Г.С.</u> Оптимальное управление технологическим процессом заполнения слабопроводящими заряжающимися жидкостями (СПЗЖ) замкнутых объемов.....	120
<u>Исаев Е.А., Чернецкая И.Е., Завальнюк О.П.</u> К вопросу принятия решений при оптимизации гранулирования рыбной муки в барабане	132
<u>Лебеденко Ю.А.</u> Исследование непосредственного преобразователя частоты с оптимальным управлением.....	138

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Бобриков С.А., Пичугин Е.Д.</u> Коррекция нелинейной характеристики типа «реле с зоной нечувствительности».....	145
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

<u>Ситников В.С., Брус А.А.</u> Анализ коэффициентов перестраиваемого цифрового фильтра нижних частот второго порядка	148
------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

<u>Ладанюк А.П., Кишенько В.Д., Ладанюк О.А.</u> Системна задача управління біотехнологічними процесами.....	154
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	-----

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

<u>Ковальов В.М., Білоха Д.О.</u> Облік енергії з урахуванням вищих гармонік.....	159
<u>Головащенко Н.В., Рудакова Г.В.</u> Енергосистема як об'єкт управління з фрактальною структурою.	164

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

<u>Купцова Е.Е., Деменский А.Н., Быря А.П.</u> Научно-технический прогресс и возобновляемые источники энергии.....	171
<u>Лошак Т.В., Ладанюк А.П.</u> Ефективність реінжинірингу бізнес-процесів харчових виробництв	175

<u>РЕФЕРАТЫ</u>	180
------------------------------	-----

<u>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</u>	184
-----------------------------------------	-----

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 517.57: 519.6

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ В МНОГОУГОЛЬНЫХ ОБЛАСТЯХ

Астионенко И.А., Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н.

Постановка проблемы

Полигональные дискретные элементы представляют интерес для расчета электростатических и стационарных температурных полей. Как правило, полигональная область разбивается на треугольные области, что приводит к увеличению объема вычислений [1]. В данной работе рассматривается дискретный элемент в форме правильного пятиугольника (пентагон). На пентагоне авторами построен унитарный базис лагранжевой интерполяции и исследуются свойства этого базиса.

Анализ последних исследований и публикаций

Как известно, существует два подхода к определению гармоничности функции: дифференциальный и интегральный. Дифференциальный критерий формулируется следующим образом: функция $U(x, y)$, имеющая непрерывные частные производные второго порядка в области G и удовлетворяющая внутри G уравнению Лапласа:

$$\frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U(x, y)}{\partial y^2} = 0, \quad (1)$$

называется гармонической функцией в области G [2].

Интегральные критерии были получены при решении задачи Дирихле для уравнения Лапласа в круге [3]:

дан круг радиуса R с центром в начале координат и на его окружности задана некоторая функция $f(\varphi)$, где φ - полярный угол. Требуется найти функцию $U(r, \varphi)$, непрерывную в круге, включая границу, удовлетворяющую внутри круга уравнению Лапласа

$$r^2 \frac{\partial^2 U}{\partial r^2} + r \frac{\partial U}{\partial r} + \frac{\partial^2 U}{\partial \varphi^2} = 0 \quad (2)$$

и на граничной окружности принимающую заданные значения:

$$U|_{r=R} = f(\varphi). \quad (3)$$

Решение уравнения Лапласа для круговой области в виде интеграла по границе круга (интеграла Пуассона)

$$U(r, \varphi) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} f(\alpha) \frac{R^2 - r^2}{R^2 - 2rR \cos(\varphi - \alpha) + r^2} d\alpha \quad (4)$$

было получено С. Пуассоном в начале XIX века [3].

В 1906 году Кёбе сформулировал и доказал обратную теорему:

если функция $U(x, y)$ непрерывна в области G и принимает в каждой точке $P(x, y)$ из G значение, равное среднему арифметическому значений на любой окружности C_r с центром в точке $P(x, y)$, целиком лежащей в G , то функция $U(x, y)$ гармонична в G :

$$U_0 = \frac{1}{2\pi r} \oint_{C_r} \bar{U}(x, y) dl, \quad (5)$$

где C_r - окружность радиуса r с центром в точке O ,

$\bar{U}(x, y)$ - функция, заданная на границе круга, dl - элемент дуги окружности.

Заметим, что если в формуле (4) взять $r = 0$, то ядро Пуассона обращается в единицу, и получается значение функции в центре круга в виде среднего значений функции $f(\varphi)$ на границе (формула 3). Если формула Кёбе позволяет вычислять среднее значение функции в центре, то формула Пуассона дает возможность восстанавливать гармоническую функцию во всех точках круга. Однако, для точек, которые расположены ближе к границе области, возникают большие погрешности за счет увеличения влияния ядра Пуассона, нарушается свойство среднего и не выполняется теорема максимума для гармонической функции [2;3].

Эти результаты в 1925 г. были обобщены И.И. Приваловым на двумерный случай (двойной интеграл для круга) и на трехмерный случай (поверхностный интеграл по сфере и интеграл по объему шара) [4]. Теорема И.И. Привалова для функции двух аргументов формулируется следующим образом [4]:

непрерывная функция $U(x, y)$ в области G является гармонической тогда и только тогда, когда во всякой точке $O(x, y) \in G$, начиная с достаточно малого радиуса r , выполняется свойство среднего, т.е.

$$U_0 = \frac{1}{\pi r^2} \iint_{D_r} U(x, y) dS, \quad (6)$$

где $U(x, y)$ - функция, заданная в круге радиуса r ,

D_r - круговая область радиуса r с центром в точке O ,

dS - элемент площади.

Таким образом, И.И. Приваловым был предложен интегральный критерий гармоничности, а также установлена эквивалентность интегрального и дифференциального критериев. Интегральное условие (6) имеет важное значение для классической теории потенциала, так как функция $U(x, y)$, удовлетворяющая условию (6), является решением уравнения Лапласа (1) в области G .

В работе [5] установлено вероятностное содержание формул Кёбе и Привалова, рассмотрен дискретный аналог интегрального критерия гармоничности и дано вероятностное определение гармонической функции в круге. Авторами в статье [5]

отмечено, что в формуле (5) отношение $\frac{1}{2\pi r}$ представляет собой плотность равномерного распределения (аналогично, в формуле (6) отношение $\frac{1}{\pi r^2}$). Таким образом, формулы (5)

и (6) представляют собой математическое ожидание функций, заданных соответственно на окружности и в круге. В терминах случайных блужданий $\frac{dl}{2\pi r}$ - это вероятность

перехода частицы из центра круга в элемент dl на границе. В формуле (6) отношение $\frac{dS}{\pi r^2}$ - это вероятность случайного попадания точки в элемент площади dS . При

дискретизации интегралы (5) и (6) аппроксимируются интегральной суммой, а математическое ожидание – выборочным средним (в симметричных схемах случайных блужданий это среднее арифметическое) [5;6]. Переход к интегральным суммам открывает возможности для применения метода статистического моделирования (типа Монте-Карло), позволяет применять одношаговую схему случайных блужданий с несколькими прямолинейными маршрутами, выходящими на границу элемента. Таким

образом, был получен дискретный аналог условия гармоничности функции для центра круга при равномерном распределении узлов на границе:

$$U_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U_i, \quad (7)$$

где n - число расчетных узлов на границе.

Далее формула (7) была обобщена на другие области с произвольным выбором точки старта. В схеме случайных блужданий наибольший интерес представляют полигональные области. Переходными вероятностями служат: в треугольнике – барицентрические координаты симплекса [5], в квадрате – базисные функции билинейной интерполяции [7], в правильном шестиугольнике – гексагональные базисные функции [8]. Условие гармоничности можно записать в виде:

$$U(x, y) = \sum_{i=1}^k N_i(x, y) \cdot U_i, \quad (8)$$

где U_i - известные значения в вершинах полигонального дискретного элемента,

$N_i(x, y)$ - базисные функции дискретного элемента.

Базисные функции $N_i(x, y)$ (весовые коэффициенты) удовлетворяют условию сохранения весового баланса в любой точке области и на ее границе:

$$\sum_{i=1}^n N_i(x, y) = 1. \quad (9)$$

Нерешенные ранее части общей проблемы и цели статьи

Представляет интерес построение базиса интерполяционного полинома (типа Лагранжа) для функции двух аргументов на пентагоне и проверка выполнения дифференциального и интегральных критериев гармоничности Кёбе и Привалова, вероятностная формулировка критерия гармоничности в дискретном элементе в форме правильного пятиугольника.

Основная часть

В работе рассмотрен дискретный элемент в форме правильного пятиугольника, вписанный в окружность единичного радиуса (рис.1). На данном элементе построено три системы базисных функций. Первый базис (5ПБ_1) построен с помощью алгебраического подхода на основании интерполяционной гипотезы Лагранжа:

$$N_i(x_k, y_k) = \delta_{ik}, \quad (10)$$

где δ_{ik} - символ Кронекера [9].

Для построения базисной функции N_1 составлялась и решалась система линейных алгебраических уравнений. Авторам удалось построить базисные функции в виде полиномов.

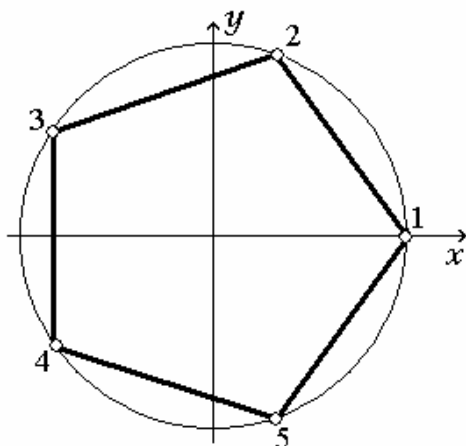


Рис. 1 Дискретный элемент
в форме правильного пятиугольника

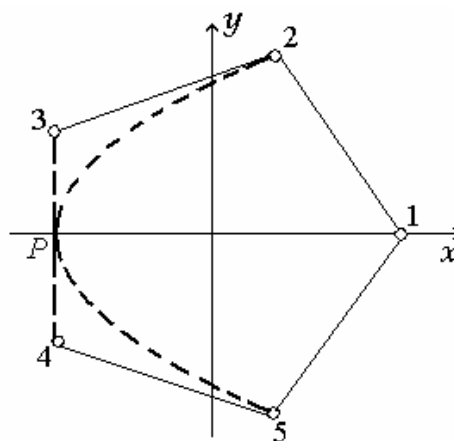


Рис. 2 Композиция линий при
построении базисной функции N_1 в 5ПБ_2

Например, функция, ассоциируемая с узлом 1 в 5ПБ_1 (рис.1) имеет вид:

$$N_1 = 0,2 + 0,4x + 0,4x^2 - 0,4y^2. \quad (11)$$

Второй базис (5ПБ_2) построен с помощью геометрического подхода. Для построения базисной функции N_1 использована композиция прямой (3-4) и параболы, проходящей через 2-Р-5 (рис. 2), где $P(-0,809 ; 0)$:

$$N_1 = 0,2(0,8090169 + x)(1,2360679 + 1,5278641x - 1,8885438y^2). \quad (12)$$

При построении дробно-рационального базиса (5ДРБ) применялся подход, использованный в [1] при построении базиса гексагона. Базисная функция N_1 записывается в виде:

$$N_1 = \frac{0,23416 + 0,46833x + 0,25527x^2 + 0,04223x^3 - 0,32361y^2 - 0,4xy^2}{1,17082 - 0,17082x^2 - 0,17082y^2}. \quad (13)$$

Остальные функции во всех трех базисах были получены поворотом на угол 72° .

Предложенные системы функций формы на правильном пятиугольнике были подвергнуты тестированию на гармоничность.

Дифференциальный критерий гармоничности по Лапласу сводится к проверке равенства:

$$\frac{\partial^2 N_i}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_i}{\partial y^2} = 0. \quad (14)$$

Каждая базисная функция 5ПБ_1 удовлетворяет дифференциальному критерию гармоничности. Функции 5ПБ_2 и 5ДРБ не являются гармоническими в смысле критерия Лапласа. Для 5ПБ_2 получены следующие невязки:

$$\frac{\partial^2 N_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_1}{\partial y^2} = -0,7554175284x, \quad (15)$$

$$\frac{\partial^2 N_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_2}{\partial y^2} = -0,2334368532x - 0,7184447618y, \quad (16)$$

$$\frac{\partial^2 N_3}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_3}{\partial y^2} = 0,6111456174x - 0,4440232818y, \quad (17)$$

$$\frac{\partial^2 N_4}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_4}{\partial y^2} = 0,6111456174x + 0,4440232818y, \quad (18)$$

$$\frac{\partial^2 N_5}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N_5}{\partial y^2} = -0,2334368532x + 0,7184447618y. \quad (19)$$

Сумма невязок (15-19) обращается в ноль, что свидетельствует об их взаимной нейтрализации при ансамблировании пяти функций одного базиса. Аналогичная ситуация возникает в дробно-рациональном базисе на пентагоне.

Критерий Кёбе для дискретного элемента в форме правильного n -угольника имеет вид:

$$N_i(0;0) = \frac{1}{L} \oint N_i(x, y) dl, \quad (20)$$

где L - периметр дискретного элемента,

$N_i(0;0)$ - значение базисной функции в барицентре элемента.

Интегральный критерий Привалова записывается в виде:

$$N_i(0;0) = \frac{1}{S} \iint_D N_i(x, y) dS, \quad (21)$$

где S - площадь дискретного элемента,

$N_i(0;0)$ - значение базисной функции в барицентре элемента.

Проведенные вычисления по формулам (20) и (21) свидетельствуют, что базисные функции всех трех базисов на пентагоне удовлетворяют интегральным критериям гармоничности Кёбе и Привалова (табл. 1):

Табл. 1

	5ПБ_1	5ПБ_2	5ДРБ
Критерий Кёбе	0,2	0,2	0,2
Критерий Привалова	0,2	0,2	0,2

Обратим внимание на вероятностный смысл базисных функций дискретного элемента в форме пятиугольника. Сформулируем правила случайных блужданий в пятиугольнике:

пусть частица стартует из произвольной точки $M(x, y)$ и с вероятностью N_i переходит в узел i , при этом

$$\sum_{i=1}^5 N_i(x, y) = 1. \quad (22)$$

В данной схеме ускоренных блужданий базисные функции N_i играют роль переходных вероятностей.

Для проверки гипотезы о возможности замены апостериорных переходных вероятностей априорными была выполнена серия компьютерных экспериментов с блужданиями частицы в пентагоне. С одной стороны, переходная вероятность вычислялась как значение базисной функции в точке старта (априорная вероятность) (рис. 3). С другой стороны, переходная вероятность вычислялась как относительная частота поглощения частиц в узле i . Во втором случае пентагон покрывался ортогональной сеткой для маршрутизации многошаговых зигзагообразных случайных блужданий (рис.4). Длина одной серии - 100000 частиц, количество серий - 10.

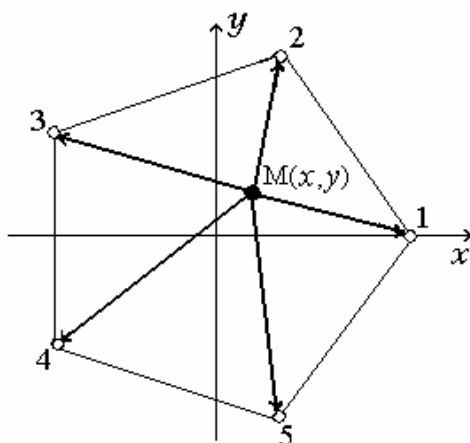


Рис. 3 Одношаговая 5-ти маршрутная схема случайных блужданий

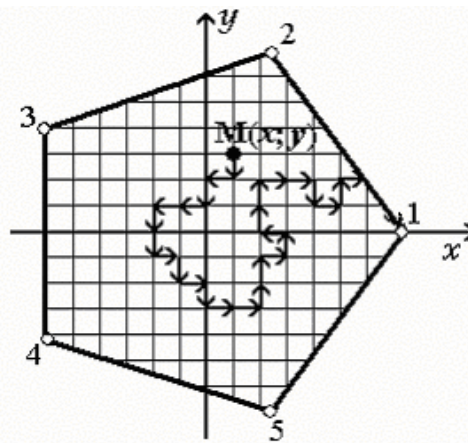


Рис. 4 Маршрутизация случайных блужданий по узлам сетки

Расчеты подтверждают гипотезу о возможности замены апостериорных переходных вероятностей априорными (табл. 2). Наилучшее совпадение теоретических переходных вероятностей с экспериментальными получено для 5ДРБ и 5ПБ_1. Максимальное значение относительной погрешности для 5ПБ_1 составляет 0,67%, для 5ДРБ - 0,72%.

Табл. 2

Расчет переходных вероятностей в пентагоне

№ узла	Расчетная точка	Априорные вероятности			Апостериорные вероятности
		5ПБ_1	5ПБ_2	5ДРБ	
1	M2 (0,154; 0,475)	0,18109	0,20158	0,20016	0,18896
2		0,49999	0,52361	0,47639	0,49083
3		0,18071	0,20121	0,19984	0,19404
4		0,06914	0,03679	0,06178	0,06341
5		0,06905	0,03682	0,06182	0,06276

Анализ полученных результатов позволяет сформулировать вероятностный критерий гармоничности базисной функции на пентагоне:

функция называется гармонической на дискретном элементе, если математическое ожидание этой функции по элементу или его границе совпадает со значением функции в барицентре элемента.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Для правильного пятиугольника построены полиномиальные и дробно-рациональные системы базисных функций, позволяющие восстанавливать гармонические функции на пентагоне. Впервые сформулирован и обоснован вероятностный критерий гармоничности базисной функции на пентагоне.

Полученные результаты можно обобщить на задачи конструирования базисных функций призматических элементов с пятиугольным сечением и на другие правильные n -угольники.

The existing of alternative bases is shown on the discrete element in the form of rectilinear pentagon: two systems of polynomial functions are built with the help of algebraic and geometric methods and fractionally-rational base is built as well. The examination of base functions as to harmonicity according to differential criterion and integral criteria is held,

probable formulation of criterion of harmonicity on pentagon is given. The results of the research are of interest in the sums of boundary potentials theory.

1. Ishiguro M. Construction of Hexagonal Basis Functions Applied in the Galerkin-Type Finite Element Method: "J.Inf. Process", 1984, v.7, № 2, p. 88-95.
2. Демидович Б.П., Марон И.А., Шувалова Э.З. Численные методы анализа. – М.: Наука, 1967.- 368 с.
3. Фарлоу С. Уравнения с частными производными для научных работников и инженеров. – М.: Мир, 1985. – 384 с.
4. Привалов И.И. Математический сборник. Т.32, 1925. С. 464-471.
5. Хомченко А.Н., Валько Н.В. Дискретные аналоги интегрального условия гармоничности функции. //Вестник Херсон.гос.техн.ун-та.- № 19. – Херсон: ХГТУ.-2004. – С. 17-19.
6. Хомченко А.Н., Валько Н.В. Гармонические функции и геометрическая вероятность //Вестник Херсон.нац.техн.ун-та.- № 22. – Херсон: ХГТУ.-2005. – С. 335-339.
7. Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Буба М.С., Хомченко А.Н. Моделирование конечных элементов сирендипова семейства для исследования температурных полей //Проблеми пожежної безпеки. - К.: МВС України. – 1995. – С. 75-77.
8. Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н. Геометрическое моделирование полиномиальных базисов шестиугольного элемента //Сб. тр. III Межд. конф. "Совр. пробл. геом. моделир." - Мелитополь: ТГАТА, 1996. - С. 43.
9. Стренг Г., Фикс Дж. Теория метода конечных элементов.- М.: Мир.- 1977.- 349 с.

ПРИМЕНЕНИЕ ЗАКОНОВ КИРХГОФА ДЛЯ РАСЧЕТА
ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
МАШИНАХ

Марасанов В.В., Корень Е.В.

Электромеханическое преобразование энергии в электрических машинах сопровождается преобразованием электрической или механической энергии в тепло. Какова же часть энергии теряется бесполезно, и каким образом можно снизить эти потери? Для ответа на поставленные вопросы сначала выясним, какие возникают потери энергии при работе электрических машин, а затем приведем пример теплового расчета, основанного на методе тепловых схем замещения. Данный метод использует понятия тепловых сопротивлений, рассчитываемых по правилам для электрических цепей (законам Кирхгофа). Он получил широкое распространение при проектировании электрических машин, в результате его использования определяются средние превышения температуры отдельных элементов. Мощность потерянной энергии называют потерями мощности или просто потерями. Потери в электрических машинах подразделяются на основные и добавочные [1]. Основные потери возникают в результате происходящих в машине основных электромагнитных и механических процессов, а добавочные потери обусловлены различными вторичными явлениями. Во вращающихся электрических машинах основные потери подразделяются на:

- 1) механические потери,
- 2) магнитные потери, или потери в стали,
- 3) электрические потери.

Механические потери состоят из: 1) потерь в подшипниках, 2) потерь на трение щеток о коллектор или контактные кольца и 3) вентиляционных потерь, которые включают в себя потери на трение частей машины о воздух и другие потери, связанные с вентиляцией машины (мощность кинетической энергии отходящего воздуха и потери в вентиляторе). В ряде случаев электрические машины охлаждаются не воздухом, а водородом или водой, и соответствующие потери также относят к вентиляционным. Потери в подшипниках зависят от типа подшипников (качения или скольжения), от состояния трущихся поверхностей, вида смазки и т.д. Потери на вентиляцию зависят от конструкции машины и рода вентиляции. В каждой данной машине механические потери определяются суммой трех видов потерь и зависят только от скорости вращения и не зависят от нагрузки [1].

Магнитные потери включают в себя потери на гистерезис и вихревые токи, вызванные перемагничиванием сердечников активной стали.

Электрические потери возникают в обмотках. Они определяются их сопротивлениями, зависящими от температуры.

Для увеличения коэффициента полезного действия эксплуатируемых электрических машин необходимо знать максимально допустимые средние превышения температуры их элементов. Применение метода эквивалентных тепловых схем замещения в методике теплового расчета позволяет нам это сделать.

В тепловом расчете электрической машины ставится задача определить превышение температуры различных частей машины над температурой охлаждающей среды. Превышение температуры частей электрической машины над температурой охлаждающей среды определяется выражением

$$\Delta\theta = \theta - \theta_{ox}, \quad (1)$$

где θ - температура рассматриваемой части электрической машины;

θ_{ox} - температура охлаждающей среды.

В общем случае передача тепла идет тремя путями: теплопроводностью, конвекцией и излучением.

Основными источниками выделения тепла в электрической машине являются обмотки, стальные части магнитной цепи и конструктивных элементов, в которых возникают потери от перемагничивания. Необходим также учет нагрева скользящего контакта. Механические потери, включая вентиляционные, обычно имеют меньшее значение.

На пути движения тепловых потоков от источника тепла происходит перепад температуры в активных частях машины, толще изоляции и между охлаждающими поверхностями и охлаждающей средой. В тепловом расчете определяются эти внутренние перепады и превышения температуры внешней поверхности охлаждаемых частей электрической машины над температурой охлаждающего воздуха. При непосредственном соприкосновении материала обмоток с охлаждающей средой, т.е. при непосредственном охлаждении проводников обмотки, определяется превышение температуры металла обмотки над температурой охлаждающего газа или жидкости.

Перепадом температуры в толще металла обмотки и магнитопровода часто пренебрегают, так как теплопроводность металлов в сотни раз больше теплопроводности изоляции.

В практических расчетах ограничиваются определением среднего превышения температуры обмоток, т.е. допускают, что температура обмоток в стали пакетов статора (ротора) в рассматриваемых объемах постоянна.

Отвод тепла с поверхности нагретого тела происходит путем излучения в окружающее пространство (лучеиспусканием), передачи тепла путем теплопроводности, передачи его путем конвекции.

В чистом виде теплопередача путем излучения может иметь место, если нагретая поверхность находится в вакууме. Теплопередача путем теплопроводности воздуха (или другого газа) настолько мала, что ее практически невозможно учесть.

Конвективная теплопередача обусловлена нагревом воздуха, соприкасающегося с нагретой поверхностью электрической машины и вследствие этого совершающего восходящее движение. Его место занимает более холодный воздух, который, в свою очередь, нагревается и движется вверх. Конвективную теплопередачу сильно повышает принудительное увеличение скорости движения воздуха (искусственный обдув нагретой поверхности). В практических расчетах нагрева электрических машин обычно применяют упрощенные формулы, определяющие перепад температуры между нагретой поверхностью и охлаждающим газом, которые учитывают все виды теплоотдачи с поверхности, имеющие место при охлаждении электрических машин.

Для применения законов Кирхгофа установим соответствие между электрическими параметрами цепи и теплотехническими параметрами схем замещения электрических машин (таблица 1).

Таблица 1

Таблица соответствия электрических и тепловых величин в уравнениях Кирхгофа

Величины, соответствующие электрическим схемам	Величины, соответствующие тепловым схемам
Сила тока I , А	Тепловой поток Q , Вт
Сопротивление R , Ом	Сопротивление R , °C / Вт
Напряжение U , В	Разность средних температур 1-й и 2-й частей машины $\theta_1 - \theta_2$, °C

Применяя метод тепловых схем замещения, можно использовать как понятия тепловых сопротивлений, так и тепловых проводимостей, рассчитываемых по правилам для электрических цепей. Как уже было отмечено, применение тепловых схем замещения дает возможность определять средние температуры частей электрической машины, принимаемых за однородные тела.

Второй закон Кирхгофа для электрических цепей определяется выражением

$$\sum I_k R_k = \sum \varepsilon_k, \quad (2)$$

где I_k – силы токов в ветвях цепи, А;

R_k – сопротивления ветвей цепи, Ом;

ε_k – электродвижущие силы источников тока, В.

Для каждой части тепловой схемы справедливо основное уравнение

$$\theta_1 - \theta_2 = Q_{12} R_{12}, \quad (3)$$

где Q_{12} – тепловой поток между точками 1 и 2 схемы, представляющими 1-ю и 2-ю части машины, Вт;

θ_1, θ_2 – средние температуры этих частей, °С;

R_{12} – тепловое сопротивление между точками 1 и 2 схемы, °С / Вт [3].

Естественно, что чем большее число эквивалентных элементов может быть предложено для замены отдельных частей электрической машины, тем точнее окажется расчет. Однако усложнение тепловой схемы, а следовательно, и расчета должно сочетаться с достижимой точностью расчета при имеющейся неопределенности исходных данных.

На примере статора машины переменного тока рассмотрим построение тепловой схемы замещения [3]. Разбиваем статор на три условно однородные в тепловом отношении тела, являющиеся источниками тепла: пазовая часть обмотки статора с потерями P_n , две стороны лобовых частей с суммарными потерями P_l и стальной сердечник статора с потерями P_c .

Каждая часть создает тепловые потоки. Считая в общем случае, что условия охлаждения рассматриваемых частей машины различны, принимаем четыре пути рассеяния тепла (рис.1, а): $Q_{из}$ – тепловой поток к стенкам зубцов сердечника с перепадом температуры в тепловом сопротивлении пазовой изоляции $R_{из}$; Q_k – тепловой поток к охлаждающему воздуху в радиальных вентиляционных каналах через тепловое сопротивление R_k ; Q'_{np} и Q''_{np} – тепловые потоки от пазовой части обмотки с перепадом температуры в тепловых сопротивлениях R'_{np} вдоль проводников обмотки. Лобовые части обмотки рассеивают со своих поверхностей тепловые потоки Q'_l и Q''_l с перепадом температуры в тепловых сопротивлениях R'_l . Поверхности сердечника статора рассеивают тепловые потоки Q'_c и Q''_c с боковых сторон пакетов с перепадом температуры в тепловых сопротивлениях R'_c и поток $Q_{c,p}$ в радиальном направлении с наружной поверхности ярама статора и внутренней поверхности статора при общем тепловом сопротивлении $R_{c,p}$.

В случае одинаковой температуры охлаждающего воздуха у теплорассеивающих поверхностей тепловой расчет можно вести по схеме замещения, приведенной на рис.1, б. В этом случае тепловые сопротивления R_{np} , R_l представляют собой параллельно соединенные сопротивления R'_{np} и соответственно R'_l :

$$R_{np} = R'_{np} / 2; \quad R_l = R'_l / 2, \quad (4)$$

а сопротивление R_c – параллельно соединенные сопротивления R'_c и $R_{c,p}$:

$$R_c = \frac{1}{1/R_{c,n} + 1/R_{c,p}}, \quad (5)$$

где $R_{c,n} = R'/2_c$.

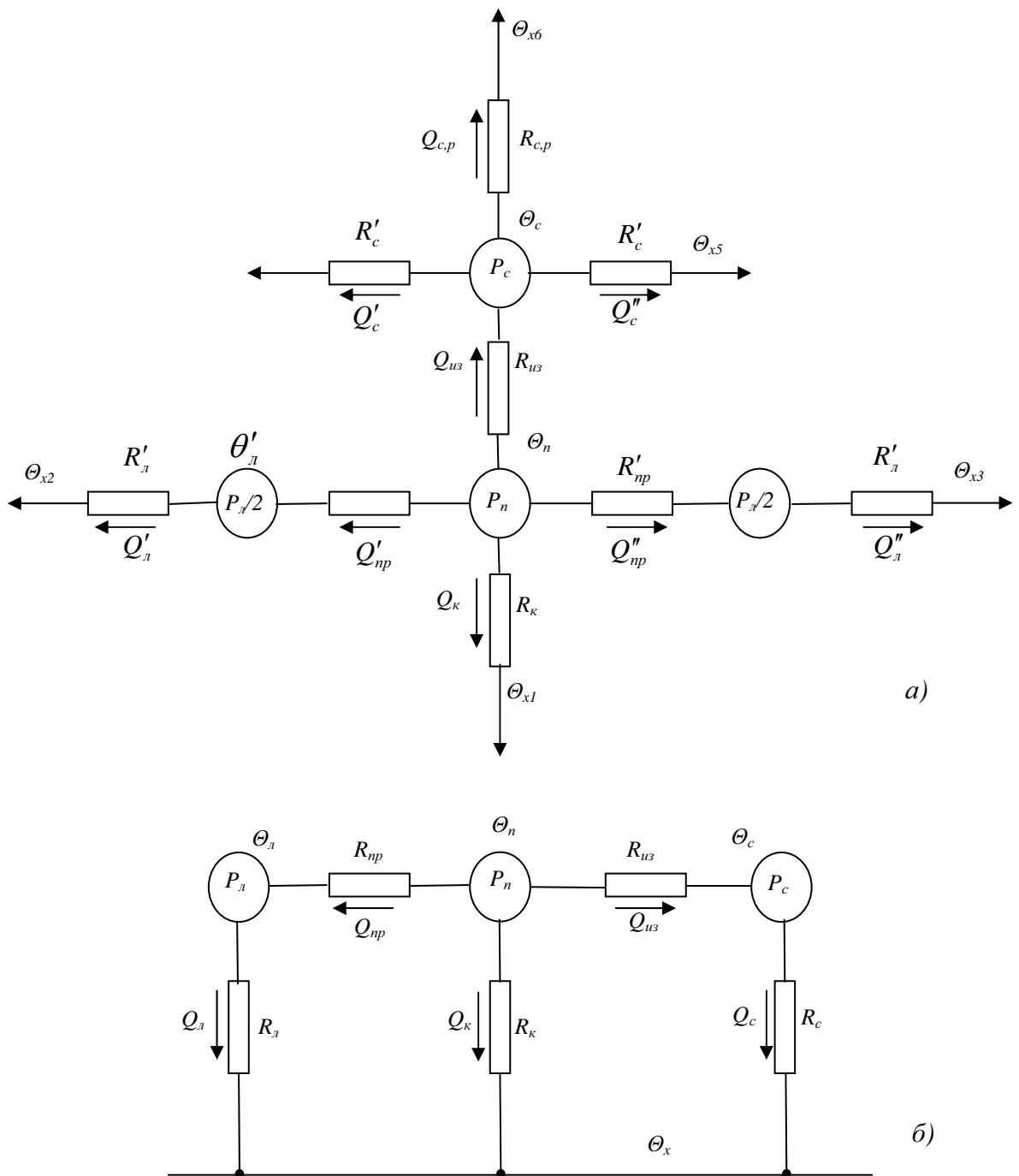


Рис.1. Тепловая схема замещения статора машины переменного тока.
 а – при различных температурах воздуха у теплорассеивающих поверхностей; б – при одинаковой температуре охлаждающего воздуха.

В схеме на рис.1, б имеется восемь неизвестных: θ_n , θ_l , θ_c – средние температуры пазовой части обмотки, лобовых частей и сердечника статора; Q_{uz} , Q_{np} , Q_k , Q_l и Q_c – тепловые потоки, упомянутые выше. Для определения этих неизвестных составим в соответствии с рис.1, б систему уравнений:

$$\begin{aligned}
 P_n + P_l + P_c &= Q_l + Q_k + Q_c; \\
 Q_l &= P_l + Q_{np}; \\
 Q_c &= Q_{uz} + P_c; \\
 \theta_n - \theta_x &= Q_k R_k; \\
 \theta_l - \theta_x &= Q_l R_l; \\
 \theta_c - \theta_x &= Q_c R_c; \\
 \theta_n - \theta_l &= Q_{np} R_{np}; \\
 \theta_n - \theta_c &= Q_{uz} R_{uz}.
 \end{aligned} \tag{6}$$

В результате совместного решения этих уравнений находим средние температуры отдельных частей статора, равные превышениям температур, если $\theta_x = 0$.

Нами была разработана методика теплового расчета для закрытых асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором типа беличьей клетки без циркуляции внутреннего воздуха.

Предлагаемая методика позволяет проводить качественную оценку нагрева двигателей с выше указанными конструктивными особенностями. Для более точного отражения физической сути тепловых процессов в асинхронном двигателе в методике предусмотрен расчет нагрева элементов двигателей, для которых с достаточной точностью могут быть заданы исходные данные и определены зависимости для расчета коэффициентов теплоотдачи. При этом были приняты следующие допущения:

- 1) в поперечном сечении двигателей отсутствует перетекание тепла, что позволяет решать плоскую задачу в продольном сечении;
- 2) в поперечном сечении обмотки температуры отдельных проводников равны средней температуре в рассматриваемом сечении;
- 3) коэффициенты теплопроводности электротехнических материалов и воздуха считаем постоянными для рабочих температур частей двигателя;
- 4) тепловыми потоками через клинья пазов статора и вал пренебрегаем.

Тепловая эквивалентная схема замещения электродвигателей с короткозамкнутым ротором приведена на рис.2.

При тепловом расчете электродвигателей учитываются все греющие потери, генерируемые в двигателе. Для выбранной тепловой схемы замещения потери в обмотках статора и ротора распределены пропорционально длинам участков лобовых и пазовых частей. Короткозамкнутый ротор представлен в виде одного тела, в источник потерь включены потери в обмотке ротора и добавочные потери в роторе. Принято, что источники (греющие потери) сосредоточены в середине рассматриваемых элементов.

По тепловой схеме замещения была составлена система уравнений для расчета превышения температуры короткозамкнутых двигателей без циркуляции внутреннего воздуха. Поскольку для подобного расчета можно использовать как тепловые сопротивления, так и тепловые проводимости, то мы при составлении схемы и системы уравнений по ней имели дело с последними (Λ - тепловые проводимости, θ - превышения температуры элементов машин, P - потери мощности).

Система уравнений для расчета превышения температуры короткозамкнутых двигателей без циркуляции внутреннего воздуха имеет вид:

$$\begin{aligned}
 \theta_{Cu1p}(\Lambda_{1pl1} + \Lambda_{1pl2} + \Lambda_{Cu1j} + \Lambda_{1pz}) - \theta_{Cu1l1}\Lambda_{1pl1} - \theta_{Cu1l2}\Lambda_{1pl2} - \theta_{k1j}\Lambda_{Cu1j} - \theta_{k1z}\Lambda_{1pz} &= P_{Cu1p}; \\
 \theta_{Cu1l1}(\Lambda_{1pl1} + \Lambda_{l11}) - \theta_{Cu1p}\Lambda_{1pl1} - \theta_{vw1}\Lambda_{l11} &= P_{Cu1l1}; \\
 \theta_{Cu1l2}(\Lambda_{1pl2} + \Lambda_{l12}) - \theta_{Cu1p}\Lambda_{1pl2} - \theta_{vw3}\Lambda_{l12} &= P_{Cu1l2}; \\
 \theta_{k1j}(\Lambda_{Cu1j} + \Lambda_{js} + \Lambda_{1zj}) - \theta_{Cu1p}\Lambda_{Cu1j} - \theta_{s2}\Lambda_{js} - \theta_{k1z}\Lambda_{1zj} &= P_{j1}; \\
 \theta_{k1z}(\Lambda_{1pz} + \Lambda_{l12} + \Lambda_{1zj}) - \theta_{Cu1p}\Lambda_{1pz} - \theta_2\Lambda_{l12} - \theta_{k1j}\Lambda_{1zj} &= P_{z1};
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \theta_2(\Lambda_{l12} + \Lambda_{l21} + \Lambda_{l22}) - \theta_{k1z}\Lambda_{l12} - \theta_{vw1}\Lambda_{l21} - \theta_{vw3}\Lambda_{l22} = P_{\Sigma 2}; \\
 & \theta_{vw1}(\Lambda_{l11} + \Lambda_{l21} + \Lambda_{vs1} + \Lambda_{ww1}) - \theta_{Cu1l1}\Lambda_{l11} - \theta_2\Lambda_{l21} - \theta_{s1}\Lambda_{vs1} - \theta_{w1}\Lambda_{ww1} = P_{mw1}; \\
 & \theta_{vw3}(\Lambda_{l12} + \Lambda_{l22} + \Lambda_{vs3} + \Lambda_{ww2}) - \theta_{Cu1l2}\Lambda_{l12} - \theta_2\Lambda_{l22} - \theta_{s3}\Lambda_{vs3} - \theta_{w2}\Lambda_{ww2} = P_{mw2}; \\
 & \theta_{w1}(\Lambda_{ww1} + \Lambda_{wn1} + \Lambda_{ws1}) - \theta_{vw1}\Lambda_{ww1} - \theta_{vn0}\Lambda_{wn1} - \theta_{s1}\Lambda_{ws1} = P_{t1}; \\
 & \theta_{w2}(\Lambda_{ww2} + \Lambda_{wn2} + \Lambda_{ws3}) - \theta_{vw3}\Lambda_{ww2} - \theta_{s3}\Lambda_{ws3} = P_{t2}; \\
 & \theta_{s1}(\Lambda_{vs1} + \Lambda_{s12} + \Lambda_{sn1} + \Lambda_{ws1}) - \theta_{vw1}\Lambda_{vs1} - \theta_{s2}\Lambda_{s12} - \theta_{vn1}\Lambda_{sn1} - \theta_{w1}\Lambda_{ws1} = 0; \\
 & \theta_{s2}(\Lambda_{js} + \Lambda_{s12} + \Lambda_{s23} + \Lambda_{sn2}) - \theta_{k1j}\Lambda_{js} - \theta_{s1}\Lambda_{s12} - \theta_{s3}\Lambda_{s23} - \theta_{vn2}\Lambda_{sn2} = 0; \\
 & \theta_{s3}(\Lambda_{vs3} + \Lambda_{s23} + \Lambda_{sn3} + \Lambda_{ws3}) - \theta_{vw3}\Lambda_{vs3} - \theta_{s2}\Lambda_{s23} - \theta_{vn3}\Lambda_{sn3} - \theta_{w2}\Lambda_{ws3} = 0; \\
 & \theta_{vn0} = (\theta_{w1} - \theta_{vn0}) \cdot \frac{\Lambda_{wn1}}{2\Lambda_{n1}} + \frac{P_{mn}}{\Lambda_{n1}}; \\
 & \theta_{vn1} = \theta_{vn0} + (\theta_{w1} - \theta_{vn0}) \cdot \frac{\Lambda_{wn1}}{2\Lambda_{n1}} + (\theta_{s1} - \theta_{vn1}) \cdot \frac{\Lambda_{sn1}}{2\Lambda_{n1}}; \\
 & \theta_{vn2} = \theta_{vn1} + (\theta_{s1} - \theta_{vn1}) \cdot \frac{\Lambda_{sn1}}{2\Lambda_{n1}} + (\theta_{s2} - \theta_{vn2}) \cdot \frac{\Lambda_{sn2}}{2\Lambda_{n2}}; \\
 & \theta_{vn3} = \theta_{vn2} + (\theta_{s2} - \theta_{vn2}) \cdot \frac{\Lambda_{sn2}}{2\Lambda_{n2}} + (\theta_{s3} - \theta_{vn3}) \cdot \frac{\Lambda_{sn3}}{2\Lambda_{n3}},
 \end{aligned} \tag{7}$$

где θ_{Cu1p} , θ_{Cu1l1} , θ_{Cu1l2} , θ_{k1j} , θ_{k1z} , θ_{vw1} , θ_{vw3} , θ_{s2} , θ_2 , θ_{s1} , θ_{w1} , θ_{s3} , θ_{w2} , θ_{vn0} , θ_{vn1} , θ_{vn2} , θ_{vn3} - превышение температуры соответственно в пазовой части обмотки статора; в лобовой части обмотки статора со стороны наружного вентилятора; в лобовой части обмотки статора со стороны привода; в сердечнике статора; в зубцах статора; внутреннего воздуха со стороны наружного вентилятора; внутреннего воздуха со стороны привода; участка станины, расположенного над пакетом статора, ротора; концевых участков станины со стороны наружного вентилятора; щита, расположенного со стороны наружного вентилятора; концевых участков станины со стороны привода; щита, расположенного со стороны привода; наружного охлаждающего воздуха для двигателей габарита 56-350 за исключением двигателей с форсированным охлаждением ротора у подшипникового щита со стороны наружного вентилятора; наружного охлаждающего воздуха для двигателей габарита 56-350 за исключением двигателей с форсированным охлаждением ротора в концевой части станины со стороны наружного вентилятора; наружного охлаждающего воздуха для двигателей габарита 56-350 за исключением двигателей с форсированным охлаждением ротора над пакетом статора; наружного охлаждающего воздуха для двигателей габарита 56-350 за исключением двигателей с форсированным охлаждением ротора в концевой части станины со стороны привода;

Λ_{1pl1} , Λ_{1pl2} , Λ_{Cu1j} , Λ_{1pz} , Λ_{l11} , Λ_{l12} , Λ_{js} , Λ_{1zj} , Λ_{l2} , Λ_{l21} , Λ_{l21} , Λ_{l22} , Λ_{vs1} , Λ_{ww1} , Λ_{vs3} , Λ_{ww2} , Λ_{wn1} , Λ_{ws1} , Λ_{wn2} , Λ_{ws3} , Λ_{s12} , Λ_{sn1} , Λ_{s23} , Λ_{sn2} , Λ_{sn3} , Λ_{n1} , Λ_{n2} , Λ_{n3} - проводимость соответственно между пазовой и лобовой частями обмотки статора со стороны наружного вентилятора; между пазовой и лобовой частями обмотки статора со стороны привода; между обмоткой и спинкой статора; между обмоткой и зубцами статора; от лобовых частей обмотки к внутреннему воздуху для двигателей габарита 56-355 без циркуляции внутреннего воздуха со стороны наружного вентилятора; для двигателей с гофрированной станиной – со стороны внутреннего; от лобовых частей обмотки статора к внутреннему воздуху для двигателей габарита 56-355 без циркуляции внутреннего воздуха со стороны привода; для двигателей с гофрированной станиной – со стороны, противоположной внутреннему вентилятору; спинки пакета статора к станине; между зубцами и спинкой статора; между ротором и зубцами статора; от лобовых частей обмотки ротора к внутреннему воздуху со стороны наружного вентилятора; от лобовых частей обмотки

ротора к внутреннему воздуху со стороны привода; от внутреннего воздуха к концевой части станины со стороны наружного вентилятора, для двигателей с гофрированной станиной – со стороны внутреннего; от внутреннего воздуха к подшипниковым щитам со стороны наружного вентилятора; от внутреннего воздуха к концевой части станины со стороны привода, для двигателей с гофрированной станиной – со стороны, противоположной внутреннему вентилятору; от внутреннего воздуха к подшипниковым щитам со стороны привода; от подшипникового щита к наружному воздуху со стороны наружного вентилятора; соединения «щит-станина» со стороны наружного вентилятора; от подшипникового щита к наружному воздуху со стороны привода; соединения «щит-станина» со стороны привода; между элементами станины; от станины к наружному воздуху на концевом участке со стороны наружного вентилятора; между элементами станины; от станины к наружному воздуху над пакетом статора; от станины к наружному воздуху на концевом участке со стороны привода; между элементами наружного воздуха, обдувающего станину с форсированным охлаждением ротора; между элементами наружного воздуха, обдувающего станину с форсированным охлаждением ротора; между элементами наружного воздуха, обдувающего станину с форсированным охлаждением ротора;

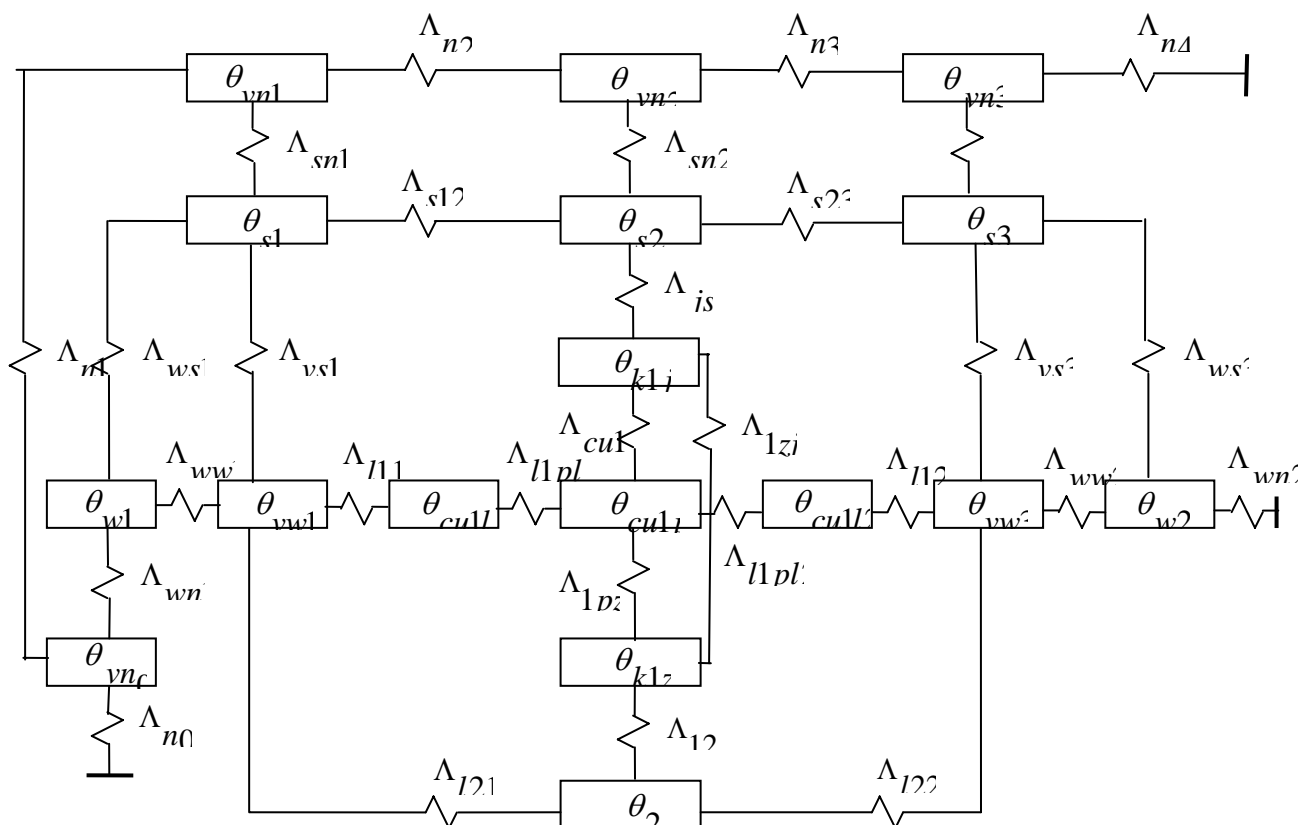


Рис. 2 Тепловая схема электродвигателя с короткозамкнутым ротором.

P_{Cu1p} , P_{Cu1l1} , P_{Cu1l2} , P_{j1} , P_{z1} , $P_{\Sigma 2}$, P_{mw1} , P_{mw2} , P_{t1} , P_{t2} - потери соответственно в пазовой части обмотки статора; в лобовых частях обмотки статора со стороны наружного вентилятора, для двигателей с гофрированной станиной – со стороны внутреннего; в лобовых частях обмотки статора со стороны привода, для двигателей с гофрированной

станиной – со стороны, противоположной внутреннему вентилятору; в спинке статора; в зубцах статора; в короткозамкнутом роторе; внутренние механические потери со стороны внутреннего вентилятора (или щеточного узла); внутренние механические потери со стороны, противоположной внутреннему вентилятору (или щеточному узлу); на трение в подшипниках со стороны наружного вентилятора; на трение в подшипниках со стороны привода.

Полученную систему уравнений можно решить с помощью компьютерных программ, например программы «Математика 5.0».

На основе изложенного можем сделать выводы:

- 1) применение законов Кирхгофа в тепловых расчетах электрических машин, основанных на методе тепловых схем замещения, позволяет определить средние превышения температуры элементов данных машин;
- 2) максимальные превышения температуры в обмотках асинхронных двигателей определяются путем решения уравнения теплопроводности с использованием результатов решения эквивалентных тепловых схем замещения;
- 3) результаты теплового расчета позволят использовать электрические машины в различных отраслях производства при различных режимах работы.

The possibility of present the electrical machine as a plan of warm replace was presented. Also law of Kirxgof can be use for calculate of warm floods. Two variants of determinate were discribed: with warm resistors and with warm conductions.

1. Вольдек А.И. Электрические машины. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Л.: Энергия, 1974. – 840с.
2. Гурин Я.С., Кузнецов Б.И. Проектирование серий электрических машин. – М.: Энергия, 1978. – 480с.
3. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/И.П. Копылов, Ф. А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. – М.: Энергия, 1980. – 496с.

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ АНАЛИТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В МНОГОУРОВНЕВОЙ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ

Становский А.Л., Кухаренко С.В., Колчин Р.В.

Введение

Одной из важнейших задач, возникающих в процессе проектирования АСУ запасами материальных ресурсов (МР) является разработка ее математического обеспечения. Данные, обеспечивающие подсистему АСУ, реализуется, как правило, в виде комплекса моделей управления запасами МР. Пример такой математической (аналитической) модели управления запасами МР в двухуровневой логистической системе (ЛС), был рассмотрен в [9]. В тоже время, необходимым условием применимости аналитической модели управления запасами МР является требование адекватности получаемых с ее помощью теоретических результатов данных практического опыта.

Анализ предшествующих публикаций

Известно, что адекватность предполагает воспроизведение моделью, с необходимой полнотой, всех свойств объекта, существенных для целей данного исследования. Так как всякая модель представляет собой упрощенное описание объекта моделирования, никогда нельзя говорить об абсолютной адекватности, при которой модель по всем параметрам соответствует оригиналу. Следовательно, оценка степени сходства может опираться только на оценку отличия модели от оригинала. Оценивание отличия наталкивается, естественным образом, на большие трудности, так как обычно невозможно использовать для сравнения объект во всей его действительной целостности [1].

Однако, зная структуру ЛС и ее параметры, некоторые характеристики внешней, по отношению к системе, среды, а также, используя опыт экспертов, можно ввести вполне определенные предположения относительно состояния системы в различных условиях функционирования. Таким образом, используя и анализируя существующую информационную базу и синтезируя, путем собственных рассуждений, новые знания о несуществующем объекте моделирования, дополняющие отсутствующую о нем информацию, образуется некоторый мысленный его образ или другими словами, концептуальная модель. В данном случае это концептуальная модель многоуровневой ЛС. Именно концептуальную модель ЛС приходится использовать в дальнейшем в качестве объекта моделирования. Следовательно, задача оценки адекватности аналитической модели управления запасами МР в ЛС реальной ЛС, сводится к задаче оценки ее адекватности концептуальной модели ЛС.

Как было отмечено, концептуальная модель ЛС представляет собой совокупность представлений о свойствах объекта и его поведении в различных условиях под влиянием факторов самой различной природы. Однако, не всегда представляется возможным выяснить численные значения интересующих параметров системы, необходимых для оценки адекватности, в частности, показателей эффективности и затрат в тех или иных условиях функционирования ЛС, чтобы затем сравнить со значениями тех же параметров, только предоставляемых аналитической моделью в тех же условиях.

Для решения данной проблемы, предлагается заменить объект моделирования (концептуальную модель ЛС) его имитационной моделью. Известно, что в настоящее время по единодушному мнению многих специалистов в области моделирования сложных систем, к примеру [1, 2, 3, 4, 5, 6], метод имитационного моделирования предоставляет исследователю теоретически неограниченные возможности по учету всевозможных

факторов, т.е. по реализации алгоритма функционирования моделируемой системы, в отличие от метода аналитического моделирования, в котором можно определить только явные зависимости, реализуемые в виде функциональных зависимостей. В свою очередь, недостатком метода имитационного моделирования, помимо неточности получаемых результатов, зависящей, в принципе, от количества прогонов модели, является также трудность, а иногда и невозможность ее исследования с целью параметрического синтеза системы (в данном случае оптимизации ее параметров) с требуемой точностью, распространяющегося на всю область факторного пространства. Однако в рассматриваемом случае данная задача решается при помощи аналитической модели, от имитационной же модели требуется лишь учет неучтенных в аналитической модели обстоятельств, а также получение необходимых первичных результатов, т.е. значений частных показателей эффективности, используемых впоследствии для оценки адекватности аналитической модели. К неучтенным обстоятельствам можно, в частности, отнести особенности закона распределения коэффициентов потерь, принятых в аналитической модели в виде детерминированных параметров.

Постановка задачи

Таким образом, в ходе оценки адекватности аналитической модели необходимо учесть степень влияния неучтенных случайных факторов на частные показатели эффективности функционирования ЛС, путем сравнительно анализа с результатами имитационного моделирования. В данной задаче имитационная модель заменяет реальный объект моделирования, т.е. реальную ЛС.

Основная часть

Оценку адекватности разработанной методики исследования предлагается производить на примере ЛС, состоящей из одного склада первого уровня и трех складов второго уровня с соответствующим количеством потребителей. Такое упрощение структуры моделируемого объекта предположительно не окажет существенного влияния на результаты оценки адекватности, поскольку структура системы определяет характер влияния потребности потребителей, обеспечиваемых в первую очередь, на размер дефицита и затрат у потребителей, обеспечиваемых во вторую и последующую очереди, а для отражения данного свойства системы трех потребителей вполне достаточно.

Имитационная модель (ИМ) выполнена в виде самостоятельного приложения выполняющегося под управлением операционной системы семейства Windows. Исходный код программы описан на языке Object Pascal в среде Delphi 7. Центральным элементом программы является модуль, в котором описан класс объекта реализующего в себе имитационную модель. В методы данного класса входят:

- процедура, реализующая моделирующий алгоритм, т.е. имитирующий процесс функционирования (ЛС). В данной процедуре используются значения случайных параметров модели, и по их значениям производится расчет значений дефицита и суммарных затрат;
- функции, генерирующие случайные значения потребности в МР и их потери, распределенные соответственно по нормальному и по показательному закону с заданными параметрами. Для формирования нормально распределенной случайной величины используется метод сложения 20-ти равномерно распределенных случайных величин с одинаковыми параметрами, а для формирования случайной величины распределенной по показательному закону используется метод обратной функции [3, 7, 4].
- процедура, осуществляющая циклический прогон модели с накоплением статистики и подсчетом средних значений дефицита и затрат. Количество прогонов не ограничивается.

Состояние процесса имитации функционирования ЛС, а также значения выходных параметров модели отображаются в главном окне программы. Таким образом, в результате обработки программой исходных данных (входных параметров модели), пользователь определяет средние значения дефицита $D_{ИМ}$ и затрат $Q_{ИМ}$ возникающих в ЛС за планируемый период.

Аналитическая модель, адекватность которой оценивалась, была разработана в соответствии с рассмотренной в [9] методикой для случая двухуровневой ЛС обеспечивающей трех потребителей. В частности, ЛС предлагается логически разделить на логистические цепи (линейная цепь складов с запасами МР между которыми осуществляется продвижение материального потока к потребителям) по количеству потребителей. При таком подходе, дефицит D_{AM} и затраты Q_{AM} во всей системе складываются из дефицита и затрат возникающих в каждой логистической цепи т.е.

$$\left. \begin{aligned} D_{AM} &= \sum_{n=1}^N D_{Tn}; \\ Q_{AM} &= \sum_{n=1}^N Q_{Tn}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где D_{Tn} – математическое ожидание дефицита, возникающее при функционировании n -ой логистической цепи,

$Q_{Tn}^{(M)}$ – математическое ожидание затрат на подвоз МР (движение материального потока) между складами n -ой логистической цепи,

N – общее количество потребителей.

Дефицит у n -ого потребителя, при $n = 1, \dots, 3$:

$$D_{Tn} = \int_0^{\alpha_0 z_0} \int_{\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}}^{\infty} (r_n - \alpha_n \beta_n z_n - \beta_{0n} \beta_n z_{0n}) f_n(r_n) \varphi_n(z_{0n}) dr_n dz_{0n}, \quad (2)$$

и затраты (затраты в n -ой логистической цепи)

$$\begin{aligned} Q_{Tn} &= (c_n^{(c)} + c_n^{(x)}) z_n + \frac{c_n^{(M)}}{\beta_n} \int_0^{\alpha_0 z_0} \left[\int_0^{\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}} r_n f_n(r_n) dr_n + (\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}) \int_{\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}}^{\infty} f_n(r_n) dr_n \right] \varphi_n(z_{0n}) dz_{0n} + \\ &+ \frac{c_{0n}^{(M)}}{\beta_{0n} \beta_n} \int_0^{\alpha_0 z_0} \left[\int_{\alpha_n \beta_n z_n}^{\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}} (r_n - \alpha_n \beta_n z_n) f_n(r_n) dr_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n} \int_{\alpha_n \beta_n z_n + \beta_{0n} \beta_n z_{0n}}^{\infty} f_n(r_n) dr_n \right] \varphi_n(z_{0n}) dz_{0n}, \end{aligned} \quad (3)$$

где r_n – потребность в течение периода T ;

$f_n(r_n)$ – плотность распределения потребности;

z_n – запасы МР на складах второго уровня;

z_{0n} – запас МР на складе первого уровня для удовлетворения потребности у n -ого потребителя;

$\varphi_n(z_{0n})$ – плотность распределения остатка МР на складе первого уровня оставшегося для обеспечения n -ого потребителя;

α_n – коэффициенты потерь, возникающие в процессе хранения запасов;

β_n – коэффициенты потерь, возникающие в процессе подвоза МР от склада второго уровня к потребителю;

β_{0n} – коэффициенты потерь, возникающие в процессе подвоза МР от склада первого к складу второго уровня.

Здесь плотность распределения остатка $\varphi_n(z_{0n})$ определяется с учетом следующего выражения:

$$Z_{0n} = \begin{cases} Z_{0n-1} & \text{при } R_{n-1} \leq \alpha_{n-1}\beta_{n-1}z_{n-1}; \\ Z_{0n-1} - \frac{R_{n-1} - \alpha_{n-1}\beta_{n-1}z_{n-1}}{\beta_{0n-1}\beta_{n-1}} & \text{при } \beta_{0n-1}\beta_{n-1}Z_{0n-1} + \alpha_{n-1}\beta_{n-1}z_{n-1} > R_{n-1} > \alpha_{n-1}\beta_{n-1}z_{n-1}; \\ 0 & \text{при } R_{n-1} \geq \beta_{0n-1}\beta_{n-1}Z_{0n-1} + \alpha_{n-1}\beta_{n-1}z_{n-1}, \end{cases} \quad (4)$$

где Z_{0n-1} – остаток на складе системы для предыдущего потребителя по отношению к данному. Если $n = 2$ то $Z_{0n-1} = Z_{01} = \alpha_0 z_0$. Под z_0 подразумевается первоначальный запас на складе системы. Индекс n для каждого потребителя определяется исходя из очередности обеспечения установленной ЛПР применительно к сложившейся обстановки т.е. под n -ым потребителем подразумевается потребитель обеспечиваемый в n -ую очередь.

Наиболее важным моментом при расчете выходных параметров аналитической модели является определение плотности распределения остатка на складе верхнего уровня. Так как распределение потребности подчинено нормальному закону, то и остаток на складе соединения является также нормально распределенной величиной. Для определения параметров закона распределения остатка, использовались формулы, приведенные в работе [7]. Согласно этих формул, параметры закона распределения остатка для второго

$$\left. \begin{aligned} m_{Z_{02}} &= \alpha_0 z_0 + \frac{\alpha_1 z_1}{\beta_{01}} - \frac{m_{r_1}}{\beta_{01}\beta_1}; \\ \sigma_{Z_{02}} &= \frac{\sigma_{r_1}}{\beta_{01}\beta_1}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

и для третьих потребителей

$$\left. \begin{aligned} m_{Z_{03}} &= m_{Z_{02}} + \frac{\alpha_2 z_2}{\beta_{02}} - \frac{m_{r_2}}{\beta_{02}\beta_2}; \\ \sigma_{Z_{03}} &= \sqrt{\sigma_{Z_{02}}^2 + \left(\frac{\sigma_{r_2}}{\beta_{02}\beta_2}\right)^2}, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

где $m_{Z_{02}}, m_{Z_{03}}$ – математические ожидания остатка на складах ЛС соответственно для второго и третьего потребителей;

$\sigma_{Z_{02}}, \sigma_{Z_{03}}$ – средние квадратические отклонения этих остатков;

m_{r_1}, m_{r_2} – математические ожидания расходов МР соответственно у первого и второго потребителей;

$\sigma_{r_1}, \sigma_{r_2}$ – средние квадратические отклонения этих расходов.

Плотности распределения остатка на складах будут иметь вид

$$\varphi_{02}(z_{02}) = \frac{1}{\sigma_{z_{02}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z_{02} - m_{z_{02}})^2}{2\sigma_{z_{02}}^2}}, \quad (7)$$

$$\varphi_{03}(z_{03}) = \frac{1}{\sigma_{z_{03}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(z_{03} - m_{z_{03}})^2}{2\sigma_{z_{03}}^2}}. \quad (8)$$

Все расчеты, относительно определения численных значений выходных параметров модели, производились с использованием специализированного математического пакета прикладных программ – Maple 9 компании Waterloo Maple.

В качестве меры адекватности (идентичности) аналитической и имитационной модели был выбран коэффициент корреляции между значениями выходных параметров данных моделей [1].

Для оценки коэффициента корреляции необходимо наличие результатов ряда испытаний обеих моделей. Практика показывает, что, как правило, рациональное количество должно составлять порядка десяти испытаний [8]. При проведении испытания, значения входных параметров обеих моделей в каждом опыте естественно должны совпадать. В каждом испытании выбирался уникальный (не повторяющийся) набор входных параметров.

Коэффициент корреляции случайных величин X и Y определяется по формуле [7]:

$$k_{xy} = \frac{m_{xy} - m_x m_y}{\sigma_x \sigma_y}, \quad (9)$$

где m_{xy} – математическое ожидание произведения случайных величин X и Y ;

m_x, m_y – математические ожидания случайных величин X и Y соответственно;

σ_x, σ_y – средние квадратические отклонения случайных величин X и Y

соответственно.

В данном случае в качестве X и Y выступают две пары случайных величин – дефицита $D_{AM}, D_{ИМ}$ и затрат $Q_{AM}, Q_{ИМ}$. Таким образом оценку адекватности моделей необходимо производить по значениям двух коэффициентов корреляции – дефицита и затрат.

Для проведения практических расчетов использовались инструменты статистического анализа пакета Microsoft Excel.

В ходе расчетов были получены следующие значения коэффициентов корреляции для дефицитов и затрат:

$$k_D = 0,985982 \approx 1,$$

$$k_Q = 0,999663 \approx 1.$$

Выводы

Таким образом, в результате оценки адекватности аналитической модели управления запасами в многоуровневой ЛС объекту моделирования с использованием рассмотренного в статье подхода, можно сделать вывод, что аналитическая модель

адекватна имитационной, а значит, учитывая ранее принятые допущения, и самому объекту моделирования.

Используемый подход к оценке адекватности аналитических моделей заключается в сопоставлении данных полученных в результате аналитического моделирования с результатами имитационного моделирования, считая при этом имитационную модель рассматриваемой ЛС абсолютно адекватной самой моделируемой системе. Данный подход обусловлен физическим отсутствием, по объективным причинам, объекта моделирования, по сравнению с которым возможно оценить адекватность аналитической модели. В тоже время неограниченные возможности имитационного моделирования относительно учета всевозможных свойств моделируемого объекта, чего нельзя сделать в аналитических моделях, позволили заменить рассматриваемый объект исследования его имитационной моделью.

Рассмотренный подход применим к оценке адекватности аналитических моделей не только применительно к ЛС но и к другим сложным объектам моделирования непосредственное проведение экспериментов с которыми, не возможно по тем или иным причинам.

In the article one of possible approaches is presented to estimation of adequacy of analytical model to control by the supplies of material resources in the multilevel logistic system.

1. Молчанов А.А. Моделирование и проектирование сложных систем. Учебное пособие. – К.: Вища школа. 1988. – 56 с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1968. – 352 с.
3. Максимей В.М. Имитационное моделирование на ЭВМ. – М.: Радио и связь, 1988. – 223 с.
4. Советов Б.Я., Яковлев С.А. Моделирование систем. Учебник. – М.: Высшая школа. 1985. – 271 с.
5. Шарашканэ А.С., Железнов Н.Г., Иваницкий В.А. Сложные системы. – М.: Высшая школа, 1977. – 229 с.
6. Нейлор Т. Машинный имитационный эксперимент с моделями. – М.: Мир. 1975.
7. Вентцель Е.С. Овчаров Л.А. Теория вероятности и ее инженерное приложение. – М.: Наука, 1988. – 358 с.
8. Вентцель Е.С. Теория вероятности. – М.: Наука, 1969.
9. Козак Ю.А., Колчин Р.В. Математическое обеспечение АСУ запасами материальных ресурсов в двухуровневой логистической системе со случайным спросом. // Збірник наукових праць №28. – Одеса: ОНПУ, 2004.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ ВЫХОДА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО АППАРАТА ИЗ КРИТИЧЕСКОГО РЕЖИМА ЭКСПЛУАТАЦИИ

Завальнюк И.П., Бражник А.М., Завальнюк О.П.

Введение. Современное производство характеризуется напряженным режимом работы оборудования, что обусловлено требованиями к эффективности технологических процессов. При этом увеличивается вероятность переход системы в критический режим, в котором нагрузка выше номинальной [1, 2, 3], с чем связано возникновение аварийных ситуаций. В критическом режиме контур диссипации системы перегружен и теряет способность рассеивать энергию во внешнюю среду, т.е. коэффициент диссипации падает и появляется возможность накопления энергии. При неправильном управлении (естественной реакцией в такой ситуации является резкое снятие управления) энергия высвобождается в виде динамического удара в контуре диссипации создавая угрозу аварии.

Постановка задачи. Используя модель достаточно простого технологического аппарата, выявить условия возникновения динамического удара в контуре диссипации, путем моделирования динамики объекта оценить характер процессов, вызывающих динамический удар и выявить характер управления снижающий риск аварии при выходе из критического режима.

Анализ последних исследований и публикаций. Вопросы, связанные с особыми режимами нелинейных систем широко освещены в теории катастроф [4, 5, 6], однако в данном случае система не изменяет аттрактора и не теряет устойчивости, так как при снижении диссипации просто происходит накопление энергии в системе и резко увеличивается колебательность. Так в работе [7] рассмотрено, что наряду с возмущающей силой на систему в процессе вынужденных колебаний действуют и внутренние силы колебательной системы – силы инерции, силы демпфирования и восстанавливающие силы связанные с рассеиванием энергии - диссипацией. На основе сравнения энергии, поступающей в систему за счет внешних сил E_e^* с энергией, расходуемой на преодоление демпфирования E_D^* с использованием энергетической диаграммы показано, что если работа демпфирования меньше работы системы $A < A_s$, то в систему поступает больше энергии, нежели расходуется на преодоление сил демпфирования, и, следовательно, амплитуда увеличивается. При $A > A_s$ потребляемая демпфированием энергия больше энергии, производимой внешней силой, и вследствие этого происходит уменьшение амплитуды. При $A = A_s$ обе работы равны между собой: $E_e^* = E_D^* = \pi A_s^2 \Omega$, где Ω - частота колебаний.

Таким образом как ситуация связанная с изменением свойств системы, так и вопросы расчета режима хорошо изучены, однако для нелинейной системы с диссипацией резко уменьшающейся при повышении энергии системы критического значения вопрос стратегии управления изучен слабо.

Цель статьи. Изучение поведения модели технологического аппарата как динамической системы при различном характере снятия управления в условиях работы системы в предельном режиме. А также стратегию управления, гарантирующую отсутствие ударных нагрузок в системе при выходе её из критического режима.

Решение задачи. Рассматриваемое явление носит общий характер, поэтому исследуем простейший случай - динамическую систему второго порядка

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = u(t). \quad (1)$$

где $a_1 = \zeta(w)$, - функция диссипации энергии в системе.

Рассмотрим наиболее простой случай - экспоненциальную зависимость диссипации энергии системы, при этом анализируемая система является нелинейной, поскольку коэффициент a_1 , определяющий затухание колебаний в системе, зависит от функции диссипации энергии в системе (рис.1):

$$\zeta(u) = [c \cdot \exp(-w) + d], \quad (2)$$

где энергию системы оценим по фазовым переменным $w = (x')^2 + (x)^2$.

Исследуем ситуацию, когда исходное значение диссипации исключает колебательность ($\zeta(w) \gg 1$), а при потере диссипации, её остаточное значение очень мало ($\zeta(w) \ll 1$). Подчеркивая потерю эффективности контура диссипации примем значения коэффициентов c и d в уравнении (3) равными 8 и 0.1 (соответственно).

Движение системы (1) при отсутствии управления описывается уравнением [8]:

$$x(t) = A(t) \cdot \sin(\psi(t)) \quad (3)$$

где $A(t) = A_0 \cdot \exp\left(\int_0^t -\alpha dt\right)$, $\psi(t) = \int_0^t \beta dt + \psi_0$, ψ_0 - постоянная (начальная) фаза.

Амплитуда $A(t)$ и частота $\psi(t)$ колебаний, по причине нелинейности системы, не являются постоянными величинами (в случае линейной системы определяются корнями характеристического уравнения - $\lambda_{1,2} = -\alpha \pm j\beta$) и могут быть определены, используя методику гармонической линеаризации нелинейных систем.

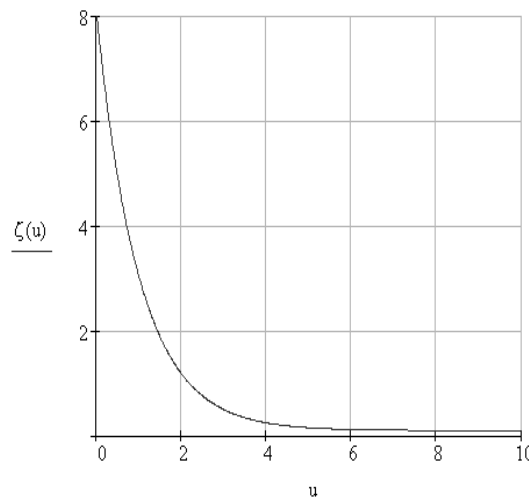


Рис.1 Вид функции диссипации энергии в системе при $c = 8, d = 0.1$

Учитывая, что во избежание перегрузок при пуске системы, используется постепенный разгон системы начальное управление выбираем в виде:

$$U(t) = U_0 \cdot (1 - \exp(-t/T)) \quad (4)$$

Амплитуда управления U_0 обеспечивает выход системы в область малой диссипации, а постоянная времени T - больше, чем собственная постоянная времени объекта. Таким образом, выходной сигнал системы:

$$y(t) = kU_0 \cdot (1 - \exp(-t/T)) \cdot [1 + A(t) \cdot \sin(\psi(t))] \quad (5)$$

После завершения переходного процесса система находится в критическом состоянии и благодаря плавному разгону и выполнению условия $d>0$:

$$y(t) \approx U(t) \quad (6)$$

Следовательно, рассматриваемая система после завершения переходного процесса является системой с малой диссипацией энергии, она рассеивает энергию до определенного момента, что зависит от функции диссипации, при дальнейшем росте управления происходит накопление энергии – система переходит в критический режим работы. Естественно, что максимальное количество энергии зависит от амплитуды внешнего воздействия U_0 и времени приложения управления T_U :

$$E_{\max} = f(U_0, T_U) \quad (7)$$

Проведем анализ поведения системы при резком снятии нагрузки – естественной реакции на возникновение критического режима. Тогда управление изменяется следующим образом:

$$U(t) = U_0 \cdot [1 - 1(t - t_1)] \quad (8)$$

где $1(t)$ – ступенчатая функция.

В структурной схеме моделирования (рис.2) в стандартную модель объекта 2-го порядка введен контур диссипации (Product1, Product2, Product3, Sum2, Fcn, блок a22); чтобы организовать требуемое управление (4) использованы блоки Constant1 и Transfer Fcn.

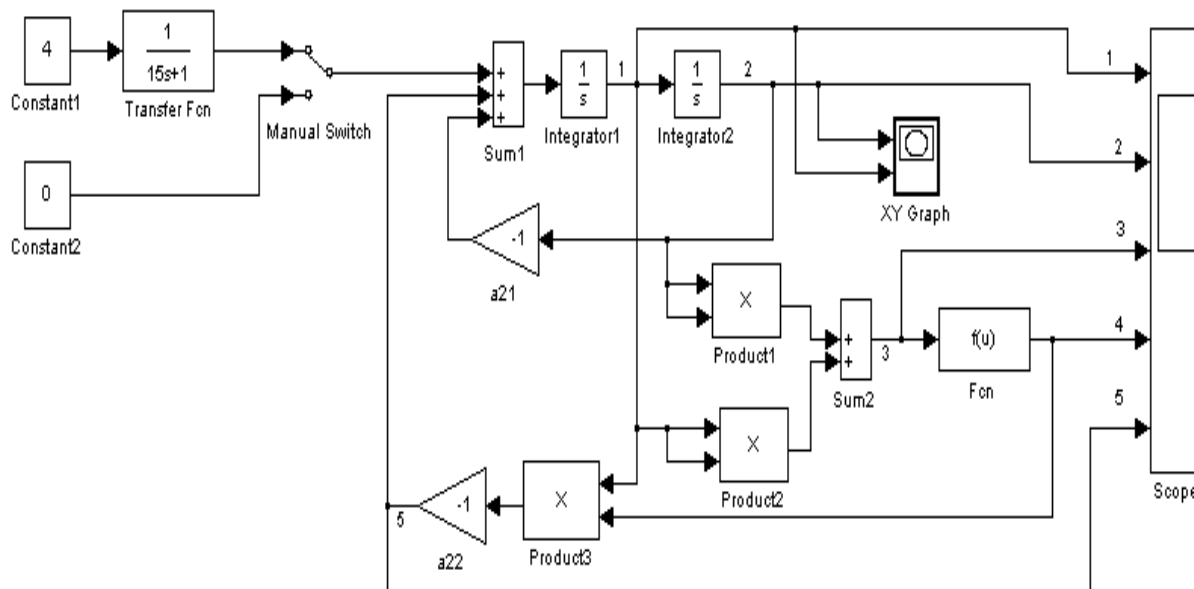


Рис.2 Структурная схема моделирования системы при резком снятии нагрузки

Результаты моделирования системы приведены на рис.4(a) - в системе наблюдаются высокочастотные колебания, после завершения, которых система возвращается в начальное состояние. При этом резко возрастает диссипация энергии, а в диссипирующем контуре системы происходит удар, соответствующий мощному

импульсу - за сравнительно короткий промежуток времени выделяется накопленная энергия, что может привести к нежелательным последствиям.

Мощность удара определяется изменением энергии в системе ΔE за время Δt^* прохождения участка с изменением диссипации:

$$N = \frac{\Delta E}{\Delta t^*} = \frac{E_1 - E_0}{\Delta t^*}, \quad (9)$$

где E_0 , E_1 - запас энергии в системе до и после снятия нагрузки

Естественно, что для исключения удара следует исключить резкое снятие управления. Поэтому управление в данном случае снимается по экспоненциальному закону, что обеспечивает рассеивание накопленной энергии до момента начала резкой диссипации. Таким образом, на спадающей части закон изменения управления будет иметь вид:

$$U(t) = U_0 e^{-\frac{t}{T_u}} \quad (10)$$

На рис.3 приведена структурная схема моделирования системы с плавным снятием управления, для чего введены блоки: Integrator1, Saturation и блок b. Важно, что длительность перехода системы в начальное состояние, длительность рассеяния энергии можно регулировать, изменяя значение коэффициента b.

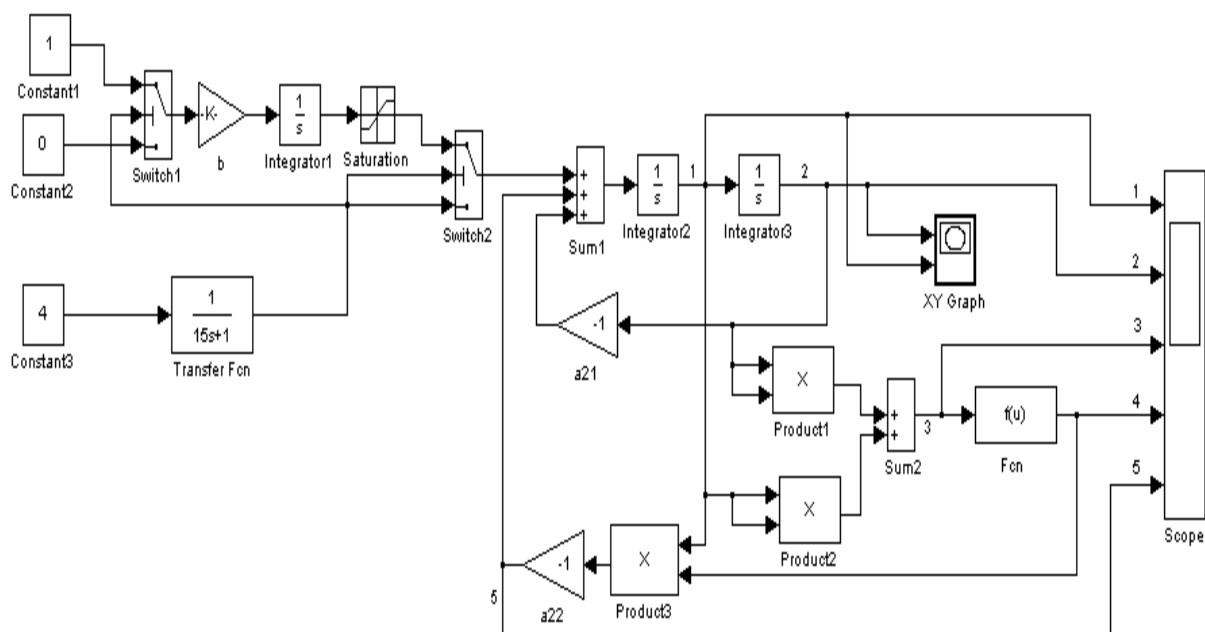


Рис. 3 Структурная схема моделирования системы при постепенном снятии нагрузки

Результаты моделирования системы с плавным снятием управления представлены на рис. 4(б) - система подходит к возникновению резкой диссипации плавно и амплитуда нагрузок на контур диссипации резко падает. Дополнительным фактором является диссипация, протекающая за счет увеличения времени движения системы к границе нормального режима, для устранения удара при выходе системы из критического режима функционирования.

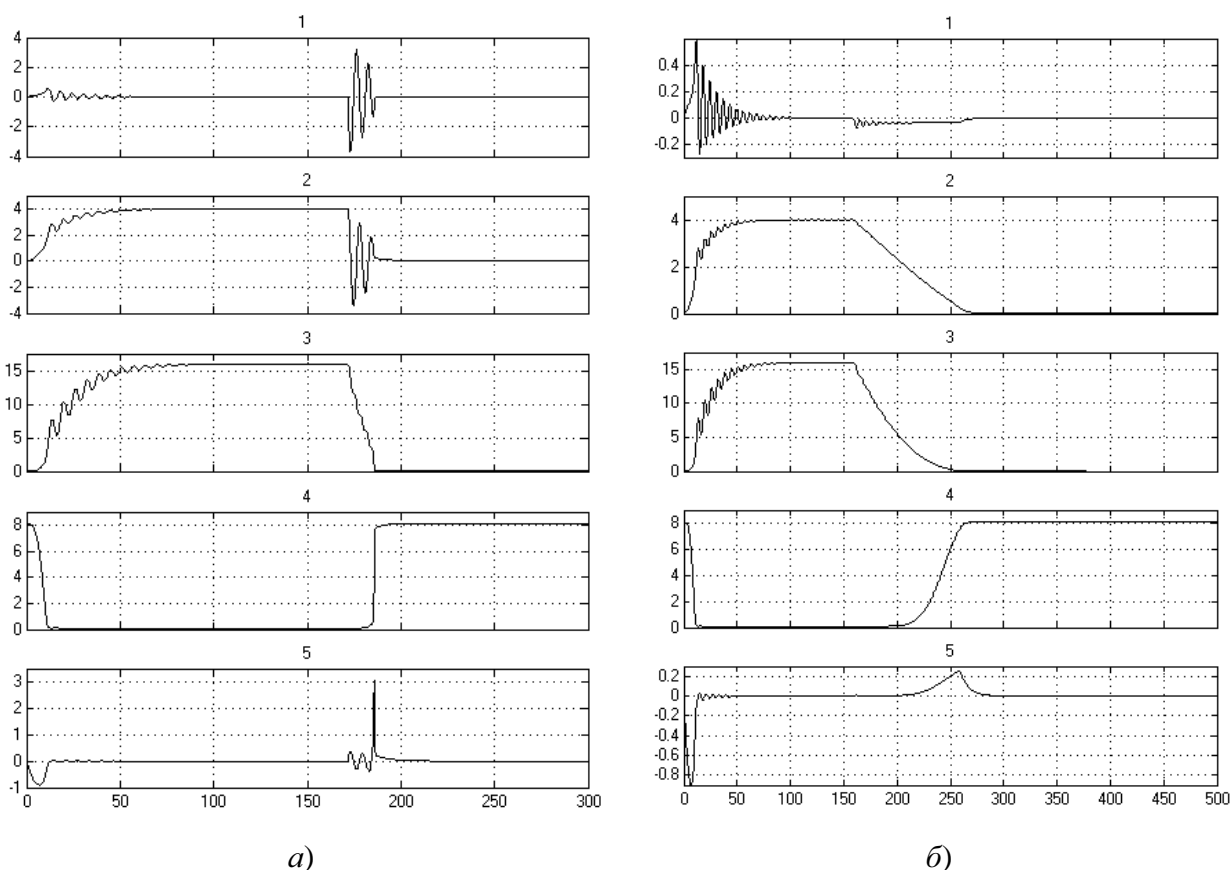


Рис. 4 Осциллограммы сигналов при резком (а) и постепенном (б) снятии нагрузки: 1,2 – сигналы dx/dt и x ; 3 – оценка количества энергии в системе; 4 – характер диссипации энергии; 5 - изменение энергии после диссипирующей цепи.

Дополнительно следует учитывать возникновение колебаний в системе. Для этого можно сравнить фазовые портреты при резком (рис. 5, а) и постепенном (рис.5, б) снятии нагрузки.

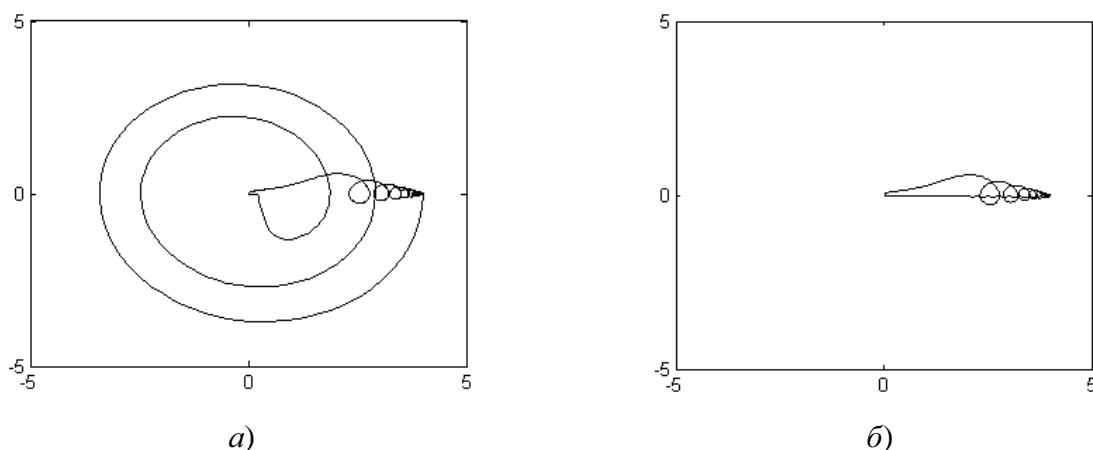


Рис. 5 Фазовые портреты системы.

Действительно, при резком снятии управления возникают значительные колебания в системе, что легко объяснить как реакцию системы с малой диссипацией на резкое изменение управления. С другой стороны плавное снятие управления не только устраняет удар в контуре диссипации, но и резко снижает колебательность процесса остановки системы.

Выводы:

1. Моделирование подтверждает гипотезу о возможности возникновения ударных нагрузок в контуре диссипации при резком снятии управления, что существенно для систем с ограниченными ресурсами контура диссипации.
2. Плавный вывод систем из критического режима обеспечивает не только устранение удара, но и снижает колебательность процесса останова системы.
3. Учет изменения диссипации системы, описывает реальную ситуацию, возникающую при перенапряженных режимах, когда дальнейшая отдача энергии через контур диссипации во внешнюю среду прекращается. Например, перегрузка систем охлаждения, перенапряженность механических систем.
4. Процессы возникновения ударных нагрузок даже для простых динамических систем имеют сложный характер и требуют дальнейшего изучения.

The behaviour of the dynamic system is considered with small dissipation of the energy under different type of the removing the load. It is installed that in system can occur the powerful impact because of cutting the removing of control. The certain law of the change of control, guaranteeing absence of the striking loads in system when leaving her from critical mode.

1. Андронов А.А, Витт А.А, Хайкин С.Э. Теория колебаний.- 3-е изд., испр.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. – 916 с.
2. 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.
3. Джакаля Г.Е.О. Методы теории возмущений для нелинейных систем: Пер с англ./ Под ред. А.П. Маркеева.- М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1988. – 320 с.
4. Дж.М.Т.Томпсон Неустойчивость и катастрофы в науке и технике. Перевод с английского В.Л. Бердичевского. –М.: Мир., 1985.-254С.ил.
5. Тим Пост, Иэн Стюарт Теория катастроф и ее приложения. Перевод с английского А.В. Чернавского. – М.: Мир. 1980. 606С. Ил.
6. В.И. Арнольд Теория катастроф. -3-е изд.,доп.-М.: Наука гл.ред.физ.-мат. лит., 1990.-С.128.
7. Магнус К. Колебания: Введение в исследование колебательных систем: Пер. с нем. – М.: Мир, 1982. – 304 с., ил.
8. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное / Бесекерский В. А., Попов Е. П. – М.: Наука, Гл. ред. физ.- мат. лит.-ры, 1975. – 768 с.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ВІБРОКИПІННЯ СИПКИХ
СЕРЕДОВИЩ

Русанов С., Луняка К., Карманов В.

Технологічні процеси, такі як сушіння сипких матеріалів, відновлення металів, обпалення гранул та інші, відбуваються в результаті взаємодії твердих частинок з газами або поверхнями. Вказані процеси як об'єкти управління є нестационарними, підданими координатним та параметричним збуренням, при цьому найчастіше найбільш ефективні режими роботи лежать в області гранично припустимих. Тому проблема забезпечення високої якості вихідних параметрів при зниженні енергоємності процесу є досить складним питанням. Це вимагає удосконалення існуючих математичних моделей та складання алгоритмів прогнозування [1].

Відомо також, що для цих процесів кращим шляхом інтенсифікації є створення умов активного перемішування, розпушення шару сипкого матеріалу і зниження опору на границі поділу фаз [2]. Тому широке застосування мають апарати з псевдозрідженим або віброкиплячим шаром. Та якщо для апаратів з псевдозрідженим шаром існують достатньо розроблені математичні моделі та параметри їх роботи добре регламентовані, то в теорії віброкипіння є багато недоробок. Для процесів з віброкиплячим шаром завдяки введенню вібрації кількість вхідних параметрів збільшується, водночас з цим відклик системи на зовнішні збурення дуже погано прогнозується і може вивести систему за межі гранично припустимих режимів роботи. Тому необхідна розробка моделі, що буде мати можливість врахувати максимально широкий діапазон чинників, що впливають на процес, але у той самий час адекватно враховувати характерні особливості віброкипіння, що може суттєво знизити її складність.

Відомо, що при впливі вібрації в сипучих тілах відбуваються перетворення, особливості яких обумовлюються інтенсивністю вібрації [2-4]. У міру збільшення інтенсивності вібрації, у межах амплітудних значень прискорень, не перевищуючі прискорення вільного падіння, сипуче тіло здобуває рухливість. Такий стан сипучого тіла прийнято називати станом віброзрідження. У цьому стані зчеплення між частками слабшає, зменшується число пор, досягається більш щільне укладання часток. Найбільше ущільнення досягається при амплітудних прискореннях коливань, близьких до прискорень вільного падіння. У цьому стані відсутні умови активного перемішування та він не є сприятливим для вищевказаних процесів.

При подальшому збільшенні інтенсивності коливань частки сипучого тіла починають втрачати контакт із віброуючим робочим органом, зменшуються й періодично порушуються зв'язки між частками; сипуче тіло переходить як би в стан кипіння. Цей стан, який має назву віброкипіння, характеризується розпушенням сипучого тіла й посиленою циркуляцією його частинок, що й обумовило його використання.

Перехід від віброзрідження до віброкипіння відбувається або при наданні сипучому тілу прискорень коливань певного рівня, або при досягненні певного енергетичного рівня. Перший критерій більш підходить до грубодисперсних систем, другий - до мікрогетерогенних. Перехід від стану віброзрідження до віброкипіння здійснюється, як правило, при прискореннях, що перевищують прискорення вільного падіння. Критичні прискорення й енерговитрати залежать від властивостей сипучого тіла, товщини шару, сил зчеплення між частками й інших факторів. Для промислових вібраційних систем перехід шару з одного стану в інший спостерігається у деяких випадках лише при інтенсивності вібрації, яка перевищує 10g.

Під впливом вібрації в тілах поширюються хвилі деформації. Моношар, що входить у контакт з джерелом вібрації, одержує від нього силові імпульси. Від нижнього моношару

імпульси передаються лежачим вище моношарам. Внаслідок інерційності, наявності сил тертя й незворотних деформацій імпульси, в міру передачі їх від моношару до моношару, поступово слабшають, причому ступінь їхнього ослаблення визначається властивостями середовища, а також характером і величиною силових імпульсів. Енергія коливального руху джерела вібрації в процесі проходження хвилі витрачається на прискорення оброблюваного середовища й заповнення втрат при незворотних деформаціях.

Процес віброобробки сипучих тіл у значній мірі формується під впливом газової або рідкої фази. Внаслідок поганої повітропроникності сипуче тіло піддається великим аеродинамічним навантаженням. Аеродинамічні опори виникають у результаті того, що між пульсаціями тиску газової фази й рухом твердої фази є зрушення фаз. Внаслідок цього виникають аеродинамічні сили, що перешкоджають руху твердої фази. Так, у просторі між поверхнею робочого органу й нижнім моношаром сипучого тіла при підкиданні виникає розрідження, а при падінні - підвищення тиску щодо атмосферного. Зрівняння цих періодичних коливань тиску досягається внаслідок періодичного відтоку надлишкової й припливу відсутньої кількості повітря, що проходить через пори, наявні в шарі сипучого тіла. Аеродинамічні сили, що діють на частки, є головним чином функцією маси вантажу, питомої газопроникності й залежать від режиму коливань.

В багатьох роботах [2,4-6] для описання руху газу крізь віброкиплячий шар приймалася модель фільтрації газу в пористому середовищі. Така модель відрізняється простотою, однак має низку недоліків, пов'язаних з нехтуванням впливу на віброкиплячий шар таких важливих чинників, як змінна по висоті порізність шару і взаємодія частинок між собою і зі стінками апарату, тому такий підхід можна вважати достатньо грубим наближенням. Однак у деяких випадках така модель все ж дає прийнятні результати.

У загальному випадку віброкиплячий шар можна представити як двофазну систему (газ – тверді частинки). Як відомо, математичне описання двофазних середовищ базується на системі диференціальних рівнянь нерозривності, руху та енергії для кожної фази. [4, 7-10]. Нехтуючи змінами температури, рівняння енергії опускають і систему записують у вигляді [7-9]:

$$\frac{\partial \rho_i \varepsilon_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i \mathbf{v}_i) = 0$$

$$\frac{\partial \rho_i \varepsilon_i \mathbf{v}_i}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_i \varepsilon_i \mathbf{v}_i \mathbf{v}_i) = -\varepsilon_i \nabla p + \nabla \cdot \mathbf{K}_i - \rho_i \varepsilon_i \mathbf{g} \pm \mathbf{R} \quad (1)$$

$$\sum \varepsilon_i = 1$$

де ρ_i – густина i -ї компоненти, $i=s,g$;

ε_i – об'ємна концентрація i -ї компоненти (ε_g – порізність);

\mathbf{v}_i – вектор швидкості i -ї компоненти;

p – тиск;

\mathbf{K}_i – тензор напруг (для твердих частинок – це напруги, виникаючі при взаємодії частинок);

\mathbf{R} – вектор взаємодії між частинками і газом;

\mathbf{g} – прискорення вільного падіння.

Така система добре описує гідродинаміку віброкиплячого шару, та при залученні додаткових емпіричних або напівемпіричних залежностей для \mathbf{K}_i і \mathbf{R} дозволить чисельно розрахувати поля ε_i , \mathbf{v}_i і p . Однак ця система відрізняється достатньо високою складністю і з урахуванням характерних особливостей віброкипіння може бути спрощена.

Рівняння руху газу із системи (1) має вигляд:

$$\frac{\partial \rho_g \varepsilon_g \mathbf{v}_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \varepsilon_g \mathbf{v}_g \mathbf{v}_g) = -\varepsilon_g \nabla p + \nabla \cdot \mathbf{K}_g - \rho_g \varepsilon_g \mathbf{g} + \mathbf{R} \quad (2)$$

Якщо припустити, що за своїми властивостями віброкиплячий шар являє собою проміжну ступінь між нерухомим фільтруючим середовищем і псевдозрідженим шаром, то у цьому випадку можливо спростити систему (1), зневаживши у рівнянні руху газу (2) силами інерції, об'ємними силами та тензором в'язкістних напруг. Тоді рівняння (2) приймає форму закону Дарсі, якщо вектор взаємодії між частинками і газом записати у вигляді:

$$\mathbf{R} = -\frac{\mu \varepsilon_g}{k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{eidi}|)} \mathbf{v}_g^{eidi} \quad (3)$$

та, вочевидь, переходить до закону Дарсі, тобто закону лінійної фільтрації, для низьких чисел $Re = d \varepsilon_g \rho_g |\mathbf{v}_g^{eidi}| / \mu$:

$$\mathbf{v}_g^{eidi} = -\frac{k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{eidi}|)}{\mu} \nabla p \quad (4)$$

де $\mathbf{v}_g^{eidi} = \mathbf{v}_g - \mathbf{v}_s$ – відносна швидкість газу;

d – середній діаметр частинок;

μ – в'язкість.

Проникність $k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{eidi}|)$ повинна бути визначена для широкого діапазону значень порізності і критерію Рейнольдса. Для цього необхідно більш глибоко проаналізувати процес фільтрування стосовно до стану віброкипіння.

Намагання отримати макроскопічне рівняння плинину газу в нерухомому пористому середовищі шляхом осереднення рівняння нерозривності й лінеаризованого рівняння Нав'є-Стокса по елементарному фізичному об'єму середовища робилися у ряді робіт, наприклад, [11,12]. В результаті автори отримали закон Дарсі, який встановлює лінійний зв'язок між середньою (для малих об'ємів вона еквівалентна фіктивній [12-14]) швидкості плинину газу \mathbf{v}_g^ϕ і градієнтом середнього тиску:

$$\mathbf{v}_g^\phi = -\frac{K(\varepsilon)}{\mu} \nabla p \quad (5)$$

Проникність $K(\varepsilon)$ має розмірність площі; вона не залежить від властивостей рідини і є чисто геометричною характеристикою пористого середовища [15].

Існує багато формул, які виражають $K(\varepsilon)$ через параметри пористої структури – як чисто емпіричних, так і отриманих на основі моделювання пористої структури. Найбільше розповсюдження отримало рівняння Козені-Кармана [15], яке виведене з аналогії між пористим середовищем і системою капілярів, а також рівняння моделі хвилястих капілярів різного радіусу. Якщо у цих або аналогічних рівняннях замінити величини a (питома поверхня), і $\bar{\rho}$ (характерний радіус пор) на їхні середні значення для шару сипкого середовища $\bar{\rho} = 2\varepsilon_g / a$ і $a = 6\varepsilon_s / \Phi d$ [12,14], то проникність для ламінарної фільтрації у загальному вигляді запишеться як:

$$K(\varepsilon) = C \varepsilon_g \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right)^2 \quad (6)$$

де C – деякий коефіцієнт. Його значення можна оцінити у широкому спектрі порізності для нерухомих сипких середовищ. Маємо таку наближену оцінку:

$$C \cong \left(\frac{1}{72} \dots \frac{1}{216} \right) \Phi^2 d^2 \quad (7)$$

і відповідно:

$$K(\varepsilon) \cong \left(\frac{1}{72} \dots \frac{1}{216} \right) \varepsilon_g \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right)^2 \Phi^2 d^2 \quad (8)$$

де Φ – фактор форми частинок.

Таким чином, в рамках нерухомого фільтруючого середовища ми приходимо до цілком певної нелінійної залежності проникності від порізності.

Для розрахунку падіння тиску в псевдозрідженому шарі широке розповсюдження отримало рівняння Ергана [13,14,16,17]:

$$\frac{\Delta p}{H} = 150 \frac{\mu}{\Phi^2 d^2} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_g} \right)^2 \left(\frac{v_g^\phi}{\varepsilon_g} \right) + 1,75 \frac{\rho_g v_g^{\phi^2}}{\Phi d} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_g} \right) \left(\frac{v_g^\phi}{\varepsilon_g} \right)^2 \quad (9)$$

В роботі [13] для розрахунку сил взаємодії між частинками і газом у фонтануючих шарах рівняння Ергана розповсюджується на шари безкінечно малих висот, тобто приймалося $\frac{\Delta p}{H} \rightarrow -\frac{\partial p}{\partial x}$, у цьому випадку для невисоких фіктивних швидкостей газу також спостерігається лінійна залежність між швидкістю течії газу і градієнтом тиску, при цьому проникність буде дорівнювати:

$$K(\varepsilon) = \frac{1}{150} \varepsilon_g \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right)^2 \Phi^2 d^2 \quad (10)$$

що добре узгоджується з (8). Переходячи до дійсної швидкості газу [12-14]

$$\mathbf{v}_g = \frac{\mathbf{v}_g^\phi}{\varepsilon_g} \quad (11)$$

яка фігурує у (1)-(3), проникність $k(\varepsilon) = K(\varepsilon)/\varepsilon_g$ прийме вигляд:

$$k(\varepsilon) = C \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right)^2 \Phi^2 d^2 \quad (12)$$

Формула (12) придатна при $Re = d\varepsilon_g \rho_g |\mathbf{v}_g^{видн}| / \mu < 1$ і $\varepsilon_g < 0,8$. У випадку, якщо $Re > 1$, можна скористатися векторною модифікацією формули Ергана, наведеною в [14]:

$$-\nabla p = 150 \frac{\mu}{\Phi^2 d^2} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_g} \right)^2 \mathbf{v}_g^{видн} + 1,75 \frac{\rho_g}{\Phi d} \left(\frac{\varepsilon_s}{\varepsilon_g} \right) \cdot |\mathbf{v}_g^{видн}| \cdot \mathbf{v}_g^{видн} \quad (13)$$

Позначимо:

$$k_1(\varepsilon) = \frac{1}{150} \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right)^2 \Phi^2 d^2, \quad k_2(\varepsilon) = \frac{1}{1,75} \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right) \frac{\mu \Phi d}{\rho_g} \quad (14)$$

$$k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}}|) = \frac{k_1(\varepsilon)}{1 + |\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}}| \frac{k_1(\varepsilon)}{k_2(\varepsilon)}}$$

тоді рівняння фільтрування запишеться у вигляді:

$$\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}} = - \frac{k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}}|)}{\mu} \nabla p \quad (15)$$

що еквівалентно наступній нелінійній системі рівнянь:

$$v_{gx}^{\text{вiдн}} = - \frac{k_1(\varepsilon) / \mu}{1 + \sqrt{v_{gx}^{\text{вiдн}^2} + v_{gy}^{\text{вiдн}^2} + v_{gz}^{\text{вiдн}^2}} \frac{k_1(\varepsilon)}{k_2(\varepsilon)}} \cdot \frac{\partial p}{\partial x}$$

$$v_{gy}^{\text{вiдн}} = - \frac{k_1(\varepsilon) / \mu}{1 + \sqrt{v_{gx}^{\text{вiдн}^2} + v_{gy}^{\text{вiдн}^2} + v_{gz}^{\text{вiдн}^2}} \frac{k_1(\varepsilon)}{k_2(\varepsilon)}} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} \quad (16)$$

$$v_{gz}^{\text{вiдн}} = - \frac{k_1(\varepsilon) / \mu}{1 + \sqrt{v_{gx}^{\text{вiдн}^2} + v_{gy}^{\text{вiдн}^2} + v_{gz}^{\text{вiдн}^2}} \frac{k_1(\varepsilon)}{k_2(\varepsilon)}} \cdot \frac{\partial p}{\partial z}$$

Вказана система придатна при $\varepsilon_g < 0,8$ і може бути чисельно вирішена будь-якими ітераційними методами. Для порізності $\varepsilon_g > 0,8$ у [15] пропонується формула для градієнта тисків, з якої проникність запишеться:

$$k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}}|) = \frac{4\Phi d \varepsilon_g^{1,65} \mu}{3C_d \rho_g |\mathbf{v}_g^{\text{вiдн}}|} \left(\frac{\varepsilon_g}{\varepsilon_s} \right) \quad (17)$$

$$\text{де } C_d = \begin{cases} \frac{24}{\text{Re}} (1 + 0,15 \text{Re}^{0,687}), & \text{Re} < 1000 \\ 0,44, & \text{Re} > 1000 \end{cases}$$

Для поодинокі кулеподібної частинки, яка рухається повільно, $\varepsilon_g=1$, $\varepsilon_s=0$, і $C_d=24/\text{Re}$, що виражає відомий закон Стокса [13]; для великих значень Re формула (17) відповідає закону Ньютона.

Таким чином, уявлення про віброкиплячий шар як про проміжну ступінь між нерухомим фільтруючим середовищем і псевдозрідженим шаром, дозволяє систему диференціальних рівнянь нерозривності і руху (2) привести до вигляду:

$$\begin{aligned}
 \frac{\partial \rho_g \varepsilon_g}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_g \varepsilon_g \mathbf{v}_g) &= 0 \\
 \frac{\partial \rho_s \varepsilon_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_s \varepsilon_s \mathbf{v}_s) &= 0 \\
 \mathbf{v}_g - \mathbf{v}_s &= -\frac{k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g - \mathbf{v}_s|)}{\mu} \nabla p \\
 \frac{\partial \rho_s \varepsilon_s \mathbf{v}_s}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho_s \varepsilon_s \mathbf{v}_s \mathbf{v}_s) &= -\varepsilon_s \nabla p + \nabla \cdot \mathbf{K}_s - \rho_s \varepsilon_s \mathbf{g} - \mathbf{R} \\
 \sum \varepsilon_i &= 1 \\
 \rho_g &= f(p)
 \end{aligned} \tag{18}$$

де останнє рівняння являє собою рівняння стану газу. За звичайних умов можна скористуватися рівнянням стану ідеального газу:

$$p = \rho_g RT \tag{19}$$

Проникність $k(\varepsilon, |\mathbf{v}_g - \mathbf{v}_s|)$ визначається у залежності від ε_g і Re за формулами (12), (15) або (17). Для полегшення запису граничних умов зовнішню вібраційну дію можна врахувати відповідною заміною координат, наприклад, при вертикальних коливаннях віброуючої поверхні за законом $s=s(t)$ необхідно ввести нову координату:

$$x' = x + s(t) \tag{20}$$

Граничними умовами можна вважати умову прилипання газу до стінок апарату, а у зв'язку з тим, що частинки матеріалу можуть рухатися відносно стінок, необхідно задати умову проковзування твердих частинок біля стінок [18,19]. На поверхні шару задається атмосферний тиск.

Для перевірки адекватності вказаної моделі проведено чисельне рішення отриманої системи (1) в одновимірному випадку без урахування дії стінок апарату з використанням метода скінчених різностей [20,21]. Запис скінчено-різностних рівнянь здійснюється за допомогою явної і неявної схем. Нелінійні системи вирішувалися стандартним методом Ньютона. Подібна схема забезпечує хорошу стійкість різностного рішення.

Як приклад нижче наводяться (Рис. 1-6) результати моделювання поведінки шару сипкого матеріалу. Вхідними параметрами є насипна густина $\rho_s=1600$ кг/м³, середній діаметр частинок $d=0,3$ мм, початкова висота $h_o=0,24$ м, середня порізність в статичному стані $\varepsilon_{go}=0,4$, початкова швидкість $v_{so} = 0,3$ м/с відносно нерухомої несучої поверхні $x=0$. Фактор форми $\Phi=0,55$. Вихідними параметрами системи є поля $\varepsilon_g=\varepsilon_g(x,t)$, $\varepsilon_s=\varepsilon_s(x,t)$, $v_g = v_g(x,t)$, $v_s = v_s(x,t)$, $\bar{p}=(p_a - p)/p_a = \bar{p}(x,t)$. Зазначимо, що одновимірна модель дозволяє врахувати високі швидкості фільтрації і вплив фільтруючого середовища на структуру шару, однак вона не враховує взаємодію частинок між собою і зі стінками апарату. Для врахування цих чинників необхідно рішати просторову задачу з залученням додаткових залежностей для запису тензору напруг, який описує ці взаємодії. Один з видів запису компонентів такого тензору вказаний у [7].

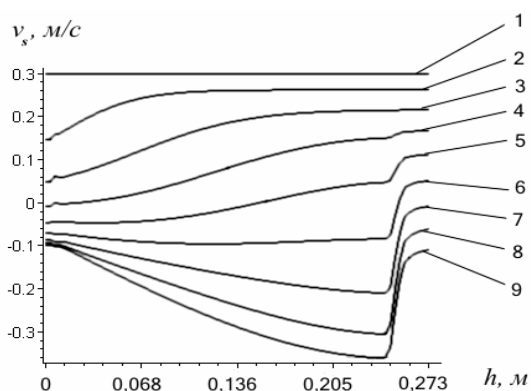


Рис. 1 Швидкість твердих частинок по висоті шару: 1- $t=0$ с; 2- $t=0,5 \cdot 10^{-2}$ с; 3- $t=1 \cdot 10^{-2}$ с; 4- $t=1,4 \cdot 10^{-2}$ с; 5- $t=1,9 \cdot 10^{-2}$ с; 6- $t=2,3 \cdot 10^{-2}$ с; 7- $t=2,8 \cdot 10^{-2}$ с; 8- $t=3,2 \cdot 10^{-2}$ с; 9- $t=3,7 \cdot 10^{-2}$ с.

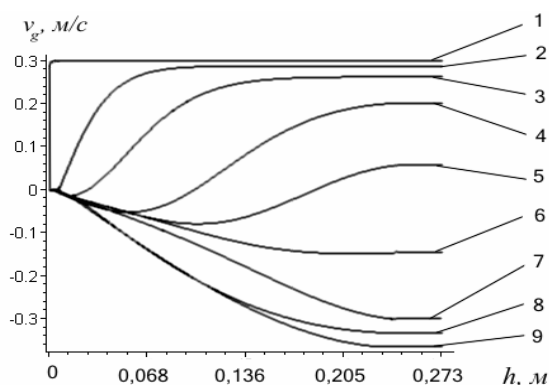


Рис. 2 Швидкість газу по висоті шару: 1- $t=0$ с; 2- $t=0,5 \cdot 10^{-2}$ с; 3- $t=1 \cdot 10^{-2}$ с; 4- $t=1,4 \cdot 10^{-2}$ с; 5- $t=1,9 \cdot 10^{-2}$ с; 6- $t=2,3 \cdot 10^{-2}$ с; 7- $t=2,8 \cdot 10^{-2}$ с; 8- $t=3,2 \cdot 10^{-2}$ с; 9- $t=3,7 \cdot 10^{-2}$ с.

$$\bar{p} = \frac{P_a - P}{P_a}$$

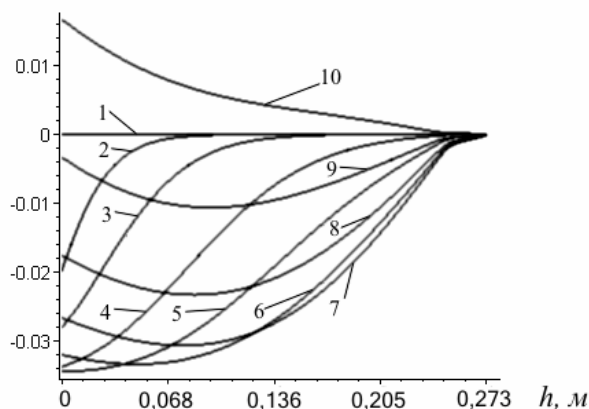


Рис. 3. Розподіл тиску по висоті шару: 1- $t=0$ с; 2- $t=0,2 \cdot 10^{-2}$ с; 3- $t=0,5 \cdot 10^{-2}$ с; 4- $t=1 \cdot 10^{-2}$ с; 5- $t=1,4 \cdot 10^{-2}$ с; 6- $t=1,9 \cdot 10^{-2}$ с; 7- $t=2,3 \cdot 10^{-2}$ с; 8- $t=2,8 \cdot 10^{-2}$ с; 9- $t=3,2 \cdot 10^{-2}$ с; 10- $t=3,7 \cdot 10^{-2}$ с.

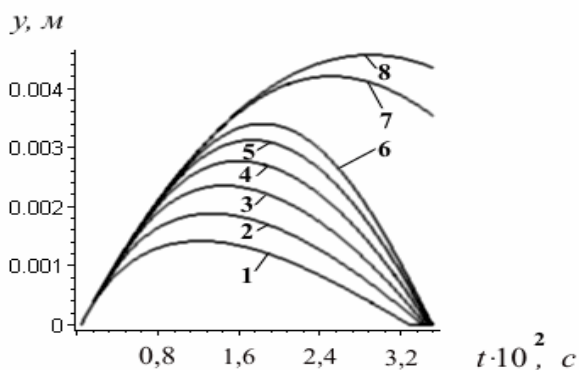


Рис. 4 Траєкторії руху частинок по висоті шару, відраховані від вихідного положення: 1-0 м; 2-0,038 м; 3-0,075 м; 4-0,113 м; 5-0,150 м; 6-0,188 м; 7-0,225 м; 8-0,263 м.

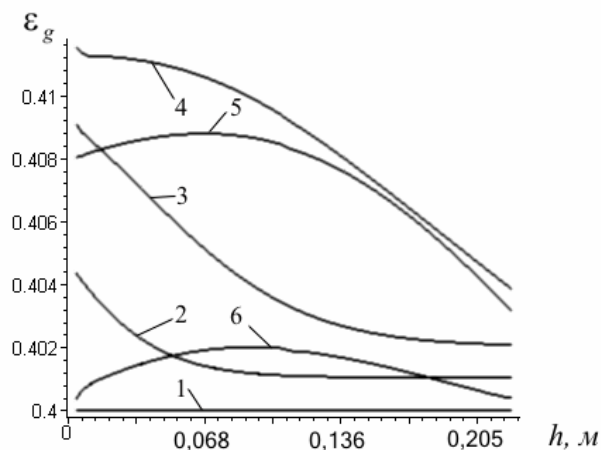


Рис. 5 Розподіл поризності по висоті шару: 1- $t=0$ с; 2- $t=0,5 \cdot 10^{-2}$ с; 3- $t=1 \cdot 10^{-2}$ с; 4- $t=1,9 \cdot 10^{-2}$ с; 5- $t=2,8 \cdot 10^{-2}$ с; 6- $t=3,6 \cdot 10^{-2}$ с.

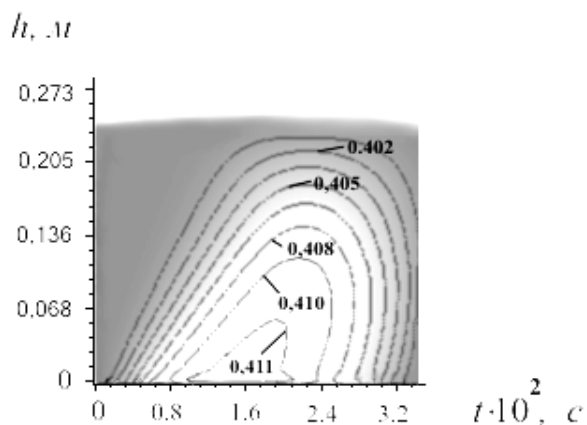


Рис. 6 Розподіл поризності по висоті шару у часі

Як видно з результатів моделювання, у початковий момент процесу підкидання матеріалу рух нижніх моношарів частинок різко сповільнюється (рис. 1), у той час як середні та верхні шари рухаються рівномірно. Газ, що знаходиться в порах матеріалу, в початковий момент ($t=0$) намагається рухатися разом з шаром, тобто $\mathbf{v}_g^{відн}|_{t=0} = \mathbf{v}_g|_{t=0} - \mathbf{v}_s|_{t=0} = 0$, однак у наступні моменти його швидкість біля несучої поверхні $x=0$ (де швидкість газу нульова у відповідності з граничною умовою) різко падає (рис. 2), у той самий час відносна швидкість $\mathbf{v}_g^{відн}$ по модулю зростає – газ починає фільтруватися крізь нижні ділянки шару, сповільнюючи їх. У верхніх ділянках шару газ продовжує рухатися разом з твердими частинками, тобто $\mathbf{v}_g = \mathbf{v}_s$. Під шаром виникає різкий перепад тиску (рис.3), який і є рушійною силою процесу фільтрування газу крізь віброкиплячий шар. Одночасно з цим нерівномірність сповільнення частинок по висоті позначається на порізності шару – у початкові моменти часу в нижніх ділянках шару вона зростає (рис. 5, рис. 6).

Описаний процес у подальшому захоплює (з цілком певною швидкістю) наступні ділянки, сягаючи верху шару, однак частинки, які знаходяться внизу шару, як це видно з рис. 1 і рис. 4, починають своє зниження раніше верхніх. В результаті процес розповсюдження збурювань по шару стає аналогічним процесу розповсюдження нелінійної хвилі деформації у деякому псевдонерухомому суцільному середовищі з особливою реологією (рис. 5, рис. 6). Як наслідок, висота підйому частинок (деформація) не однакова по координаті шару (рис. 4). Верх шару має максимальне переміщення $u_g \approx 3,5$ мм, нижні ж частинки мають переміщення тільки $u_n \approx 1$ мм. Подібний розкид залежить від проникності шару, його насипної густини, зовнішнього тиску, внутрішніх чинників. Для деяких шарів може виникнути ситуація, коли $u_n \rightarrow 0$, і помітний відрив виникає у деякій точці $x>0$, що описано на початку статті. В цьому разі процеси у нижній зоні не будуть відповідати вимогам технологічного процесу.

Таким чином, для апаратів з віброкиплячим шаром як об'єктів управління, необхідна ретельна перевірка режимів роботи на основі вказаної моделі по визначенню можливої наявності недопустимих зон віброзрідження, відкликів на зміну вхідних параметрів та можливого виходу системи за межі гранично припустимих режимів роботи.

In this work is researched modeling of hydrodynamics vibratory boiling layers of loose materials. The mathematical model of the motion layer is offered with take-off from carrying surfaces. This model is used for the numerical calculation of the fields of the velocities, pressures and porosity for univariate problem.

1. Хобин В.А., Степанов М.Т. Алгоритмы гарантирующего управления с прогнозированием // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація: Зб. наук. пр. / Кіровоград. держ. техн. ун-т. – Кіровоград, 2002.-Вип. 11.- С.163-166.
2. Членов В.А., Михайлов Н.В. Виброкипящий слой. - М.: Наука, 1972. – 343 с.
3. Катальмов А.В., Любартович В.А. Дозирование сыпучих и вязких материалов. - Л.: Химия, 1990. – 240 с.
4. Вибрации в технике. Справочник: В 6 т.- М.: Машиностроение, 1981. - Т.4. – 509 с.
5. Kroll W. Fließerscheinungen auf Haufwerken in schwingenden Gefassen // Chemic Ingenieur Technik. – 1955. - №1. – P. 142-148.
6. Блехман И.И. Джанелидзе Г.Ю. Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 410 с.

7. Gidaspow, D. Multiphase flow and fluidization: Continuum and kinetic theory descriptions. - Boston: Academic Press Inc., - 1994. - 211 p.
8. Huilin, L., S. Yongli, L. Yang, H. Yurong and J. Bouillard, Numerical simulations of hydrodynamic behavior in spouted beds // Trans. Inst. Chem. Eng.. - 2001 - 79, P..593-599.
9. Гидротранспорт. Вопросы гидравлики. / Н.А.Силин, Ю.К.Витошкин, В.М.Карасик, В.Ф.Очеретько. - К.: Наукова Думка, 1971. - 227 с.
10. Дейч М.Е., Филиппов Г.А. Газодинамика двухфазных сред. - М.: Энергия, 1968. - 424 с.
11. Whiteker S. - Ind. Eng. Chem., 1969, v. 34, P. 248-252.
12. Kozicki W., Hsu C.J., Tiu C. Non-newtonian flow through packed beds and porous media. // Chem. Engng. Sci., - 1967. - 22, №4, P.487-502.
13. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. - М.: Химия, 1973.-752с.
14. Wen, C. Y. and Y. H. Yu. Mechanics of fluidization // Chem. Eng. Prog. Symp. - 1966. - Series, 62, P.100-106.
15. Хейфец Л.И., Неймарк А.В. Многофазные процессы в пористых средах. - М.: Химия, 1982.-320с.
16. Кунии Д., Левеншпиль О. Промышленное псевдооживление. Перевод с английского. - М.: Химия, 1976. - 448 с.
17. Лукьянов П.И. Аппараты с движущимся зернистым слоем. - М.: Машиностроение, 1973. - 182 с.
18. Литвинов В.Г. Движение нелинейно-вязкой жидкости. - М.: Наука, 1982. - 376 с.
19. Раскин Х.И. Применение методов физической кинетики к задачам вибрационного воздействия на сыпучие среды//ДАН СССР 1975. - т.220, №1, - с.54-57.
20. Математика и САПР: В 2-х кн. Кн.2. Пер. с франц.// Жермен-Лакур П.,Жорж П.Л., Пистр Ф., Безье П. - М.: Мир, 1989. -264 с.
21. Самарский А.А. Введение в теорию разностных схем. - М.: Наука, 1966. - 632 с.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

УДК 534.442:534.78

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЕКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДЛЯ
АВТОМАТИЗАЦИИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Бражник Д.А.

Введение. Использование интеллектуальных систем управления, как в технологических процессах, так и в других областях деятельности на сегодняшний день является доминирующей тенденцией. При решении задач управления на основе анализа информации от телевизионных датчиков, в условиях неопределенности, возникает задача автоматического обнаружения объектов. Одной из сторон данной задачи является анализ сцены, основанный на выделении объектов по изображению. Успешность решения данной задачи во многом определяет эффективность всего алгоритма управления системой.

Современный уровень. Среди множества методов фрагментации изображения, прежде всего, следует выделить методы, основанные на предварительном преобразовании изображения. Среди данных методов Фурье преобразования, преобразование Адамара, Хаара, преобразование Карунена-Лоэва [1], обеспечивающие возможность выделения признаков объектов в сложном изображении, однако данные преобразования требуют значительных ресурсов и также как корреляционные методы [2] чувствительны к свойствам объектов сцены. Существенно более простыми являются проективные преобразования [3], обеспечивающие простоту алгоритма, но склонные к потере информации об объектах сцены. Существенное место среди методов анализа сцены занимают методы, основанные на выделении границ объектов [4] данный подход основан на анализе верхней части спектра и естественно требует дополнительно фильтрации изображения [5]. Таким образом, можно утверждать, что как ретроспектива, так и современные подходы не обеспечивают простоты и универсальности, что обосновывает необходимость дальнейшего анализа данного вопроса.

Цель исследования. Целью данной работы является исследование методов использования проективных преобразований для получения простой процедуры формирования опорной матрицы при дефрагментации изображения сцены.

Теоретическая часть.

Рассмотрим сложное плоское изображение образованное сценой Ω при отсутствии пересечений изображений. В этом случае можно считать, что порожденное изображением, параметрическое поле $\varphi = \varphi(x, y)$ определяется суммой функций, определяющих распределение параметра изображений отдельных объектов $f_i(x, y)$.

$$\varphi(x, y) = \sum_{i=1}^n f_i(x, y). \quad (1)$$

Естественно поле изображения ограничено и, как правило, для современных технических средств это прямоугольная область S . В этом случае допустимыми являются точки

$$(x, y) \in S \leftrightarrow \begin{cases} x_1 \leq x \leq x_2 \\ y_1 \leq y \leq y_2 \end{cases}. \quad (2)$$

Рассмотрим задачу обнаружения заданного эталоном f^* изображения. Решение данной задачи сводится к определению координат x_0, y_0 связанных либо с центром области, либо с координатами характерной точки изображения. Предположим существование процедуры ξ обеспечивающей решение данной задачи. Таким образом, для изображения $f_i(x, y)$ и его эталона $f^*(x, y)$ предполагаем неопределенность координат изображения x_0, y_0 , следовательно, изображение отдельного объекта описывается с точностью до его по-

ложения в поле кадра $f_i = f_i(x + x_0, y + y_0)$. Ищем процедуру определения координат объекта заданного эталоном

$$\xi_j \{ f^*, \varphi, (x, y) \} \leftrightarrow (x_0, y_0) = 0; \quad j = 1, 2, \dots, n \quad . \quad (3)$$

Естественно меру отклонения определить как квадратичную, тогда получаем функцию цели процедуры в виде $\varepsilon^2 = x_0^2 + y_0^2$. С другой стороны следует учитывать, что для сложного изображения существует ограничение правильного выбора функции изображения соответствующей заданному эталону

$$f_i \approx f^* \quad (4)$$

Данное ограничение требует введения меры близости выбранной и эталонной функций. Наиболее просто использовать корреляционную меру, для чего введем нормированную корреляционную функцию $R_{f, f^*}(x_0, y_0)$, что позволит записать ограничение для заданного уровня корреляции в виде $R_{f, f^*}(x_0, y_0) \geq \alpha$.

В таком случае на каждом шаге процедуры ξ решается задача

$$\begin{aligned} x_{0j}^*, y_{0j}^* &\rightarrow \min \varepsilon^2; \\ (x_{0j}^*, y_{0j}^*) &\in S; \\ \alpha - R_{f, f^*}(x_{0j}^*, y_{0j}^*) &\leq 0. \end{aligned} \quad (5)$$

Таким образом, каждый шаг процедуры является решением задачи Лагранжа и при заданном риске второе ограничение переходит в равенство. Ограничение принадлежности точки к области проверяется, как правило, аппаратно и может не рассматриваться. Следовательно, каждый шаг процедуры порождает функцию Лагранжа

$$L(x_{0j}^*, y_{0j}^*, \lambda) = \varepsilon^2 + \lambda R_{f, f^*}(x_{0j}^*, y_{0j}^*). \quad (6)$$

Причем существенным моментом является структура множителя Лагранжа λ в данной задаче. Действительно λ определяет чувствительность функции цели к ограничениям и при наличии в сцене искомого объекта $\lambda \neq 0$

$$\lambda = \frac{\partial \varepsilon^2}{\partial R_{f, f^*}}, \quad (7)$$

при этом выбранная процедура должна базироваться на преобразовании $A\{\varphi, f^*\}$ обеспечивающем чувствительность для любых точек в S

$$\forall (x, y) \in S \mid \lambda \neq 0. \quad (8)$$

Для определения искомого преобразования $A\{\varphi, f^*\}$ рассмотрим входящую в ограничения взаимокорреляционную функцию R_{f, f^*} . Учитывая ограниченность области S , имеем оценку

$$\begin{aligned} R_{f, f^*}(x_0, y_0) &= \frac{1}{\sigma_f \sigma_{f^*}} \iint_S \overset{\circ}{f}(x + x_0, y + y_0) \overset{\circ}{f}^*(x, y) dx dy; \\ \overset{\circ}{f}(x + x_0, y + y_0) &= f(x + x_0, y + y_0) - \frac{1}{\iint_S dx dy} \iint_S f(x, y) dx dy; \\ \overset{\circ}{f}^*(x, y) &= f^*(x, y) - \frac{1}{\iint_S dx dy} \iint_S f^*(x, y) dx dy; \\ \sigma_f &= \sqrt{\iint_S f^2(x, y) dx dy}, \quad \sigma_{f^*} = \sqrt{\iint_S f^{*2}(x, y) dx dy}. \end{aligned} \quad (9)$$

Рассмотрим сечения эталона, что всегда можно выполнить поскольку координаты эталона известны точно

$$f^*_{x'}(x_m, y) = f^*(y, x)_{x=x_m}, \quad (10)$$

$$f^*_{y'}(x, y_m) = f^*(x, y)_{y=y_m}.$$

Предположим, что область интегрирования опирается на начало координат $x_1=y_1=0$, $x_2=x_m$, $y_2=y_m$ и подставив (10) в (9) представим корреляции с сечениями эталона $R_{x f, f^*}$ и $R_{y f, f^*}$ в виде

$$R_{x f, f^*}(x_0, y_0, x_m, y_m) = \frac{1}{\sigma_f \sigma_{f^*}} \int_0^{y_m} f^*_{x'}(x_m, y) \left(\int_0^{x_m} f(x+x_0, y+y_0) dx \right) dy; \quad (11)$$

$$R_{y f, f^*}(x_0, y_0, x_m, y_m) = \frac{1}{\sigma_f \sigma_{f^*}} \int_0^{x_m} f^*_{y'}(x, y_m) \left(\int_0^{y_m} f(x+x_0, y+y_0) dy \right) dx.$$

Собственно в (10) внутренние интегралы определяют проективное преобразование функций изображения на направления осей координат, а полученные оценки корреляций связаны с операцией поиска функции в аддитивной смеси. Огрубив оценку среднего функций изображения постоянным значением M_f , что естественно при усреднении по кадру получаем

$$\tilde{R}_{x f, f^*}(x_0, y_0, x_m, y_m) = \frac{1}{\sigma_f \sigma_{f^*}} \int_0^{y_m} f^*_{x'}(x_m, y) \left(\int_0^{x_m} f(x+x_0, y+y_0) dx - M_f \right) dy; \quad (12)$$

$$\tilde{R}_{y f, f^*}(x_0, y_0, x_m, y_m) = \frac{1}{\sigma_f \sigma_{f^*}} \int_0^{x_m} f^*_{y'}(x, y_m) \left(\int_0^{y_m} f(x+x_0, y+y_0) dy - M_f \right) dx.$$

Рассмотрим особенности проективных преобразований определяемых внутренним интегралом в (12) для сложного изображения $\varphi(x, y)$. В этом случае проекции изображения на направления осей X, Y определяются соотношениями

$$\varphi_x(x_0, y_0, x_m, y) = \int_0^{x_m} \varphi(x, y) dx = \int_0^{x_m} \sum_{i=1}^n f_i(x+x_0, y+y_0) dx; \quad (13)$$

$$\varphi_y(x_0, y_0, x, y_m) = \int_0^{y_m} \varphi(x, y) dy = \int_0^{y_m} \sum_{i=1}^n f_i(x+x_0, y+y_0) dy.$$

Преобразование (13) обратимо и обратным преобразованием для него является операция дифференцирования по верхнему пределу

$$\frac{\partial \varphi_x}{\partial x_m} = \varphi(x+x_0, y+y_0); \quad (14)$$

$$\frac{\partial \varphi_y}{\partial x_m} = \varphi(x+x_0, y+y_0).$$

Существенно, что поскольку эталон не зависит от сдвигов изображения данное преобразование обеспечивает ненулевую чувствительность выбранной функции цели к положению искомого изображения в кадре для любых точек в квадрате x_m, y_m содержащем данную функцию. Таким образом, искомое преобразование $A\{\varphi, f^*\}$ определяется корреляциями между сечениями эталона и проективным преобразованием (13), а собственно

искомая процедура ξ сводится к корреляционному анализу сечений эталона и проекций изображения.

Учитывая, что в большинстве случаев, исходное изображение описывается матрицей получение матрицы проекций F легко выполняется при помощи пары преобразований умножения на проектирующую матрицу I_m имеющую следующую легко программно генерируемую структуру. Пусть матрица изображения C квадратная, тогда проекции на вертикаль выполняются умножением на нижнюю треугольную матрицу I_m соответствующей размерности

$$I_m = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 1 & 1 & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots \end{pmatrix} \quad (15)$$

Тогда используя единичный вектор \mathbf{i}_m матрица проекций может быть получена очень просто $F_Y = CI_m - \mathbf{i}_m^T C \mathbf{i}_m / m^2$ и $F_X = (C^T I_m)^T - \mathbf{i}_m^T C \mathbf{i}_m / m^2$.

Исходя из удобства определения управления при движении в кадре к искомому объекту, квадратную матрицу изображения на четыре подматрицы – левую полуматрицу C_{11} , верхнюю полуматрицу C_{12} , правую полуматрицу C_{21} и нижнюю полуматрицу C_{22} размером $m \times m/2$ и соответственно сформируем треугольные подматрицы проекций F_{y11} , F_{x12} , F_{y21} , F_{x22} таким образом, чтобы полная матрица проекций F_{xy} формировалась как сумма подматриц проекций $F_{xy} = F_{y11} + F_{x12} + F_{y21} + F_{x22}$.

Таким образом, использование проективной процедуры обеспечивает простой алгоритм преобразования и позволяет надеяться на легкость анализа структуры кадра изображения сцены после формирования матрицы проекций.

Экспериментальная часть.

Для проверки теоретических предположений выполнено моделирование в среде MATLAB формирования матрицы проекций и процедуры выделения объекта в сцене.

На рисунке 1а приведено параметрическое поле простейшего изображения и на рисунке 1б приведена его матрица двусторонних проекций.

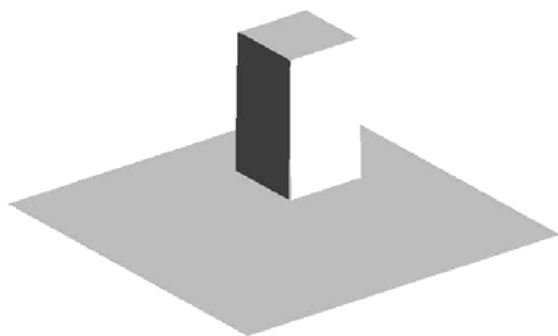


Рис. 1а. Исходное изображение.

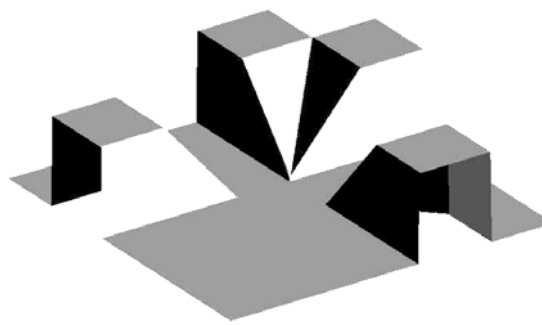


Рис. 1б. Матрица проекций.

Естественно в простейшем случае определение позиции объекта в поле кадра не представляет сложности. Однако естественно для сложных изображений поле проекций усложняется. Так на рисунке 2а приведено изображение на фоне периодической структуры с близкими амплитудами. Однако благодаря сохранению проекции вес сигнала объекта сохраняется на границах кадра, рисунок 2б.

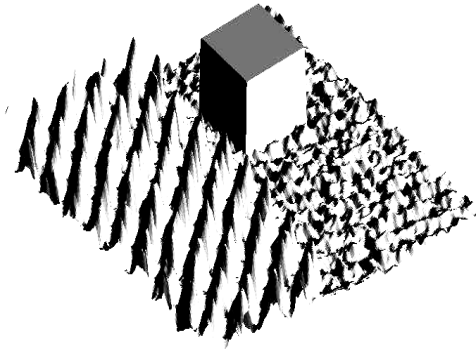


Рис. 2а. Изображение с фоном.

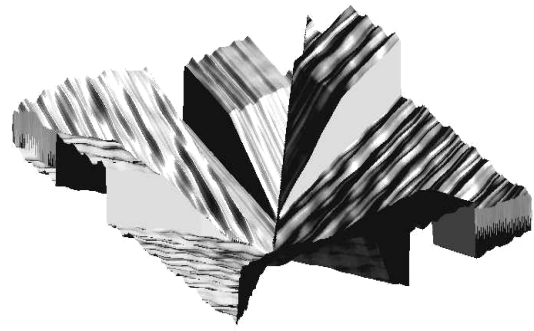
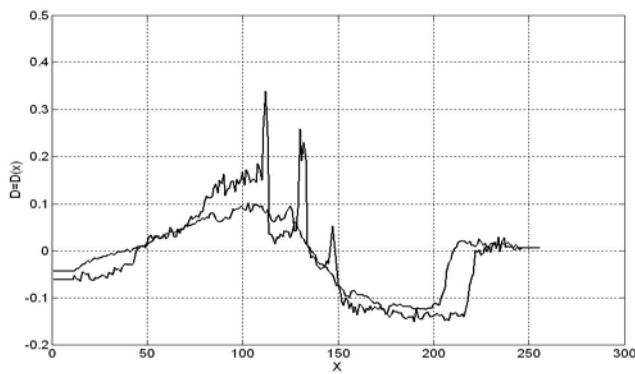
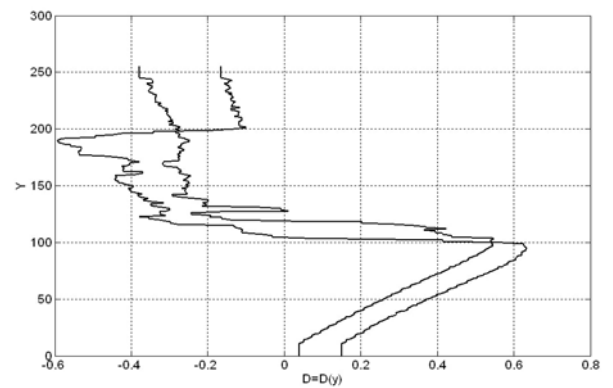


Рис. 2б. Матрица проекций.

Естественно реальные сцены обладают более сложной структурой, тем не менее, информативность матрицы проекций сохраняется и в этом случае. Так для сцены приведенной на рисунке 3в по матрице проекций, рисунок 3г, легко выделить область объекта, рисунок 3д. Так для выделения наиболее крупного объекта в сцене достаточно простой процедуры анализа границ проекций рисунки 3а, 3б выделяя область максимальной корреляции с отрицательным сигналом. На рисунке 3 приведена иллюстрация процесса выделения фрагментов сцены по анализу периферии матрицы проекций.



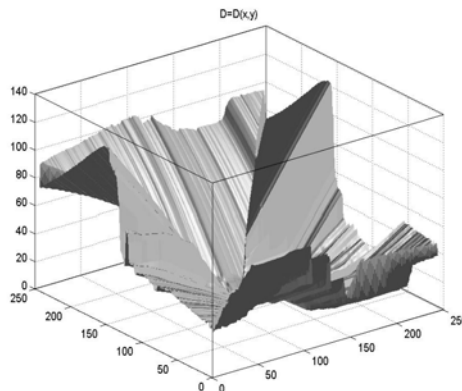
а. Горизонтальное сечение проекции



б. Вертикальное сечение проекции



в. Исходная сцена.



г. Матрица проекций.



д. Выделенный фрагмент.

Рис. 3. Процесс выделения фрагментов сцены.

Собственно приведен пример простой фрагментации на области. Процедура основана на выделении фрагментов относительно среднего значения крайних строк матрицы проекций по строкам и столбцам.

Реализация процедуры не требует длинных операций, что обеспечивает высокую скорость ее выполнения.

Однако существует неявное, но важное обстоятельство – как видно из рисунка 3 движение от любого локального экстремума на функциях сечения матрицы проекций к центру изображения вдоль направления проекции приводит к объекту, вызывающему этот экстремум и чем существеннее экстремум, тем существеннее объект. Таким образом, можно сделать следующие выводы.

Выводы:

1. Использование проективного преобразования сохраняет информацию о исходном изображении.
2. Построение матрицы проекций однократная процедура не требующая длинных операций.
3. Для изображений сложных сцен анализ матрицы проекций позволяет выделить предметные области без использования длинных операций.
4. Рассмотренный метод фрагментации изображения сцены работоспособен для сложных изображений.
5. При решении задачи позиционирования изображения нет необходимости пересчета матрицы проекций.
6. Рассмотренная методика позволяет при анализе сцены оперировать не со всей матрицей изображения, а только с четырьмя строками и столбцами матрицы.
7. Движение от экстремума сечения приводит к объекту, что особенно важно при необходимости быстрого фрагментирования сцены.

Considered formalization of problem to fragmentations at the analysis of expressing a scene. Motivated practicability of shaping matrixes of projections as an instrument of deciding a problem of separation of fragments and their positioning. Brought procedure of fragmenting a scene and results of system modeling.

1. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн.1 –312с., ил.
2. Дж.Ту, Р.Гонсалис. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. Б.Гуревича, под ред. Ю.И.Журавлева – М., :Мир,1978,с. 407.
3. Хорн Б.К.П. Зрение роботов: Пер. с англ. –М.: Мир. 1989.-487с.,-ил.
4. Некорректные задачи в предварительной обработке визуальной информации. М. Бертеро; Т.А. Поджо. ТИИЭР: т. 76, N^o 8, 1988, стр 17-39.
5. Контурна сегментація зображень з використанням вейвлет-аналізу. М.В. Полякова, В.В. Любченко / Сьома всеукраїнська міжнародна конференція «Обробка сигналів і зображень та розпізнавання образів” . Київ 2004р. Ст. 193-198.

УДК 677.019

АЛГОРИТМ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЕФЕКТІВ ТКАНИН ДЛЯ АВТОМАТИЧНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ

Рожков С.О., Федотова О.М.

Вступ. Підвищення економічної ефективності виробничо-господарської діяльності підприємств текстильних виробництв безупинно пов'язане з удосконалюванням процесів виробництва продукції високої якості. Підвищення якості (сортності) випуску тканин, скорочення браку при своєчасному аналізі показників сортності є одним з найважливіших факторів, що визначає величину основних показників економічної ефективності АСУТП розсортовування готової тканини.

На сьогодні при розроблюванні нових інформаційно-вимірювальних систем сучасні засоби обчислювальної техніки дозволяють застосовувати складні алгоритми обробки інформації. Але не завжди можливо використовувати сучасне програмне забезпечення для задач контролю у реальному масштабі часу з-за відсутності спеціальних алгоритмів обробки інформації, особливо це стосується телевізійних систем контролю.

Роботу виконано у рамках науково-дослідної роботи №5.5.11.Б “Підвищення ефективності системи розбракування матеріалів в текстильній та паперовій промисловості за допомогою лазерного пристрою” спільно з ВАТ Український науково-дослідний інститут текстильної промисловості (УкрНДІТП)

Аналіз попередніх публікацій. Система розпізнавання дефектів тканини, структурну схему якої наведено в [1], розробляється як частина АСУТП розбракування тканин. Основні розбіжності в конструкціях систем сканування, які використовують для контролю текстильних полотнин, полягають насамперед в організації сканування [2-4, 7, 9]: пасивне, активне чи змішане.

При цьому системи природно поділяти по типу взаємодії на: оптичні, механічні, кондуктометричні, пневматичні, ультразвукові і так далі.

По елементній базі можна виділити такі системи: телевізійні, лазерні, електромеханічні.

По конструкції вузла, що сканує: з корекцією кута падіння і без корекції.

З іншої сторони, кінцева задача для системи контролю якості є оцінка сортності, що не може бути вирішена без визначення приналежності виявленого дефекту до визначеного класу дефектів (пороків), тобто розпізнавання образів дефектів. При цьому необхідно розробити такий класифікатор системи, що буде здійснювати розпізнавання дефектів тканин у реальному часі.

Класифікація методів розпізнавання. У цей час існує велика кількість найрізноманітніших підходів до завдання розпізнавання, які спричиняють розробку відповідних методів й алгоритмів розпізнавання [2-4]. Найбільш природним підходом до проблеми розпізнавання є структурний підхід, коли розв'язуване завдання осмислюється в термінах, які легко відтворюються уявою людини. У міру усвідомлення складності проблеми розпізнавання структурні методи збагатилися апаратом математичної лінгвістики.

Другий підхід до рішення завдання розпізнавання заснований на моделюванні гіпотетичного механізму людського мислення.

Використання моделі взаємодії зарядів в електричному полі для опису розташування відображень розпізнаваних об'єктів в еталонному просторі сформувало третю групу методів розпізнавання - методи потенційних функцій.

Четвертий підхід до проблеми розпізнавання заснований на ретельному вивченні множин варіацій зображень розпізнаваних об'єктів, на основі яких формуються еталони.

Бажання мати строго поставлене завдання розпізнавання й розуміння того, що поява розпізнаваного об'єкта на вході системи носить імовірнісний характер, сформувало п'ятий - ймовірносно-статистичний підхід до проблеми розпізнавання.

В основі алгоритмів обчислення оцінок (АОО) лежить шостий, дуже природний евристичний принцип, яким часто й охоче користується людина, - прийняття рішень за аналогією, а саме - в аналогічних (або хоча б у подібних) ситуаціях варто діяти аналогічно.

Принцип дії АОО складається в обчисленні пріоритетів (оцінок подібності), що характеризують "близькість" розпізнаваного і еталонного об'єкта (об'єктів) по системі ансамблів ознак, що представляє собою систему підмножин заданої множини ознак. Достойність методів АОО у відсутності твердих вимог до вихідних даних, у якості яких можуть використатися досить різноманітні вимоги, як статистичні характеристики, так і просто ознаки об'єктів, причому не тільки в числовому виді, але також у вигляді логічних і структурних описів або навіть фраз природною мовою.

Практично одночасно з методами АОО було розроблено методи групового обліку аргументів (МГОА) [4], в основі яких лежить алгоритм масової селекції і які спочатку призначалися для моделювання складних систем по невеликому числу експериментальних даних, а потім були поширені для кластеризації, прогнозів і розпізнавання образів.

При відсутності інформації про кількісний розподіл об'єктів у ознаковому просторі, але коли є дані про детерміновані логічні зв'язки між об'єктами і їхніми ознаками, то говорять про восьмий напрямок – логічний підхід до задачі розпізнавання. У цьому випадку причинно-наслідкові зв'язки представляються у вигляді булевих співвідношень, а для визначення приналежності розпізнаваного об'єкта до одному із класів використовуються алгоритми розв'язування булевого рівняння.

Розвиток нових підходів до проблеми розпізнавання виявив, що можна істотно підвищити ефективність розпізнавання, якщо кілька методів об'єднати у своєрідний колектив. У цьому випадку ідея колективного рішення застосовується до колективу алгоритмів - дев'ятий напрямок рішення завдання розпізнавання.

Десятим напрямком розвитку методів розпізнавання можна назвати велику групу прикладних методів, які розробляються для розпізнавання добре описаних образів у твердій відповідності з технічною реалізацією блоку зчитування й формалізації ознак розпізнавання. В основному, це методи для розпізнавання символів і знаків за допомогою читаючих автоматів або для сортування штучних виробів на конвеєрах [7]. Найбільше поширення одержали методи зондів, фрагментів, матричного зіставлення, квазітопологічний метод і метод оптичних масок.

На рис.1 показано загальну класифікацію методів розпізнавання.

Доцільно припустити, що для класифікації дефектів тканин деякі групи методів розпізнавання не будуть представляти інтересу.

Прикладні методи розпізнавання не сполучаються в апаратному рішенні з лазерною системою автоматичного розбраковування тканин, для якої розробляється класифікатор, і не можуть бути використані. Ці методи, по суті, відбивають способи формування ознак вхідних зображень. Безпосередня процедура класифікації при цьому відбувається або по виділенню максимального сигналу, або по одному з наведених у класифікації теоретичних методів розпізнавання.

При використанні АОО необхідно мати кілька працюючих алгоритмів і математичний апарат систематичного вибору алгоритму і існує кілька причин для відмови від цієї групи методів, наприклад, складність побудови системи підмножин ознак розпізнаваних об'єктів, ефективність якої визначається в процесі розпізнавання.

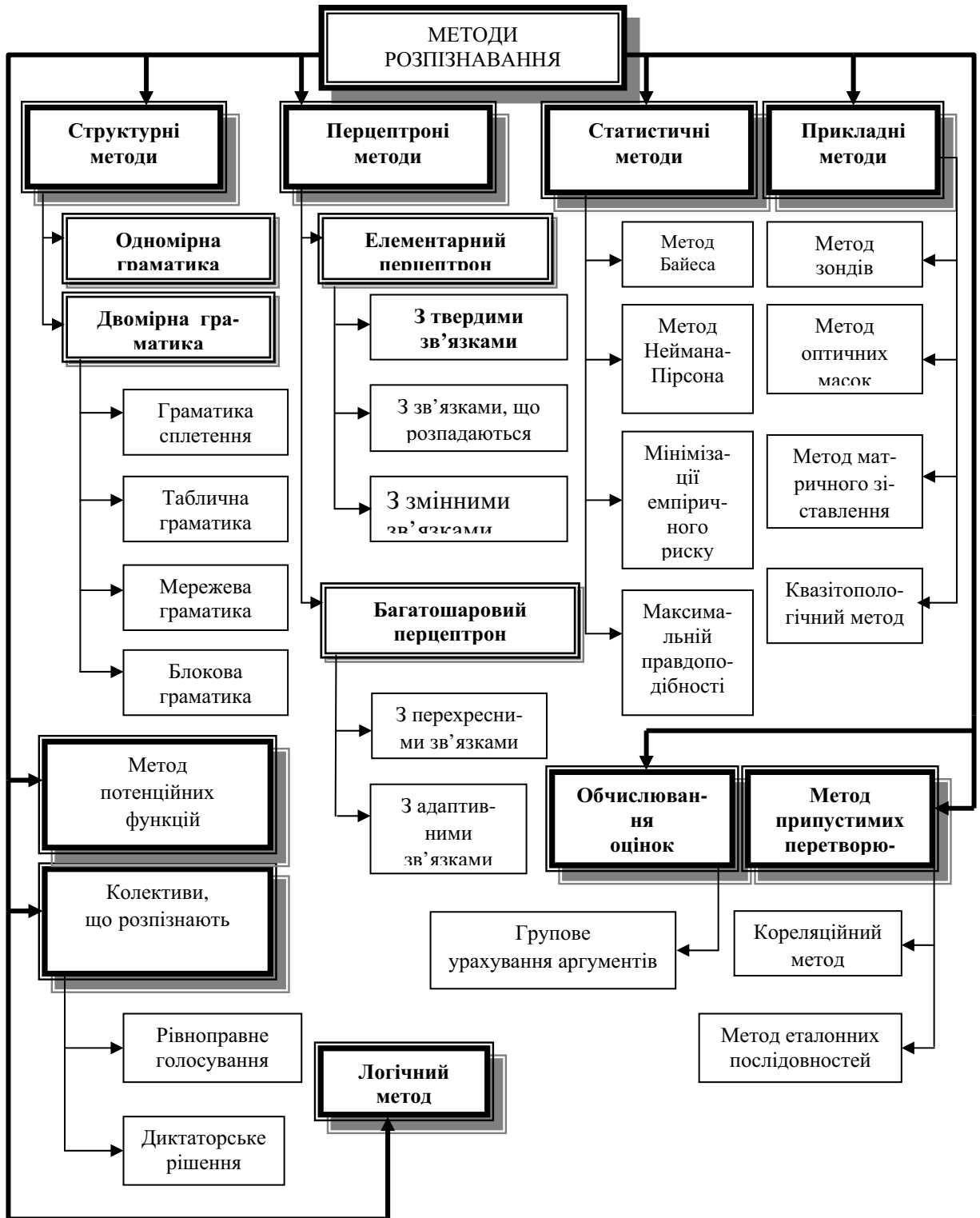


Рис.1 Класифікація методів розпізнавання

Як наведено в [1], завдання формування ознакового простору, складання робочого словника ознак, навчання й розпізнавання неможливо вирішувати окремо друг від друга. Крім того, складність полягає в тому, що різні відомі алгоритми розроблялися для конкретних умов і при зміні умов працюють не оптимально. Через відсутність відомих працюючих алгоритмів для розпізнавання об'єктів з умовами, схожими на розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду тканин, необхідно відмовитися і від методу колектива алгоритмів, незважаючи на те, що даний метод може працювати в системі з навчанням.

Методи групового обліку аргументів (МГОА), в основу яких покладений принцип самоорганізації, останнім часом успішно застосовуються для рішення багатьох практичних завдань. Суть принципу самоорганізації полягає в тому, що при поступовому ускладненні математичної моделі (у міру обробки вхідного потоку об'єктів) окремі її елементи перевіряються відповідно до деяких критеріїв, що володіють властивостями зовнішнього доповнення, і вже після цього частина з них відбирається для подальшого уточнення загальної моделі. Уточнення моделі триває доти, поки критерій зовнішнього доповнення не досягне глобального мінімуму [2].

У цей час існує багато варіантів МГОА, які створюють три напрямки: методи селекції, переборні методи і ітераційні методи. Але теоретичне пророблення МГОА не достатнє, розробляється головним чином на основі численних експериментів і має безліч обмежуючих особливостей. Тому що задачу розпізнавання дефектів тканин не можна віднести до завдань з невеликим числом експериментальних даних [7], немає необхідності організувати процес самонавчання системи розпізнавання, використовуючи при цьому складний, занадто формалізований апарат методів МГОА.

Постановка методу потенційних функцій досить формальна і до цього методу можна звести багато відомих алгоритмів розпізнавання [2,7]. При використанні методу потенційних функцій у процесі навчання системи з кожним зображенням зв'язується деяка функція, задана на всьому просторі. Всієї навчальної послідовності відповідає послідовність потенціалів, що за допомогою певних правил використовується для побудови поділяючої функції, а величина потенціалу вхідного зображення служить мірою видалення розпізнаваного зображення від центра еталонної області.

Достоїнством методу потенційних функцій є те, що його можна застосовувати в ознаковому просторі будь-якої розмірності. Однак істотним недоліком даного методу є невідомість виду класу потенційних функцій. Даний метод можна віднести до евристичних, тому що вид потенційних функцій і чисельні коефіцієнти, що характеризують рекурентну процедуру навчання, вибираються на підставі інтуїції й досвіду людини. Використання цього методу пов'язано з усуненням багатьох невизначеностей, що приводить до значних витрат ресурсів.

Метод припустимих перетворень ефективно працює при рішенні досить широкого кола завдань, наприклад, для розпізнавання мовних сигналів [2, 4]. Найбільше поширення із всієї групи методів припустимих перетворень одержав кореляційний метод, що складається в обчисленні коефіцієнта кореляції кожного нового об'єкта з вибірковими середніми кожного класу, що не представляє технічної складності. Але за допомогою кореляційного методу неможливо побудувати поділяючу границю нелінійної форм, тому що дефекти зовнішнього вигляду тканин не являють собою компактні непересічні множини. Цей метод так само варто виключити.

З погляду поділу пересічних класів може бути цікавий логічний метод, застосування якого показане на конкретному прикладі визначення шаруватої структури геологічного розрізу за даними сейсморозвідки в роботі [7].

Перцептронні методи розпізнавання зображень ґрунтуються на моделюванні процесу людського мислення [5, 6]. При використанні перцептронних методів здається цікавим і перспективним перцептронний метод з адаптивними зв'язками, але немає відомостей про реалізації цього методу, що характеризується цікавими для практичного впровадження результатами, крім того, "стиль" і "мова" перцептрона настроєна для розпізнавання однотипних по топології об'єктів. Оскільки топологія дефектів зовнішнього вигляду тканин не однотипна, перцептронні методи розпізнавання не забезпечать ефективного поділу дефектів полотна тканин.

Найбільш широке застосування одержали статистичні методи розпізнавання, в основі яких лежить теорія статистичних рішень. Саме цей метод доцільно вибрати для розпізнавання дефектів зовнішнього вигляду тканин, тому що дефекти носять явно імовірнісний характер, що залежить від природного процесу виробництва тканин.

Постановка задачі. При формуванні словника робочих ознак алгоритм функціонування системи побудований на основі адаптивного алгоритму з навчанням [1].

Обґрунтований вибір словника робочих ознак, які описують простір $R(X_1, X_2, X_3, X_4)$ на основі геометричної інтерпретації перетворення ознакового простору, дозволяє краще розділити вихідні класи, де використано наступні параметри: 1) знак, що характеризує стоншення полотна (); 2) розмір дефекту по ширині (X_1); 3) орієнтація дефекту відносно початку координат (X_2); 4) довжина радіуса-вектора дефекту (X_3); 5) площа області дефекту (X_4).

У роботі ефективність ознак оцінювалася в порівнянні апостеріорних імовірностей, яка визначалася по результату моделювання процесу розпізнавання всіх об'єктів навчальної вибірки з використанням байесових поділяючих границь [5].

За результатами моделювання сформована матриця достовірного розпізнавання:

$$D_j = \begin{pmatrix} d_{11} & \dots & d_{1k} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ d_{k1} & \dots & d_{kk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

де d_{ii} - коефіцієнти, що характеризують прийняття вірного рішення; d_{ij}, d_{ji} - коефіцієнти, що характеризують прийняття неточного рішення; k - кількість класів.

Апостеріорна ймовірність правильного розпізнавання визначається:

$$P(X_j) = \frac{\sum_{i=1}^k d_{ii}}{\sum_{i=1}^k k_{pi}} \quad (2)$$

де k_{pi} - кількість дефектів у вихідному i -класі $i=1...16$; x_j - ознака, по якому проводиться моделювання процесу розпізнавання, $j=1...4$.

Розраховані по залежності (2) апостеріорні імовірності для ознак x_j ($j=1...4$) склали:

$$P\{w/x_1 = x\} = 0.36;$$

$$P\{w/x_2 = \text{sign } x * x/y\} = 0.62;$$

$$P\{w/x_3 = \text{sign } x * \text{sqr}(x^2+y^2)\} = 0.41;$$

$$P\{w/x_4 = \text{sign } x * xy\} = 0.40.$$

Основна частина. Особливість алгоритму укладається у відмові від довгих операцій і забезпечення за цей рахунок достатньої швидкодії системи при роботі в режимі реального часу.

Моделювання процесу розпізнавання показало [1], що досить впевнений поділ вхідних потоків дефектів різних класів відбувається в просторі $R^4=(X_1, X_2, X_3, X_4)$.

Але процес розпізнавання дефектів в умовах виробництва повинен здійснюватися в реальному масштабі часу і неможливо організувати процес обчислення ознак x_2, x_3 і x_4 без порушення зазначеної вимоги.

Таким чином, виникає необхідність формування робочих ознак, які характеризували б орієнтацію і площу дефектів, але при цьому операції розподілу і множення, які вимагають значного часу, не повинні використовуватися.

Відповідно, і ознаки геометричних розмірів дефектів не формуються системою знімання інформації з поля сканування.

На рис. 2 показано сканування одиночного текстильного дефекту.

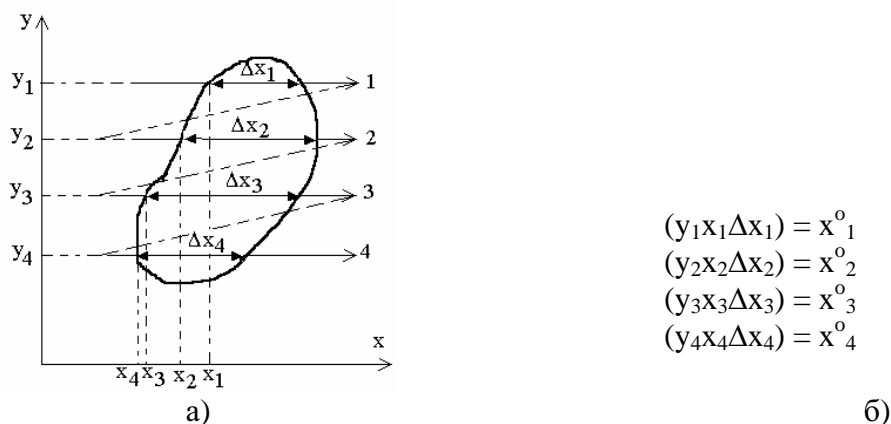


Рис. 2 Сканування одиночного дефекту

- а) дефект у поле сканування;
 б) подання дефекту в параметрах знімання інформації в результаті сканування

Кожен прохід лучу, що сканує, формує компоненту вектора дефекту:

$$\mathbf{x}^{\circ}_i = (y_i, x_i, \Delta x_i),$$

де y_i - розташування даної точки дефекту відносно початку перегляду тканини по довжині, x_i - відстань границі дефекту від початку зони сканування, тобто розташування дефекту по ширині зони, Δx_i - ширина дефекту.

Повний вектор опису дефекту \mathbf{x}° для випадку на рис. 2 буде мати вигляд:

$$\mathbf{x}^{\circ}_i = (\mathbf{x}^{\circ}_1, \mathbf{x}^{\circ}_2, \mathbf{x}^{\circ}_3, \mathbf{x}^{\circ}_4)$$

На рис. 3 показано ситуацію, коли в полі сканування перебувають одночасно декілька дефектів (два).

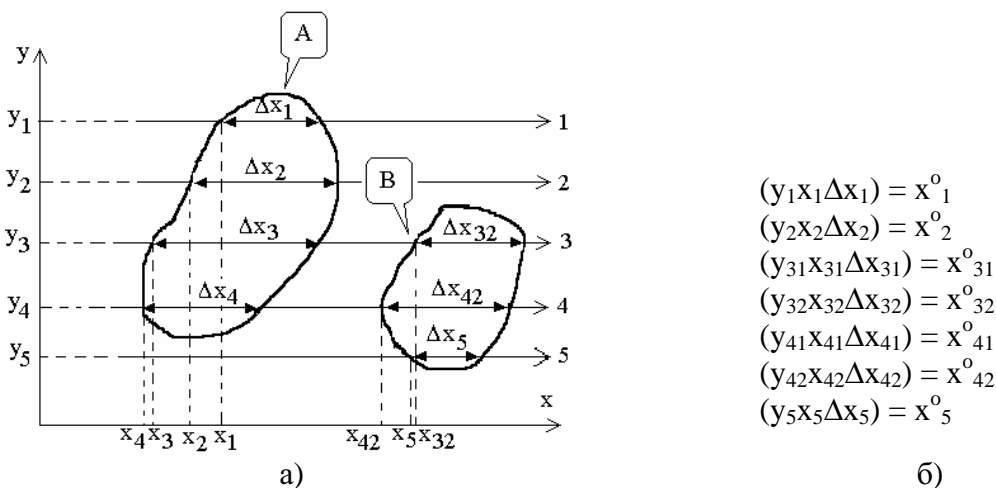


Рис. 3 Одночасне сканування двох дефектів А і В

- а) дефекти в полі сканування;
 б) подання параметрів дефектів у результаті сканування.

Якщо системи параметрів y_i , x_i , Δx_i фіксуються апаратно, то вектора станів \mathbf{x}°_j необхідно формувати програмними методами, тому що розробка апаратних блоків для "зборки" векторів дефектів \mathbf{x}°_j значно ускладнило б конструкцію системи розпізнавання.

Для програмного формування векторів \mathbf{x}°_j розроблено відповідні підпрограми.

Процес формування еталонів \mathbf{Y} показано в [1]. Далі навчена система розпізнавання здійснює класифікацію вхідних об'єктів у зворотному напрямку - через функції ϕ і f . По

описах об'єктів спостереження Y^* на підставі еталонів Y робиться вивід про сутність образу X :

$$X_{ij} = \psi(X^*_{ij}, z), \quad X_{ij} = f_b(Y^*_{ij}, z) = f_b(\varphi_i(Y_j)), \quad (3)$$

де f - функція породження ідеального зображення X^*_{ij} на основі об'єкта спостереження Y^*_{ij} ; φ - функція аналізу об'єкта спостереження Y^*_{ij} щодо еталона Y_j .

Тому що процес формування еталонів Y здійснювався по методу максимального інваріанта, що враховує зашумленність зображень у поле сканування X^* , запис процесу класифікації можна спростити:

$$X_{ij} = f_b(Y^*_{ij}) = f_b(\varphi_i(Y_j)). \quad (4)$$

Тут під функцією аналізу об'єктів φ_i варто розуміти процес формування ознак спостережуваного дефекту Y^* відповідно до структури еталона Y ; під функцією f_b варто розуміти процес співвіднесення опису $Y^*_{ij} = (M_C, M_T, x, y)$ (M_C – маска сигналу, M_T – маска топології) з еталонном $Y_j = (M_{Cj}, M_{Tj}, x_{jmin}, x_{jmax}, y_{jmin}, y_{jmax})$. Наявність параметра відображення β , що заважає, може виразитися в невідповідності $Y^* \rightarrow Y$. Природно, що множина еталонів Y повинна формуватися в просторі цих же координат. Але оскільки ознаки M_C і M_T мають по кілька дискретних рівнів, вихідний 4-х мірний еталонний простір значно розширюється: $R^Y = R^X \cdot R^Y \cdot R^{M_T} \cdot R^{M_C} = R^1 \cdot R^1 \cdot R^{20} \cdot R^7 = R^{142} = 142$.

Отримана розмірність еталонного простору характеризує загальний випадок, коли всі значення ознак M_C і M_T мають місце.

Таким чином, завдання класифікації полягає у тому, щоб для вхідного дефекту $\omega_i = X_i = (x, y, \text{sign } x)$ сформуувати вектор $Y^*_i = (M_C, M_T, x, y)$ і визначити область еталонного простору $R^Y = 140R^4 \dots R^{142}$, відповідному еталону $Y_j^k Y_j Y$, що є елементом матриці A_j .

При скануванні вхідного дефекту кожен прохід променя лазера системи, що сканує, формує сигнал, параметри якого за допомогою програми, що перериває, заносяться в програмну буферну область озу рядка дефектної області (ДО) у форматі:

-Yст -Ycp -Yмл -dx -Xст -Xмл -КС -Б -НК

де $Y = (Y_{ст} Y_{cp} Y_{мл})$ - розташування дефекту відносно початку шматка тканини в мм;
 Y_{cp} - сотні мм, $Y_{ст}$ - десятки мм, $Y_{мл}$ - одиниці мм;
 dx - ширина зафіксованого дефекту (тривалість імпульсу зчитування);
 $X = (X_{ст} X_{мл})$ - розташування дефекту відносно підзони сканування в мм;
 $X_{ст}$ - десятки мм, $X_{мл}$ - одиниці мм;
 $КС$ - код сигналу, що характеризує рівень амплітуди;
 $Б$ - база рядка, є робочою точкою для фіксації проміжних станів обробки. (При зчитуванні сигналу дефекту вона заповнюється ознакою FF. Якщо зчитування закінчилося, у базі чергового рядка записується ознака 00);
 $НК$ – номер каналу, по якому отримана інформація про дефект (записується в молодшому напівбайті позиції).

Один рядок дефектної області відповідає інформації, отриманої при одному проході променя сканування через 1мм. Тому що потік вхідних дефектів може бути безперервним і процес сканування здійснюється послідовно, інформація однієї дефектної області може характеризувати кілька дефектів.

Обробка ДО здійснюється за допомогою допоміжних підпрограм, де для визначення кількості рядків ДО використовується своя підпрограма, у якій підрахунок рядків виконується від кінця ДО нагору із присвоюванням рядку відповідного номера.

У таблиці 1 наведено приклад інформації дефектної області, що записана в програмному буфері і яка характеризує дефекти, що пройшли по другій, третій і четвертій зонах сканування.

Таблиця 1

Інформація дефектної області, що записана в програмному буфері

Yст	Yср	Yмл	dx	Xст	Xмл	KC	Б	Б	NK	Номер рядка
00	62	12	03	00	A7	7F	FF	FF	13	0A
00	62	14	06	00	22	AF	FF	FF	13	09
00	62	16	07	00	C0	AF	FF	FF	13	08
00	62	17	01	00	01	FB	FF	FF	12	07
00	62	20	04	00	3B	F5	FF	08	12	06
00	62	22	03	00	3C	F5	FF	06	12	05
00	62	24	01	00	10	FA	FF	0A	14	04
00	62	26	01	00	85	F5	FF	FF	14	03
00	62	27	03	00	84	F7	FF	03	14	02
00	62	29	02	00	84	F7	FF	02	14	01
00	62	31	12	00	F2	FF	00	00		KD

Підпрограма трасування вертикалі, що заснована на методі сортування по купчастості параметра X (XстXмл), формує траси, що ставляться до єдиного дефекту. Послідовність траси визначається шістнадцятковим номером, що ставиться в базі рядка і указує номер рядка, що обробляється наступної.

У затемненому стовпчику таблиці показано, як змінилася інформація дефектної області після трасування. Перша траса: рядки 1,2,3; друга траса: рядки 4,A; третя траса: рядки 5,6,8; рядки 7,9 по своїх параметрах не ввійшли в жодну трасу.

Зборку вертикальних дефектів з окремих рядків ДО здійснює підпрограма обробки вертикалі, яка відбувається при прямуванні бази по рядках дефектної області знизу нагору.

У результаті трасування першого рядка траси формується вертикальний дефект (маска вертикалі). Маска являє собою запис 0X, де X - номер каналу, по якому зафіксований корисний сигнал.

Формування вертикалі відбувається перебором рядків дефектної області, послідовність яких визначається послідовністю послань, проставлених у крапках бази строк. Траса триває доти, поки в базі попереднього рядка є посилення на наступну трасу. Зборка вертикалі закінчується в тому випадку, якщо замість посилення в крапці бази оброблюваної строки стоїть код FF, що характеризує кінець траси. Для кожного підбраного для вертикального дефекту рядка перевіряється збіг траси шляхом сполучення маски траси зі станом каналу рядка, що перевіряється. Якщо знайдений рядок збігається з маскою даної траси, він обробляється.

Якщо має місце випадок, коли другий рядок траси є останній і не збігається по масці вертикалі з першим рядком, то другий рядок, природно, не обробляється, при цьому в першому рядку відновлюється код сигналу і у позиції бази рядка відновлюється FF. Таким чином, обидва рядки залишаються в дефектній області для подальшої обробки.

У результаті відпрацювання підпрограми обробки вертикалі з інформації ДО виділені два вертикальних дефекти: рядки 1, 2, 3 (перша траса) сформували дефект X_1 з геометричними параметрами: $x_1 = \max_i x_i = 03$, $y_1 = \max_i y_i - \min_i y_i = 03$, $i=1...3$.

Рядки другої траси (4,А) не підійшли друг до друга, тому що характеризують сигнали, отримані від різних зон сканування.

У третій трасі рядок 8 так само не збігся по масці вертикалі з рядками 5 і 6, але останні сформували дефект X_2 з геометричними параметрами: $x_2 = \max_j x_j = 04$, $y_2 = \max_j - \min_j = 02$, $j=5, 6$.

Параметр M_T - маска топології, для вертикальних дефектів установлюється рівним 40. Параметр M_C - маска амплітуди сигналу, установлюється залежно від співвідношення сигналів, отриманих при скануванні всіх рядків, що входять у дефект.

Таким чином, для двох дефектів дефектної області вектора $Y_i^* = (M_C, M_T, x, y)$:

$$Y_1^* = (02,40,03,03), Y_2^* = (03,40,04,02).$$

Відповідно до алгоритму, інформація дефектної області передається на обробку підпрограми обробки горизонталі, що повинна обробити рядки що залишилися (ДО 4,7,8,9 і А).

Тому що перегляд рядків дефектної області здійснюється знизу, першим обробляється рядок 4. Пошук другого рядка, який потрібно обробляти, відбувається шляхом перебору наступних рядків.

Рядки 5, 6 пропускаються, тому що вони вже оброблені, про що свідчить ознака 00 замість КС (коду сигналу).

Наступний рядок 7 перевіряється на відповідність рядку 4 по параметрах dY суміжне і dX суміжне (параметри розташування на полотні тканини сусідніх рядків єдиного дефекту).

Якщо $dY_{cm} \leq 3$ мм, вважається, що рядки описують загальний дефект.

Параметр dX_{cm} визначається в тому випадку, якщо сигнали рядків пройшли по тому самому каналу, або по сусідніх каналах:

$$dX_{cm} = C8 - X_i + X_j, \text{ якщо } i-j \leq 1; dX_{cm} = X_{max} - X_{min}, \text{ якщо } i=j.$$

де i, j - номери зон сканування (каналів).

dX_{cm} припустиме = $64H = 1/2$ зони сканування.

Якщо $i-j > 1$, вважається, що розглянуті рядки описують різні дефекти.

Для рядків 4 і 7 $dY_{cm} = Y_4 - Y_7 = 6224 - 6217 = 7$ мм, і рядки характеризують дефекти, що пройшли не по сусідніх зонах сканування. Тому рядок 4 характеризує окремий крапковий дефект із параметрами: $Y_3^* = (M_C, M_T, x, y) = (08,41,01,00)$

Підпрограма обробки горизонталі продовжує компонування дефекту аналізом відповідності по dX_{cm} і dY_{cm} рядків 7 і 8, 8 і 9, 9 і А:

$$dY_{cm78} = Y_7 - Y_8 = 6217 - 6216 = 1 \text{ мм}$$

$$dY_{cm89} = Y_9 - Y_8 = 22h - 07h = 15h \text{ мм}$$

$$dY_{cm78} = C8h - C0h + 07h = 07h \text{ мм}$$

$$dY_{cm9A} = Y_9 - Y_A = 6214 - 6212 = 2 \text{ мм}$$

$$dY_{cm89} = Y_8 - Y_9 = 6216 - 6214 = 2 \text{ мм}$$

$$dY_{cm9A} = Y_A - Y_9 = A7h - 22h = 85h \text{ мм}$$

Як видно, рядки 7, 8, 9 описують четвертий дефект ДО з параметрами: $Y_4^* = (M_C, M_T, x, y) = (06,05,08,03)$.

Тому що дефект Y_4^* проходив по суміжних зонах сканування, параметр X отриманий у такий спосіб: $X_4 = \max_i x_i + \max_j x_j = 07 + 01 = 08$

Рядок А не скомпоновано із попередніми рядками, що характеризує ще один крапковий дефект із параметрами: $Y_5^* = (01,41,03,00)$.

У такий спосіб відбувається обробка інформації ДО і компонування векторів $Y_i^* = (M_C, M_T, x, y)$, які надходять на вхід класифікатора.

Далі у таблиці 2 наведено приклад дефектної області, яку виділено з двох вертикальних дефектів.

Таблиця 2

Стан дефектної області після виділення двох вертикальних дефектів Y_1^* , Y_2^*

Yст	Ycp	Умл	dx	Xст	Xмл	КС	Б	НК	Номер рядка
00	62	12	03	00	A7	7F	FF	13	0A
00	62	14	06	00	22	AF	FF	13	09
00	62	16	07	00	C0	AF	FF	13	08
00	62	17	01	00	01	FB	FF	12	07
00	62	20	04	00	3B	00	08	12	06
00	62	22	03	00	3C	00	06	12	05
00	62	24	01	00	10	FA	0A	14	04
00	62	26	01	00	85	00	FF	14	03
00	62	27	03	00	84	00	03	14	02
00	62	29	02	00	84	00	02	14	01
00	62	31	12	00	F2	FF	00		КД

Підпрограма класифікатора здійснює безпосередню класифікацію вхідних дефектів Y_i^* шляхом послідовного порівняння компонентів вектора Y_i^* з параметрами безлічі еталонів Y .

Випробування класифікатора автоматичної системи розбраковування тканин проводилися одночасно з визначенням працездатності основних вузлів системи з метою з'ясування застосовності розробленої автоматичної системи розбраковування тканин у виробничих умовах.

При випробуваннях використався рулон тканини, що складає із двох зшитих шматків полотен різного артикула, з реальними виробничими дефектами.

Контроль процесу навчання проводять для визначення швидкості навчання системи розпізнавання, що виражається кількістю кроків навчання. Якість сформованого при цьому еталонного простору визначається ймовірністю контрольного розпізнавання.

Перед випробуваннями знищувалася вся інформація, яка була накопичена системою розпізнавання раніше. Процес навчання проводився в наступному порядку:

- системі багаторазово пред'являли той самий дефект доти, поки система на починала його розпізнавати;
- повторювали зазначену процедуру навчання для всіх наступних дефектів того ж підкласу;
- системі пред'являли по черзі, один за іншим, всі дефекти, на основі яких формується еталонний простір даного підкласу, і оцінювали ймовірність правильного розпізнавання цих дефектів, при цьому при необхідності проводили коректування еталонної області підкласу;
- якщо проводилося коректування еталонної області, процедура попереднього пункту повторювалася;
- формування еталонної області підкласу вважалось закінченим, якщо система розпізнавала з ймовірністю не менш 0.9 всі пропоновані їй дефекти даного підкласу;
- описана процедура повністю повторювалася для наступного підкласу даного класу дефектів;
- контрольне розпізнавання всіх використовуваних при навчанні дефектів проводилося після формування еталонної області кожного підкласу.

Укрупнену блок-схему класифікатора показано на рис. 4.

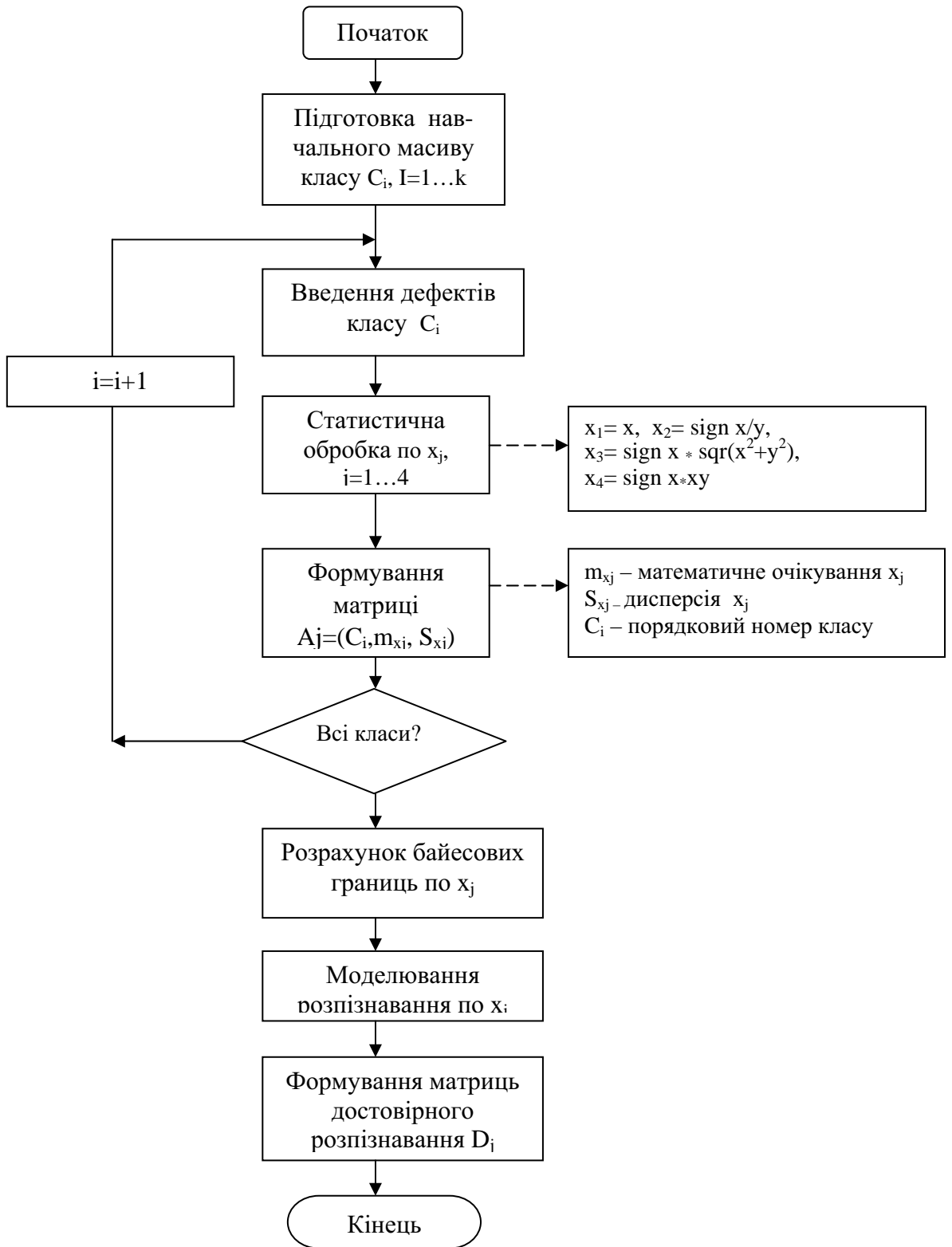


Рис. 4 Блок – схема алгоритму одноетапного процесу розпізнавання

У процесі навчання формувалася еталонний простір для п'яти класів дефектів, що найбільше часто зустрічаються: "зліт по утоку", "діра", "стовщена нитка", "вузлик" і "складка", Контрольний масив, що навчає, складався з 58 дефектів.

У таблиці 3 показані результати контролю побудови еталонного простору класифікатора автоматичної системи розбракування тканин.

Результати контролю процесу навчання

№ п/п	Найменування класу і підкласу	Кількість дефектів	Кількість кроків навчання	Імовірність контрольного розпізнавання	№ п/п	Найменування класу і підкласу	Кількість дефектів	Кількість кроків навчання	Імовірність контрольного розпізнавання
1.	Зліт по утоку				4.	Стовщена нитка			
	Зліт 1-1	8	11			Ст. нитка 1-1	4	25	
	Зліт 2-1	5	09			Ст. нитка 2-1	2	11	
	Зліт 3-1	3	14						
	Зліт 4-1	4	6						
		Σ20	Σ 40	0,9			Σ6	Σ36	1,0
2.	Діра				5.	Вузлик			
	Діра 1-1	5	22			Вузлик 1-0	17	3	
	Діра 2-1	4	26						
	Діра 3-1	3	16						
			Σ 12	Σ 64		0,92			Σ 17
3.	Складка	1	9						
	Складка 1-1	2	15						
	Складка 2-1								
			Σ 3	Σ 24	1,0				

Як видно з аналізу таблиці 3, система розбраковування піддається процесу навчання. Швидкість формування еталонного простору при цьому не велика, вся процедура навчання склала 167 кроків.

Виводи

Відмова від довгих операцій в алгоритмі розпізнавання забезпечує достатню швидкодію системи розпізнавання дефектів в умовах виробництва при роботі в режимі реального часу.

З теоретичної точки зору результати випробувань характеризують збіжність (ефективність) розробленого алгоритму розпізнавання. Із практичної точки зору результати відповідають можливості навчання системи у виробничих умовах.

Обраний словник робочих ознак дозволяє використовувати його при класифікації дефектів зовнішнього виду полотна тканин.

Суттєве збільшення імовірності правильного розпізнавання можливо при використанні адаптивного алгоритму побудови розділювальних границь довільної форми.

The questions of automatic control for recognizing of defects of textile materials are discussed.

1. Рожков С.А., Федотова О.Н. Алгоритм обучения системы распознавания автоматической системы разбраковки тканей. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. -2005. -№ 2(16), С. - .

2. Генкин В.Л., Ерош И.Л., Москалев Э.С. Системы распознавания автоматизированных производств. Л., Машиностроение, 1988.

3. 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. отд-ние, 1988. –424 с.

4. Рожков С.О., Тернова Т.И., Єдинович М.Б. Проблемы автоматизованого розбракуння тканей. Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины –2004. №2(9), С. 208-215.

5. Дж. Ту, Р. Гонсалес. Принципы распознавания образов. Пер. с англ. И.Б.Гуревича, под ред. Ю.И. Журавлева - М.: Мир, 1978, -407 с.

6. Рожков С.А., Бражник Д.А. Использование нейросетевых структур для построения систем распознавания образов. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. -2004. -№ 2(14), С. 247-253.

7. Катус Г.П. Восприятие и анализ оптической информации автоматической системой. – М.: Машиностроение, 1986.-416 с.

8. ГОСТ 161-86 "Ткани хлопчатобумажные, смешанные и из пряжи химических волокон. Определение сортности".

9. А.с. 1839510 /СССР/ Устройство для обнаружения дефектов движущегося полотна ткани с печатным рисунком. /Авт. изобрет. С.А.Рожков., К.В.Тимофеев, А.П. Храпливый, А.М. Бражник -Заявл. 19.12.89. № 4771927/12; д.с.п., D06H3/08.

МУЛЬТИФРАКТАЛЬНЫЙ МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО РАСПОЗНАВАНИЯ ПОМЕХ НА ИЗОБРАЖЕНИИ

Полякова М.В., Крылов В.Н.

Постановка проблемы. Автоматизированные системы обработки и распознавания изображений в медицинской диагностике, производственном контроле, радиолокации, астрономических и биологических исследованиях часто сталкиваются с необходимостью обработки зашумленных изображений. Основными источниками шума на цифровом изображении являются процесс передачи изображения, а также процесс его получения (оцифровка) [1]. Работа датчиков зависит от их качества и от различных внешних факторов в процессе видеосъемки. Например, при оцифровке изображения с помощью матрицы приборов с зарядовой связью основными факторами, определяющими величину шума, являются уровень освещенности и температура датчиков. При передаче изображений помехи возникают и в каналах связи.

Диапазон шумов, встречающихся при обработке изображений, достаточно широк [1, 2]. Например, при статистическом моделировании собственных шумов датчиков, которые возникают из-за недостаточного освещения и/или высокой температуры, в большинстве случаев используется аддитивная гауссовская модель с плотностью вероятности шума

$$p(I) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-(I-a)^2 / 2\sigma^2}, \quad (1)$$

где I — значение интенсивности изображения, a, σ — параметры распределения.

Импульсный шум возникает, когда в процессе получения изображения имеют место быстрые переходные процессы, например, неправильная коммутация. При моделировании импульсного шума значение интенсивности каждой точки изображения с вероятностью P_a заменяется на значение a , с вероятностью P_b — на значение b и с вероятностью $1-(P_a+P_b)$, где $P_a+P_b \leq 1$, остается неизменной. Плотность вероятности импульсного шума

$$p(I) = P_a \delta(I-a) + P_b \delta(I-b), \quad (2)$$

где $\delta(\bullet)$ - δ -функция.

В системах, использующих естественное освещение, часто возникают пространственные изменения освещенности, которые являются причиной мультипликативной помехи на изображении. Она моделируется операцией

$$I(x, y) = I_0(x, y)R(x, y), \quad (3)$$

где $I(x, y)$ — полутоновое изображение, $I_0(x, y)$ — отражающая способность объекта, $R(x, y)$ — освещенность объекта, x, y — пространственные координаты. Для того чтобы структура и оценки параметров системы автоматизированной идентификации шума были обоснованными, необходимо выбрать модель помеховой ситуации. С учетом шумовых факторов в [1] статистическая модель изображения $I(x, y)$ представляется как $I(x, y) = \{I_0(x, y), R(x, y), N(x, y), T(x, y)\}$, где $I_0(x, y), R(x, y)$ определяются формулой (3), $N(x, y)$ — аддитивный гауссовский шум с плотностью вероятности (1), $T(x, y)$ — импульсная помеха с плотностью распределения (2). Т. к. на объект, прежде всего, воздействует освещенность, а затем он подвергается воздействию датчиков, то собственные шумы датчика и переходные процессы получения изображения вызывают гауссовский и импульсный шум на неравномерно освещенном изображении, которое описывается произведением отражающей способности объекта и его освещенностью $I_0(x, y)R(x, y)$. Тогда статистическую модель помеховой ситуации, которая используется в данной работе, представим в виде:

$$I(x, y) = I_0(x, y)R(x, y) + N(x, y) + T(x, y).$$

Для подавления каждого из перечисленных видов помех существуют особые методы предварительной обработки изображений, однако помеховую ситуацию оценивает специалист в области распознавания изображений в неавтоматизированном режиме. Очевидно, что неавтоматизированная идентификация шума требует от оператора квалификации эксперта. Неточная оценка помеховой ситуации или параметров шума могут привести к некачественной предварительной обработке. Это обусловлено тем, что при выборе метода предварительной обработки и его параметров необходима априорная информация о процессе формирования изображений. Часто такая информация отсутствует, поэтому параметры метода предварительной обработки изображений подбираются путем настройки, которая не всегда позволяет отразить помеховую ситуацию. Это влияет на дальнейший процесс обработки изображений. Например, недооценка уровня мультипликативной помехи вызывает большие разрывы контуров объектов изображений при решении задачи контурной сегментации. Это, в свою очередь, влияет на ошибку распознавания этих объектов. Завышенная оценка уровня аддитивной гауссовской помехи ведет к размыванию контуров объектов, что также отражается на ошибке распознавания.

В этом случае оценка параметров мультипликативного шума осуществляется путем анализа спектра изображения или на основе исходного изображения. Анализ в автоматизированном режиме возможен тогда, когда шумовые пики ярко выражены или имеется априорная информация относительно расположения частотных составляющих. При решении в неавтоматизированном режиме задачи идентификации аддитивной помехи на изображении параметры функции плотности вероятности шума могут быть известны исходя из технических характеристик датчиков. Однако часто необходимо оценить эти параметры для конкретной системы, использованной при получении изображения. Если система доступна для исследования, то получают набор изображений однородных тестовых объектов, по которой оценивают параметры плотности вероятности. В противном случае, когда имеются только изображения, сформированные этой системой, вид функции плотности вероятности шума оценивают из гистограммы небольших участков изображения примерно постоянной яркости. Значение интенсивности на таких участках используют для вычисления параметров распределения шума.

Поэтому актуальной является проблема автоматизации процедуры идентификации шума на изображениях. 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. Задачу автоматизированной идентификации помех на изображении сформулируем следующим образом. Пусть задано исходное пространство признаков X размерностью $p=MN$, представляющее значения интенсивности матрицы дискретных отсчетов изображения, где M — количество строк, N — количество столбцов этой матрицы. Необходимо найти преобразованное пространство Y , элементами которого являются p_1 -мерные векторы, причем $p_1 < p$. Формально эта задача заключается в определении отображения $A: X \rightarrow Y$, которое исходному пространству X ставит в соответствие искомое пространство Y [3]. Решение задачи идентификации помехи на изображении сводится к определению вида помехи и оценки параметров шума.

Автоматизированная и автоматическая идентификация помех в последнее время являлась предметом активных исследований. При идентификации конкретного вида помехи используется статистическая обработка сигналов и скрытые марковские модели [4]. Если шум представляет собой смесь нескольких видов помех, то в задаче его автоматизированной идентификации используются модели смеси распределений, параметры которых определяются из условия оптимизации по некоторому критерию [5].

Изображения в общем случае содержат элементы широкого интервала масштабов, поэтому для их анализа целесообразно применять статистики, зависящие от масштаба, т. е. проводить многомасштабный статистический анализ в отличие от гауссовых статистик. Этот анализ может применяться как в случае стационарных, так и в случае нестационарных данных для характеристики их поведения. Частным случаем многомасштабного статистического анализа является мультифрактальный анализ данных [6], исследующий степенную зависимость свойств статистик от масштаба. Известно, что мультифрактальные показатели принимают разные значения для импульсного и гауссовского процессов, а также для детерминированных гладких функций, с помощью которых моделируется мультипликативная помеха на изображении [6]. Это дает основание для построения мультифрактального метода идентификации шумов изображений.

Целью данной работы являлась разработка мультифрактального метода автоматизированной идентификации шумов изображений. При достижении поставленной цели решены следующие задачи:

- разработка мультифрактального метода идентификации шумов изображений;
- исследование характеристик разработанного метода на тестовых изображениях.

Изложение основного материала. При анализе зависимости статистической информации от масштаба данных используется два подхода: структурные функции и сингулярные меры [6]. Под структурными функциями понимают статистические моменты абсолютных разностей, зависящие от масштаба на некотором интервале его значений. Приведем определение структурной функции для одномерных данных, представляющих значение интенсивности i -го столбца изображения $I(x, y_i)$, $x = 1, \dots, N$, где N — число пикселей в столбце изображения.

Разностью r -го порядка функции $I(x, y_i)$ называется

$$\Delta I(r, x, y_i) = I(x + r, y_i) - I(x, y_i), \quad x = 1, \dots, N - r, \quad (4)$$

Определим степенную зависимость $\zeta(\tau)$ момента порядка τ $|\Delta I(r, x, y_i)|^\tau$ от масштаба r как

$$\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^\tau \rangle \propto \left(\frac{r}{N} \right)^{\zeta(\tau)}, \quad \tau \geq 0, \quad (5)$$

где $\langle \cdot \rangle$ — означают усреднение по переменной x .

В случае $\tau = 1$ структурная функция $\langle |\Delta I(r, x, y_i)| \rangle$ отражает фрактальную структуру графика $I(x, y_i)$, который рассматривается как самоаффинный геометрический объект в двумерном евклидовом пространстве. На основании этого в [6] введен мультифрактальный показатель

$$H_1 = \zeta(1) = 2 - D_{I(x, y_i)} \geq 0,$$

где $D_{I(x, y_i)}$ — фрактальная размерность графика $I(x, y_i)$. Это означает, что 1 — наибольшее возможное значение для H_1 , которое достигается для почти всюду дифференцируемых функций. Если $H_1 = 0$, $I(x, y_i)$ — стационарный процесс, график которого заполняет пространство. Т. о. H_1 позволяет оценить нестационарность $I(x, y_i)$. Т. к. мультипликативный шум моделируется детерминированной функцией пространственных координат и по своей природе нестационарен, для его отличия от стационарного гауссовского и импульсного шума целесообразно применять мультифрактальный показатель H_1 .

На рис. 1 показан характер зависимости мультифрактального показателя H_1 от вида помехи для столбца тестового изображения, содержащего один объект. H_1 в этих случаях равно 1,0133; 0,99685; 0,0038969 соответственно.

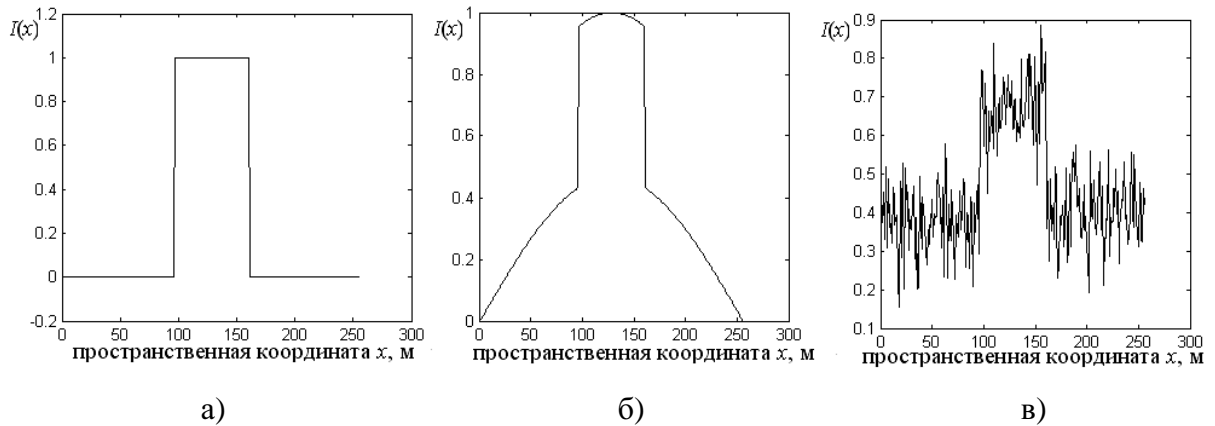


Рис. 1 Значения интенсивности столбца тестового изображения (а) и они же для изображения, пораженного мультипликативной (б) и гауссовской (в) помехой.

Для вычисления H_1 в результате логарифмирования (5) получаем

$$\log \left\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^r \right\rangle = \zeta(\tau) \log \left(\frac{r}{N} \right) + C, \quad (6)$$

где C — некоторая константа. Значение $H_1 = \zeta(1)$ находим путем определения параметров линейной регрессионной зависимости $\log \left\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^r \right\rangle$ от $\log \left(\frac{r}{N} \right)$.

Другим подходом к мультифрактальному анализу данных являются сингулярные меры, представляющие собой локально усредненный модуль градиента изображения.

В основе определения сингулярной меры лежит понятие нормализованной разности 1-го порядка. Ее значения вычисляются в каждой точке столбца изображения по формуле

$$\varepsilon(1, x, y_i) = \frac{|\Delta I(1, x, y_i)|}{\langle |\Delta I(1, x, y_i)| \rangle}, \quad x = 1, \dots, N-1,$$

где $\langle |\Delta I(1, x, y_i)| \rangle = \frac{1}{N} \sum_{x=1}^N |\Delta I(1, x, y_i)|$.

Пусть масштаб r принимает значения $1, 2, 4, \dots, N$. Тогда сингулярная мера $\varepsilon(r, x, y_i)$ определяется как

$$\varepsilon(r, x, y_i) = \frac{1}{r} \sum_{x'=x}^{x+r-1} \varepsilon(1, x', y_i), \quad x = 1, \dots, N-r.$$

Определим функцию $K(\tau)$, выражающую степенную зависимость сингулярной меры от масштаба по формуле

$$\langle \varepsilon(r, x, y_i)^\tau \rangle \propto \left(\frac{r}{N} \right)^{-K(\tau)}, \quad \tau \geq 0. \quad (7)$$

В смысле сингулярных мер значения интенсивности изображения характеризуются мультифрактальным показателем

$$C_1 = K'(1) \geq 0.$$

Наибольшее значение C_1 , равное 1, достигается для случайно расположенных δ -функций, вся энергия которых сконцентрирована в отдельных точках. Случай $C_1 \rightarrow 0$ (наименьшему значению) достигается для случайно расположенных функций Хевисайда. Т. о. мультифрактальный показатель C_1 характеризует уровень импульсного шума на изображении. Поэтому его целесообразно применять для различения гауссовского и импульсного шума.

На рис. 2 показан характер зависимости мультифрактального показателя C_1 от вида помехи для столбца тестового изображения, содержащего один объект. C_1 в этих случаях равно 1,062; 0,72959; 0,10688 соответственно.

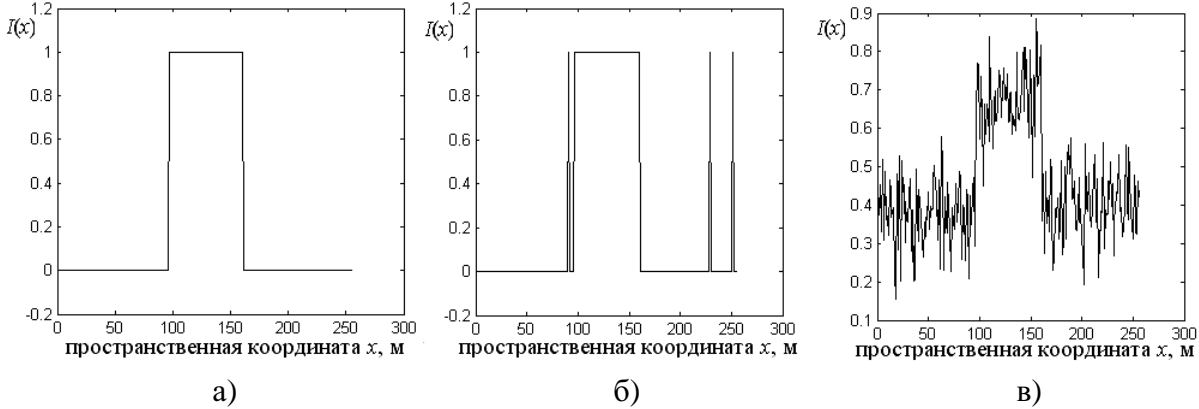


Рис. 2 Значения интенсивности столбца тестового изображения (а) и они же для изображения, пораженного импульсной (б) и гауссовской (в) помехой.

Для вычисления C_1 в результате логарифмирования (7) имеем

$$\log \langle \varepsilon(r, x, y_i)^\tau \rangle = -K(\tau) \log \left(\frac{r}{N} \right) + C', \quad (8)$$

где C' — некоторая константа. Значение C_1 определяем как аппроксимацию производной функции $K(\tau)$ в точке $\tau = 1$.

Приведенные определения структурной функции и сингулярной меры позволяют вычислять мультифрактальные показатели H_1 и C_1 для одномерных данных. Для обработки изображений, представленных матрицами дискретных отсчетов интенсивности необходимо обобщить определения мультифрактальных показателей H_1 , C_1 на двумерный случай. Введем показатели H_1 , C_1 по направлениям x , y и обозначим их H_x , C_x , H_y , C_y соответственно. При определении H_x , C_x разности r -го порядка вычисляются и усредняются по столбцам изображения. Для C_x также по столбцам изображения усредняются значения сингулярной меры. При вычислении H_y , C_y обработка производится по строкам изображения.

Показатели H_x , H_y , C_x , C_y характеризуют изотропный шум на изображениях или анизотропный шум горизонтального или вертикального направления. Если шум, например, мультипликативный, имеет диагональное направление, то показателей H_x , H_y , C_x , C_y недостаточно для его характеристики. Введем диагональные показатели H_{xy} , C_{xy} следующим образом.

Пусть в (5) при вычислении разностей r -го порядка используется соотношение

$$\Delta I(r, x, y) = I(x, y+r) - I(x+r, y), x = 1, \dots, N-r, y = 1, \dots, M-r. \quad (9)$$

Тогда (5) принимает вид:

$$\langle |\Delta I(r, x, y_i)|^\tau \rangle \propto \left(\frac{r}{N} \right)^{2\zeta(\tau)},$$

а $H_{xy} = \zeta(1)/2$.

Для определения показателя C_{xy} предположим, что разность 1-го порядка вычисляется по формуле (9). Тогда нормализацию разности 1-го порядка произведем по формуле

$$\varepsilon(1, x, y) = \frac{|\Delta I(1, x, y)|}{\langle |\Delta I(1, x, y)| \rangle},$$

где $\langle |\Delta I(1, x, y)| \rangle = \frac{1}{NM} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M |\Delta I(1, x, y)|$.

Если масштаб r принимает значения 1, 2, 4, ..., N , то (7) принимает вид

$$\langle \varepsilon(r, x, y_i)^\tau \rangle \propto \left(\frac{r^2}{N} \right)^{-K(\tau)}, \quad \tau \geq 0,$$

а мультифрактальный показатель $C_{xy} = K'(1)$, причем $C_{xy} \in [0, 2]$ [7].

С использованием построенных мультифрактальных показателей определим пространство признаков для идентификации помех на изображении. Сформируем параметры, которые целесообразно включить как компоненты в вектор признаков. В качестве таких характеристик в работе выбраны мультифрактальные показатели $H_x, H_y, H_{xy}, C_x, C_y, C_{xy}$. Применение этих признаков позволило значительно сократить размерность вектора признаков исходного описания изображения. Идентификация помех на изображении проводится путем вычисления мультифрактальных показателей с использованием формул (6), (8). По значениям мультифрактальных показателей в автоматизированном режиме идентифицируется вид помехи на изображении.

Предложенный метод формирования пространства признаков для идентификации помех на изображении исследовался на примере изображения, пораженном одним из трех видов помех: аддитивной гауссовой, импульсной или мультипликативной. Статистическая модель помеховой ситуации (1) принимает вид:

- в случае аддитивной гауссовой помехи $I(x, y) = I_0(x, y) + N(x, y)$;
- в случае импульсной помехи $I(x, y) = I_0(x, y) + T(x, y)$;
- в случае мультипликативной помехи $I(x, y) = I_0(x, y)R(x, y)$.

Экспериментальные исследования предложенного подхода к автоматизированной идентификации шума проведены на изображении размером 256x256 пикселей, в центре которого – белый квадрат 64x64 на черном фоне. На это изображение накладывались следующие виды помех:

- аддитивный гауссовский шум с отношением сигнал/шум по мощности $q \in \{100; 50; 20; 10; 5; 2; 1\}$ (класс 1);
- импульсный униполярный шум с количеством сбойных пикселей 20%, 15%, 10%, 5%, 1%, 0.5%, 0.1%, причем незашумленное изображение предварительно переводилось на интервал интенсивностей [0,4; 0,5] (класс 2);
- мультипликативный горизонтальный, вертикальный, диагональный шум, для которого $R(x, y) = \frac{1}{2} \sin 2\pi\omega x\Delta$, где частота дискретизации $\Delta=1/256$, $\omega \in \{0,05 \text{ период/м; } 0,125 \text{ период/м; } 0,25 \text{ период/м; } 0,5 \text{ период/м; } 1 \text{ период/м; } 1,5 \text{ период/м; } 2 \text{ период/м; } 2,5 \text{ период/м; } 5 \text{ период/м}\}$ (класс 3);
- мультипликативный горизонтальный, вертикальный, диагональный шум, для которого $R(x, y) = A \sin 2\pi\omega x\Delta$, где частота дискретизации $\Delta=1/256$, $\omega=0,5$, A определяется т. о., чтобы отношение сигнал/шум $q \in \{100; 50; 20; 10; 5; 2; 1\}$ (класс 4).

Отношение сигнал/шум для изображений класса 1 вычислялось по формуле

$$q = \left(\frac{h}{\sigma} \right)^2,$$

где h — величина контраста объекта, σ — стандартное отклонение шума; а для изображений класса 4 — по формуле $q = \frac{2h^2}{A^2}$, где A — амплитуда мультипликативной помехи.

Необходимо было идентифицировать один из трех видов помех по значениям мультифрактальных показателей изображений каждого из перечисленных четырех классов изображений.

На рис. 3 — 5 представлены значения компонентов вектора признаков $H_x, H_y, H_{xy}, C_x, C_y, C_{xy}$, которые используются при идентификации помех для изображений классов 1 — 4.

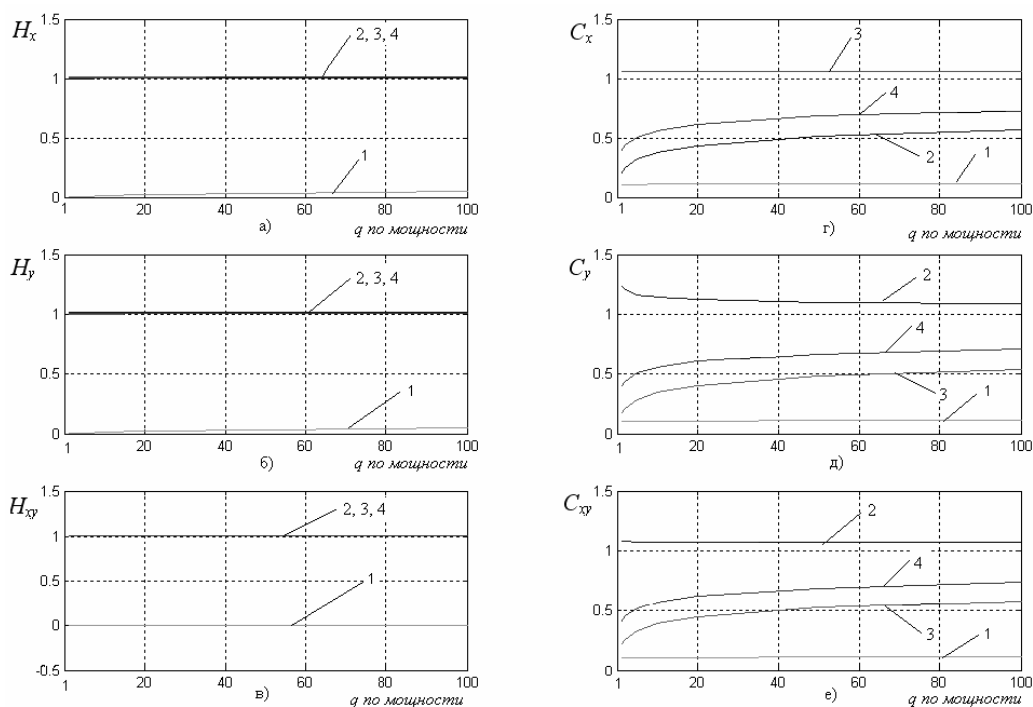


Рис. 3 Зависимость значений H_x (а), H_y (б), H_{xy} (в), C_x (г), C_y (д), C_{xy} (е) от q для изображений классов 1 — 4:

- 1 — гауссовский шум;
- 2 — мультипликативный горизонтальный шум;
- 3 — мультипликативный вертикальный шум;
- 4 — мультипликативный диагональный шум.

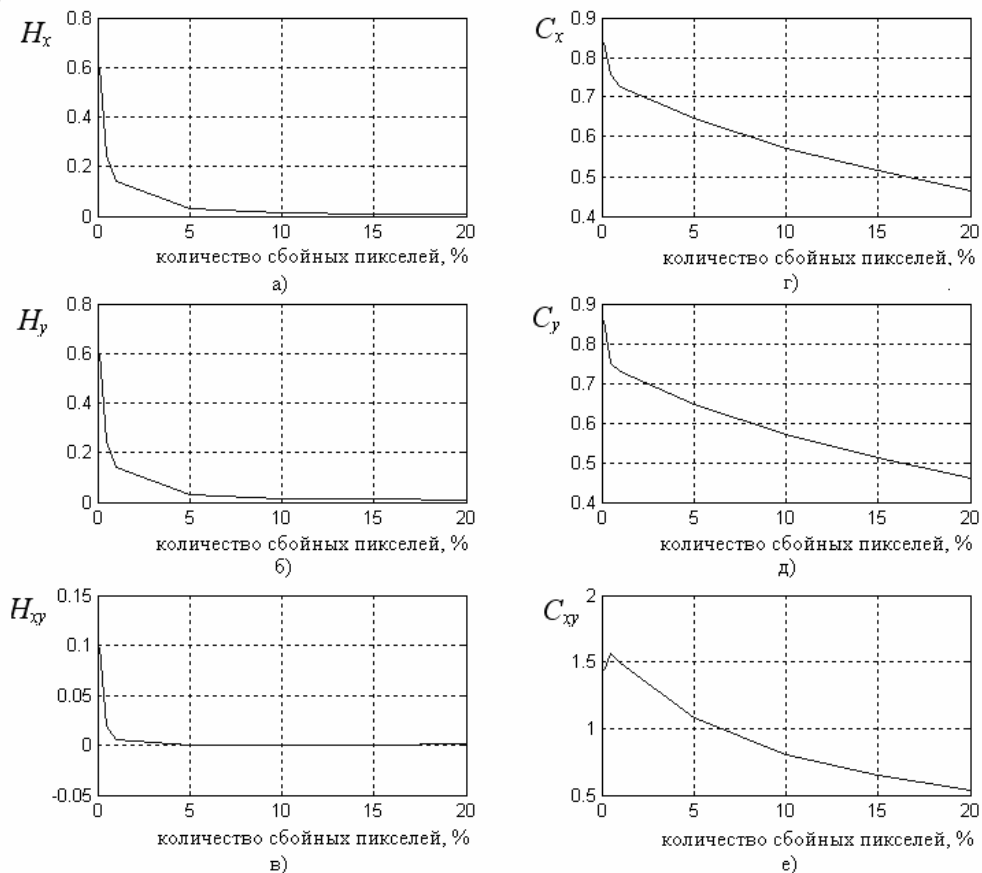


Рис. 4 Зависимость значений H_x (а), H_y (б), H_{xy} (в), C_x (г), C_y (д), C_{xy} (е) от количества сбивных пикселей для изображений класса 2.

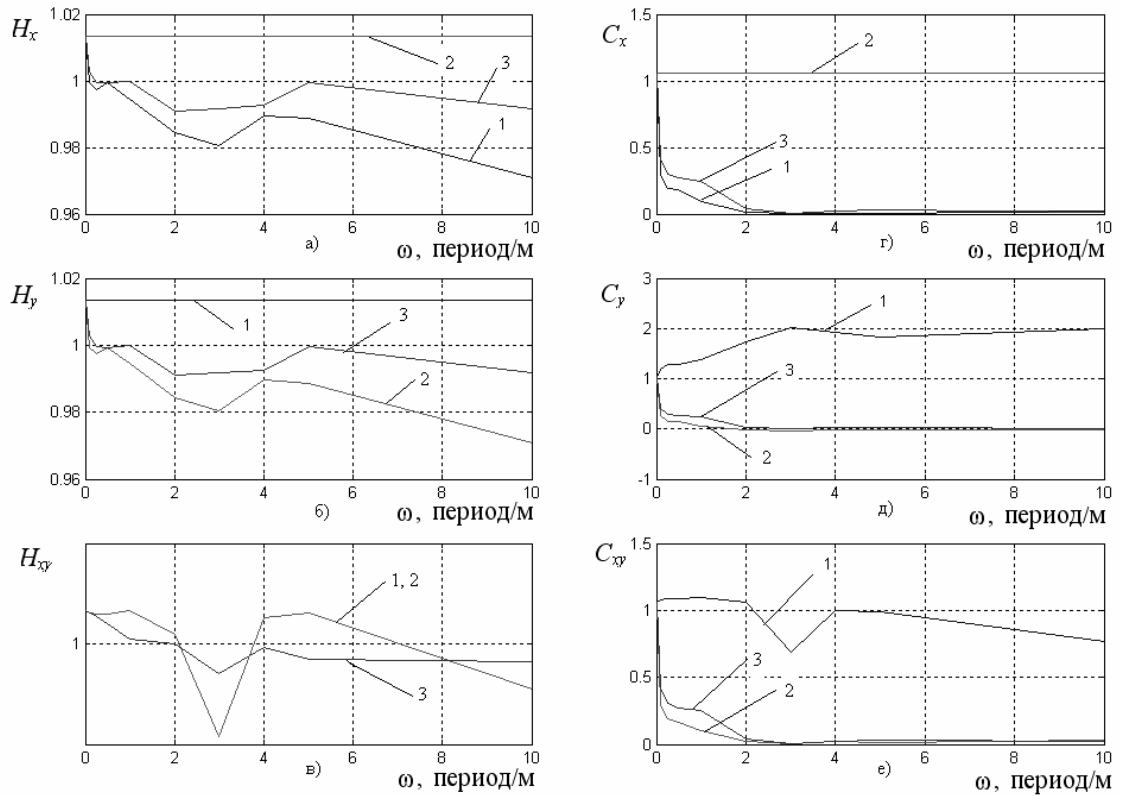


Рис. 5 Зависимость значений H_x (а), H_y (б), H_{xy} (в), C_x (г), C_y (д), C_{xy} (е) от частоты ω для изображений класса 3:

- 1 — мультипликативный горизонтальный шум;
- 2 — мультипликативный вертикальный шум;
- 3 — мультипликативный диагональный шум.

Анализируя полученные результаты, следует заметить, что мультифрактальные показатели в качестве признаков в задаче идентификации помех изображений обладают разделительными свойствами. Мультипликативная и гауссовская помехи идентифицируются как по признакам H_x , H_y , H_{xy} , так и по признакам C_x , C_y , C_{xy} . Импульсная и гауссовская помехи различаются значениями C_x , C_y , C_{xy} , мультипликативная и импульсная помехи характеризуются разными значениями H_x , H_y , H_{xy} . Значения признаков изображений, представляющих мультифрактальные показатели, позволяют не только идентифицировать вид помехи, но и определить параметры шума. Так, отношение сигнал/шум для аддитивной помехи можно получить с использованием значений H_x , H_y , которые монотонно возрастают с ростом отношения сигнал/шум. Уровень импульсного шума легко определить по значениям C_x , C_y , C_{xy} , монотонно убывающим с ростом количества сбойных пикселей. Отношение сигнал/шум для мультипликативной помехи определяется с использованием значений C_x , C_y , C_{xy} , которые монотонно возрастают с ростом отношения сигнал/шум. Вычисленные значения признаков находятся в соответствии с теоретическими значениями мультифрактальных показателей: для гауссовского шума значения признаков близки к нулю, для импульсного шума H_x , H_y , H_{xy} близки к нулю, для мультипликативного шума H_x , H_y , H_{xy} приблизительно равны единице.

На рис. 6 представлены изображения классов 1 — 4 в двумерных пространствах признаков.

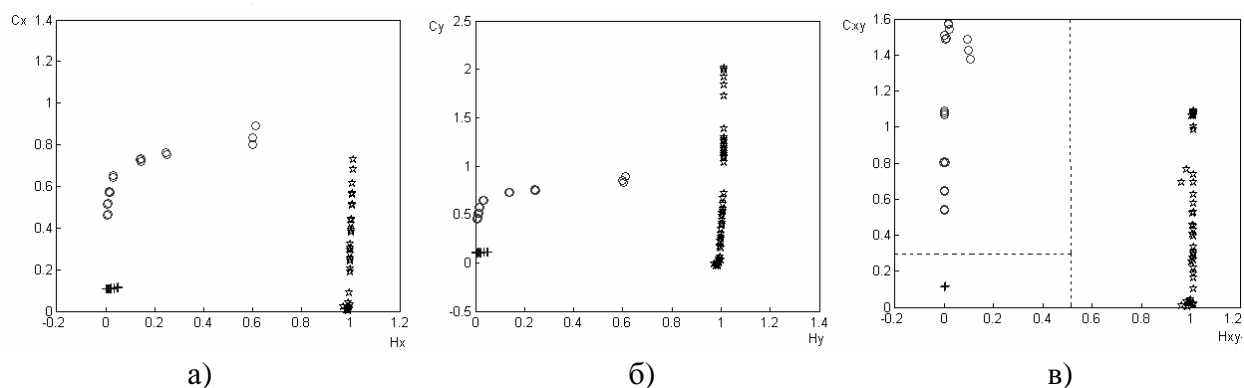


Рис. 6 Изображения классов 1 — 4 в двумерном пространстве признаков $\{H_x, C_x\}$ (а), $\{H_y, C_y\}$ (б), $\{H_{xy}, C_{xy}\}$ (в): «+» — класс 1; «o» — класс 2; «☆» — классы 3, 4.

Выделение границ кластеров на этих рисунках свидетельствует о том, что классы изображений, пораженных гауссовской, импульсной и мультипликативной помехой разнесены в пространстве признаков и формируют ленточные кластеры. Приведем определение ленточного кластера.

Определение [8]. Кластер S_l называется ленточным кластером или кластером типа ленты, если существует $\tau > 0$ такое, что для любого $a_i \in S_l$ найдется такой объект $a_j \in S_l$, что $d(a_i, a_j) \leq \tau$, а для любого $a_k \in A \setminus S_l$ справедливо $d(a_i, a_k) > \tau$, где A — общая совокупность объектов классификации, $d(\cdot, \cdot)$ — расстояние между объектами класса.

Предложенный мультифрактальный метод идентификации помех на изображениях позволил выделить кластеры, для которых внутриклассовые средние расстояния меньше межклассовых средних расстояний данного класса. Для иллюстрации приведена матрица средних расстояний (табл. 1).

Таблица 1

Средние межклассовые и внутриклассовые расстояния

Номер класса	Количество объектов	Номер класса			Значения порогов
		1	2	3	
1	21	0,0470	1,8797	5,3226	$H_{xy} < 0,5564$ $C_{xy} < 0,3319$
2	21	1,8797	0,9644	4,9246	$H_{xy} \geq 0,5564$ $C_{xy} \geq 0,3319$
3	48	5,3226	4,9246	1,4074	$H_{xy} \geq 0,5564$

Согласно определению ленточного кластера среднее внутриклассовое расстояние d_m вычислялось как среднее расстояние между объектами кластера. Использовалась формула

$$d_m = \frac{1}{L_m^2} \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq l}}^{L_m} d(a_l, a_j),$$

где $d(a_l, a_j) = \sum_{k=1}^K |a_l^k - a_j^k|$ — расстояние между объектами a_l, a_j кластера S_m , K — размерность вектора признаков (a_l^1, \dots, a_l^K) объекта a_l , L_m — количество элементов в кластере S_m . Среднее межклассовое расстояние d_{mk} вычислялось как среднее расстояние между объектами m -го кластера и объектами k -го кластера

$$d_{mk} = \frac{1}{L_k L_m} \sum_{l=1}^{L_m} \sum_{j=1}^{L_k} d(a_l, a_j),$$

где $a_l \in S_m, a_j \in S_k$.

С использованием матрицы средних расстояний производилось сравнение внутриклассовых расстояний с межклассовыми по t -критерию. Из табл. 1 видно, что средние расстояния достаточно сильно различаются (1 означает существенное (на уровне 5%) отличие среднего межклассового расстояния от среднего внутриклассового). Исследование свойств кластеров в пространстве признаков позволило их разделить с помощью простейших разделяющих поверхностей, определяемых значениями порога. Значения порогов определялись путем анализа гистограмм значений признаков изображений и приведены в табл. 1. Соответствующие значениям порогов разделяющие прямые обозначены на рис. 6, в пунктиром.

Выводы. Т. о. проведенные исследования показали, что свойства помех на изображении могут быть адекватно представлены с помощью мультифрактальных показателей. Идентификация помех с помощью мультифрактальных показателей производится в автоматизированном режиме. Предложенный мультифрактальный метод автоматизированной идентификации помех позволил получить в признаковом пространстве непересекающиеся кластеры изображений с определенным видом помехи, а именно, изображений, пораженных аддитивным гауссовским или мультипликативным шумом со значениями отношения сигнал/шум 1 — 100 по мощности, мультипликативным шумом с частотой 0,1 — 10 период/м при частоте дискретизации 256 период/м, импульсным шумом с количеством сбойных пикселей 0,1 — 20%. Если помеха на изображении характеризуется отличными от приведенных параметрами, вероятность ошибок распознавания 1-го и 2-го рода, возможно, возрастает. Поэтому направлением дальнейших исследований является развитие предложенного мультифрактального метода идентификации шумов на случай изображений, пораженных одновременно несколькими видами помех.

The multifractal method of images noise recognition is proposed.

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. — М.: Техносфера, 2005. — 1072 с.
2. Крылов В.Н., Максимов М.В. Вторичные преобразователи сигналов изображений. — Одесса: Астропринт, 1997. — 176 с.
3. Гонсалес Р., Ту Дж. Принципы распознавания образов. — М.: Мир, 1978. — 411 с.
4. El-Maleh K., Samouelian A., Kabal P. Frame-level noise classification in mobile environments // Proceedings of ICASSP. — 1999. — P. 1011 — 1015.
5. Couvreur A., Bresler K. Dictionary-based decomposition of linear mixtures of Gaussian processes // Proceedings of ICASSP. — 1996. — P. 743 — 747.
6. Davis A., Marshak A., Wiscombe W., Cahalan R. Multifractal characterizations of nonstationary and intermittency in geophysical fields: Observed, retrieved or simulated // Journal of Geophysical Research. — 1994. — V. 99, № D4. — P. 8055 — 8072.
7. Davis A., Marshak A., Gerber H., Warren W. Multifractal characterizations of nonstationary and intermittency in geophysical fields: Observed, retrieved or simulated // Journal of Geophysical Research. — 1994. — V. 99, № D4. — P. 8055 — 8072.
8. Мандель И.Д. Кластерный анализ. — М.: Финансы и статистика, 1988. — 176 с.

МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ЕМКОСТИ С ЛИНЕЙНОЙ ШКАЛОЙ ИЗМЕРЕНИЙ

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.

Постановка проблемы

Постоянное развитие средств измерений и контроля различных параметров изделий и процессов является неотъемлемой частью научно-технического прогресса. В настоящее время существенное влияние на методы построения измерительных систем оказывает использование цифровой техники для обработки результатов измерений и управления различными процессами [1].

Одной из основных задач при разработке измерительных систем является повышение точности, быстродействия и увеличение диапазона измеряемых величин.

Анализ последних исследований

В настоящее время существует много методов измерения емкости [2-5]. Однако они имеют существенные недостатки, заключающиеся как в неудовлетворительной точности и узком диапазоне измерений, так и в отсутствии, во многих случаях, линейной шкалы измерения емкости.

Существующие измерители емкости [6-8] имеют недостатки: невозможность проведения измерений на одной фиксированной частоте и не позволяют измерять емкости, значения которых превышают емкость управляющего варикапа.

В [1,2,7-10] предложен способ решения проблемы увеличения диапазона измерений – проведение измерений на высоких частотах и обеспечение линейной шкалы средства измерения, заключающийся в использовании резонансного метода с применением управляющего варикапа. Используя параметры управляющего варикапа, возможно с помощью несложных преобразований определить значение измеряемой емкости по емкости варикапа.

Цель статьи

Целью работы является устранение недостатков метода измерений, линейаризация шкалы измерителя емкости, разработка цифрового измерителя, структурные особенности которого позволят увеличить диапазон измеряемых емкостей.

Основной материал

Предлагается цифровой резонансный измеритель емкости с линейной шкалой измерения, в котором используются управляющие варикапы, применение которых в радиоэлектронике обеспечило разработку и производство новых систем бортовой и наземной связи, радиотехнической, радиоизмерительной, автоматической и телеаппаратуры со свойствами принципиально недостижимыми без варикапов:

- с практически неограниченным количеством одновременно перестраиваемых цепей;

- с возможностью автоматического выбора оптимальных каналов связи с дистанционным и программным управлением;

- с помехоустойчивой и скрытой радиосвязью на изменяющейся частоте с увеличенной избирательностью при высоких нагрузках радиотракта;

- с повышенной устойчивостью к воздействию внешних факторов (механических, климатических и др.).

Функциональная схема измерителя емкости приведена на рис.1.

В его состав входят [1,11]: контур измерения 1; высокочастотный генератор 2; источник напряжения сдвига 3; усилитель переменного напряжения 4; детектор 5; блок выделения экстремума 6; генератор импульсов 7; счетчик импульсов 8; программированное запоминающее устройство 9; цифро-аналоговый преобразователь 10; регистр выходной 11; схемы задержки 12, 13, 14.

В состав контура измерения входят: управляющие варикапы 15, 16; индуктивность 17; разделяющие резисторы 18, 19, 20, 21; разделяющие конденсаторы 22, 23, 24; контакты для исследуемого конденсатора (варикапа) 25; перемычка 26. Исследуемый конденсатор (варикап) обозначен 27.

Для расширения диапазона измерительных емкостей в схеме используются два управляющих варикапа, для дальнейшего увеличения измерительных емкостей количество управляющих варикапов можно увеличивать.

Значения емкостей конденсаторов 22, 23, 24 должны быть значительно больше емкостей, которые измеряются и суммы емкостей управляющих варикапов 15 и 16, то есть должны выполняться условия

$$C_p \gg C_{\epsilon 1} + C_{\epsilon 2}, \quad (1)$$

где C_p – значения емкостей разделяющих конденсаторов; $C_{\epsilon 1}$ и $C_{\epsilon 2}$ - максимальные значения емкостей управляющих варикапов 15 и 16.

Значения сопротивлений разделяющих резисторов 18, 19, 20, 21 должны быть значительно больше емкостных сопротивлений управляющих варикапов и емкости, которая измеряется. То есть необходимо выполнять условия

$$R_p \gg \frac{1}{2\pi f C_x}, \quad R_p \gg \frac{1}{2\pi f C_{\epsilon}}, \quad (2)$$

где R_p – значения сопротивлений разделяющих резисторов;

C_x – максимальное значение емкости, которая измеряется;

C_{ϵ} – максимальные значения емкостей управляющих варикапов;

f – частота высокочастотного генератора 2.

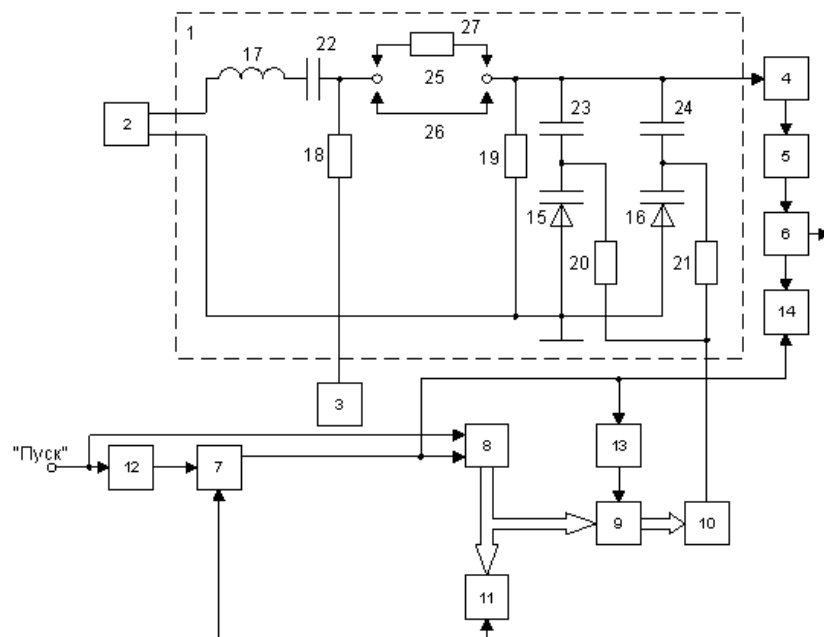


Рис. 1 Функциональная схема резонансного измерителя емкости

При выполнении условий (1) и (2) разделяющие конденсаторы и резисторы не будут влиять на резонансные характеристики контура измерения.

Начальное положение схемы характеризуется таким состоянием составных элементов:

В ПЗУ 9 заносятся коды, которые во время работы измерителя преобразуются ЦАП10 в напряжения, которые подаются через разделяющие резисторы 20 и 21 на управляющие варикапы 15,16. При этом адресный код ПЗУ 9, что поступает из счетчика импульсов 8, отвечает значению количества ступенек, на которое изменяется суммарная емкость управляющих варикапов 15 и 16. Для этого необходимо заведомо измерять с большой точностью вольт-фарадные характеристики управляющих варикапов 15 и 16; определить рабочие участки вольт-фарадных характеристик; выбрать значения и количество ступенек ΔC_i , на которое будет изменяться суммарная емкость варикапов при подаче на них напряжения сдвига. Соответствующие напряжениям коды заносятся в ПЗУ 9.

Контур измерения 1 настроен в резонанс на частоте высокочастотного генератора 2, при этом на контактах для исследуемого конденсатора стоит перемычка 26; в счетчике импульсов 8, в младшем разряде, записана единица; на выходе ПЗУ 9 будет код, который преобразуется ЦАП 10 в напряжение, которое поступает на управляющие варикапы 15, 16, значения суммы емкостей варикапов отвечает начальному значению емкости C_1 (3); на выходе генератора импульсов 7 импульсы отсутствуют.

Резонансная частота контура измерения

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_1}} \quad (3)$$

где L – индуктивность контура 17;

C_1 – минимальное значение суммы емкостей управляющих варикапов 15 и 16.

На контакты 25, вместо перемычки, ставят исследуемый конденсатор (варикап) C_x .

Контур измерения 1 выходит из режима резонанса и напряжение на его выходе уменьшается. На вход счетчика импульсов 8 подается импульс “пуск”, что подтверждает начальное положение счетчика. После задержки схемой 12 импульс “пуск” поступает на вход генератора импульсов 7 и запускает его. Выходные импульсы из генератора 7 поступают на вход счетчика импульсов 8, который начинает их считать. Каждый задержанный импульс, с помощью схемы задержки 13, поступает на вход ПЗУ 9 и считывает из него код по адресу, который поступает из счетчика 8. Этот код поступает на вход ЦАП10, который преобразует код в пропорциональное значение напряжения, которое поступает на управляющие варикапы 15 и 16, увеличивая их емкость.

При приближении резонансной частоты контура измерения 1 к частоте высокочастотного генератора 2, на выходе контура будет увеличиваться напряжение, которое после усилителя 4 и детектора 5, поступает на вход блока выделения экстремума 6. Каждый импульс с выхода генератора 7, через схему задержки 14, поступает на управляющий вход блока выделения экстремума, опрашивая наличие экстремума. Когда резонансная частота контура будет равняться частоте генератора 2, на выходе контура будет максимальное напряжение. В этот момент с выхода блока выделения экстремума 6 поступит импульс напряжения на входы генератора импульсов 7 и регистра выходного 11. При этом генератор 7 перестает вырабатывать импульсы, а в регистр выходной 11 заносится код адреса из счетчика 8. Значения этого кода N_x отвечает значению измерительной емкости C_x .

Резонансная частота контура при этом будет равняться f_0 .

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{L \cdot \frac{C_x \cdot C_2}{C_x + C_2}}}, \quad (4)$$

где: C_2 – суммарная емкость варикапов 15,16 при этом резонансе,

$$C_2 = C_1 + \sum_{i=1}^N \Delta C_{2i}; \quad (5)$$

ΔC_{2i} - значения ступенек, на которые изменяется емкость C_2 .

Из уравнений (3) и (4) получим

$$C_x = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2 - C_1}; \quad (6)$$

где C_1 – постоянная величина.

Из (6) имеем

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot C_x}{C_x - C_1}. \quad (7)$$

Задавшись одинаковыми ступеньками ΔC , на которые должна изменяться емкость C_x при изменении C_2 из уравнения (7) находим значение C_{2i} и по вольт-фарадным характеристикам управляющих варикапов 15 и 16 находим значение напряжений смещения U_i , которые отвечают значениям C_{2i} . Коды напряжений U_i заносятся в ПЗУ9 при изготовлении измерителя. Таким образом, обеспечивается **линейность** шкалы измерителя.

Действительно, из уравнения (7) имеем

$$C_2 = \frac{C_1 \cdot N_x \cdot \Delta C}{N_x \cdot \Delta C - C_1}, \quad (8)$$

или

$$N_x = \frac{C_x}{\Delta C} = \frac{C_1 \cdot C_2}{(C_2 - C_1) \cdot \Delta C} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_2 - C_1} \cdot K, \quad (9)$$

где $K = \frac{1}{\Delta C}$ - Const;

N_x - числовое значение измеряемой емкости, то есть код, который находится в счетчике импульсов 8.

Выводы

Разработанный измеритель емкостных параметров варикапов с линейной шкалой измерения отличается повышенной точностью и более широким диапазоном измерения, позволяющим измерять емкость варикапов на высоких частотах.

In the given article the opportunity and aspects of construction of measuring devices of electrical capacity are considered, the principle of construction of digital measuring devices with a linear scale of measurements and the algorithm of management are proposed and the circuit of resonant measuring device of electrical capacity is given.

1.Р.В. Бараненко Лінеаризація шкали і збільшення діапазону вимірювання ємностей резонансних вимірювачів // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2004. – №2 (14). – С.155-158.

2.Винокуров В.И., Каплин С.И., Петелин Н.Г. Электрорадиоизмерения: Учеб. пособие для радиотехнич. спец. вузов/ Под ред. В.И. Винокурова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1986. – 351с.: ил.

3.Орнатский П.П., Скрипник Ю.А., Скрипник В.И. Измерительные приборы периодического сравнения. – М.: Энергия, 1975. – 231с.

4.Авдеев Е.Я., Антонюк Б.М., Душин Е.М., Основы метрологии и электрические измерения: 6-е изд., пераб. и доп. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 480с.

5.Скрипник Ю.А. Повышение точности измерительных устройств. – К.: 1990. – 264с.

6. Цифровые приборы и системы для измерения параметров конденсаторов. Под редакцией Эпштейна С.Л. – М.: “Советское радио”, 1978. – С.21, рис.2.1а.

7. В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко Принцип здійснення гнучкого програмного керування елементами вимірювальних систем за аналізом їх експоненціальних параметрів // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. – №2 (18). – С.297-301.

8. Деклараційний патент України на винахід № 48854 А, «Резонансний вимірювач ємності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Є.А. Дроздова. 6 G01R29/24. Опубл. 15.08.2002, Бюл. № 8.

9. В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко Принцип побудови елементів вимірювальних систем, представлених цифровими програмно керованими вимірювачами // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2003. – №1 (11). – С.100-104.

10. Деклараційний патент України на винахід № 50652 А, «Резонансний вимірювач індуктивності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Є.А. Дроздова, Р.В. Бараненко. 7 G01R27/26. Опубл. 15.10.2002, Бюл. № 10.

11. Деклараційний патент України на винахід № 63238 А, «Резонансний вимірювач ємності». Автори: В.Є. Ходаков, В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко. 7 G01R27/26. Опубл. 15.01.2004, Бюл. № 1.

ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ АНАЛИЗА
ХАРАКТЕРИСТИК ДИНАМИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ

Корниенко-Мифтахова И.К., Филоненко С.Ф.

Введение

Мостовые конструкции, в процессе их эксплуатации, испытывают периодические воздействия случайных, как статических, так и динамических нагрузок. Последние обусловлены, например, движением транспортных средств, имеющих различные массы и скорости движения, ветровыми потоками и другими факторами. Естественно, что такие нагрузки приводят не только к развитию дефектов структуры и изменению динамических характеристик конструкций, но и являются источниками возбуждения в них вынужденных и собственных колебаний. При этом в зависимости от условий воздействия, возможно возникновение таких ситуаций, которые ведут, как к возрастанию не контролируемым образом амплитуд возникающих колебаний на резонансных частотах, так и к их перераспределению по модам колебаний. Подобные ситуации являются не штатными режимами работы конструкций, которые, в конечном итоге, могут быть причиной потери их несущей способности. Для предотвращения этого проводятся периодические обследования и испытания мостовых конструкций, по результатам которых формируются заключения об их техническом состоянии [1, 2].

Одним из видов проводимых испытаний являются динамические испытания, в процессе выполнения которых регистрируются вынужденные и собственные колебания мостовых конструкций с использованием различных типов датчиков – тензорезисторных, пьезокерамических, индукционных и других [3]. Регистрируемые колебания выводятся на самописцы для последующего анализа [3] и определения их параметров или обрабатываются электронной аппаратурой – специализированными приборами, а так же измерительными системами [4, 5, 6]. При этом в зависимости от типа датчика, определяющего его частотный диапазон, чувствительность и другие характеристики, возможна регистрация и анализ сигналов ускорения, скорости и смещения.

Обработка сигналов, как собственных, так и вынужденных колебаний позволяет получать достаточно широкий набор параметров, характеризующих динамическое поведение испытываемых конструкций. Так, например, в работе [7] показано, что при использовании индукционного датчика скорости по анализу параметров регистрируемого сигнала колебаний, а так же его спектра можно определять: амплитуду скорости, период и частоту колебаний (резонансную частоту и частоты отдельных мод), затухание, добротность, декремент затухания, амплитуду смещения. Однако при проведении испытаний мостовых конструкций, как правило, осуществляется обработка и анализ ограниченного набора параметров собственных и вынужденных колебаний. В качестве таких анализируемых параметров, в основном, используют резонансную частоту (частоты мод колебаний) и коэффициент затухания (относительное затухание, скорость затухания) [5, 8]. При этом о состоянии конструкции судят по результатам сравнения полученных экспериментальных и теоретических расчетных величин, значения которых не должны иметь отклонения друг от друга, более чем на 20% [2, 9].

Вместе с тем, как показывают результаты исследований [10], одновременное использование всех трех видов сигналов (ускорения, скорости и смещения), регистрируемых во времени, позволяет значительно расширить возможности традиционных методов анализа динамических характеристик конструкций. В первую очередь, это касается нелинейного их поведения или отклонения от заданного. Кроме того, широкий набор параметров обеспечивает возможность формирования изначального “динамического образа”

(паспорта) конструкций, т.е. определять начальные реперные точки отсчетов. Это чрезвычайно важно, как с точки зрения диагностики, так и с точки зрения мониторинга их состояния. Решение подобных задач требует разработки информационно-измерительных систем (ИИС), позволяющих обрабатывать широкий набор параметров сигналов колебаний при использовании всех трех типов датчиков - ускорения, скорости и смещения.

В работе рассматриваются принципы и структура построения ИИС для исследования динамических характеристик конструкций. Показано, что приоритетность программных средств обеспечивает возможность унификации ИИС с адаптацией под тип датчика, используемого для регистрации возникающих колебаний. Так же будут рассмотрены результаты испытаний мостовой конструкции с использованием разработанной ИИС.

Структура построения информационно-измерительной системы для анализа динамических характеристик конструкций

Возможности средств вычислительной техники и современных технологий LabCard позволяют решать задачи по созданию специализированных ИИС с гибкой системой управления, обработки, анализа информации и представления ее результатов. Средства технологии LabCard являются мощными инструментальными средствами, предназначенными для создания измерительных мини лабораторий, систем управления и контроля. Они содержат элементы, необходимые для ввода-вывода аналоговой и цифровой информации в персональный компьютер (ПК), такие как: аналого-цифровые преобразователи (АЦП), цифро-аналоговые преобразователи (ЦАП), счетчики таймеры и другие. Размещение таких инструментальных средств или портов ввода-вывода (ПВВ) на шине ПК обеспечивает сочетание преимуществ цифрового ввода информации с возможностью последующей ее широкой математической обработки. При этом значительно расширяется объем анализируемой информации, скорость ее обработки, а так же принципы и возможности представления результатов анализа.

Все элементы ПВВ имеют программный доступ в управлении, что обеспечивает возможность управления и процессами измерений. Это позволяет перераспределять функции между аппаратными и программными средствами с оптимизацией их структуры, что, в первую очередь, касается минимизации структуры внешних электронных средств (рис.1), работающих по жесткому неизменному алгоритму (внешние электронные средства по отношению к ПК). Структура таких систем может формироваться в одном из следующих основных вариантов. При достаточном уровне выходного сигнала первичного преобразователя (ПП, рис.1) он непосредственно может быть подключен к входу ПВВ. ПВВ осуществляет преобразование сигнала в цифровой код, а последующая его обработка, включая и операции выделения полезного сигнала на фоне помех, производится в персональном компьютере с использованием программных средств (I, рис.1). Если уровень сигнала низкий по отношению к входной чувствительности ПВВ, то в структуре системы может использоваться усилительный тракт (УТ, рис.1), а дальнейшее преобразование и обработка сигнала (II, рис.1) осуществляется, как и в предыдущем случае. Возможен также и вариант использования блока предварительной обработки информации (БПОИ, рис.1) или предварительной обработки регистрируемых сигналов. Например, интеграторы непосредственно встроенные в датчик ускорения для получения сигнала скорости или смещения. Однако, независимо от этого дальнейшее преобразование и обработка информации осуществляется с использованием программных средств, которые во всех случаях имеют приоритетное значение.

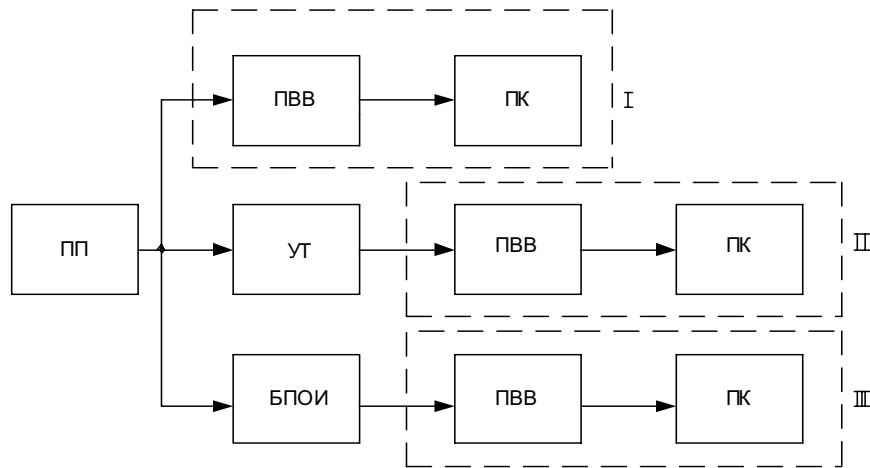


Рис.1. Структуры построения информационно-измерительных систем: ПП - первичный преобразователь; ПВВ - порт ввода-вывода аналоговой и цифровой информации; ПК - персональный компьютер; УТ - усилительный тракт; БПОИ – блок предварительной обработки информации

Приоритет программных средств имеет значительные преимущества, обеспечивающие возможность построения гибких алгоритмов управления всеми элементами систем, а так же обработки информации, ее анализа и вывода результатов. При этом изменение (модификация) программного математического обеспечения или алгоритмов обработки информации возможно осуществлять без изменения внутренней электронной конфигурации систем. Следует также подчеркнуть, что приоритет программных средств позволяет формировать гибкие графические интерфейсы управления системами, контроля состояния их параметров, процессами измерений, процессами прохождения информационных потоков, а также создавать базы данных по результатам проведенных испытаний. Наличие последних, в виде файловых структур, является не только протоколом испытаний, но и обеспечивает возможность неоднократной вторичной обработки хранящейся информации. При этом организация внутренней структуры измерительной системы определяется ее назначением и решаемыми задачами согласно принятой логике преобразования и прохождения информационных потоков.

В соответствии со сказанным общая структура построения ИИС для исследования характеристик колебаний конструкций приведена на рис.2. Внешними элементами системы являются первичные преобразователи механических колебаний в электрический

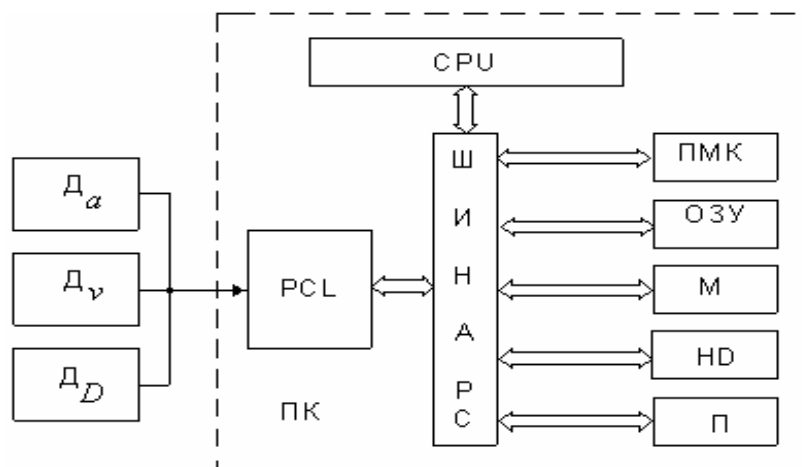


Рис.2 Структура построения информационно-измерительной системы для исследования характеристик колебаний конструкций: D_a - датчик ускорения; D_v - датчик скорости; D_D - датчик смещения; PCL – порт ввода-вывода информации; CPU – процессор; ОЗУ –

оперативное запоминающее устройство; М – монитор; HD – жесткий диск; П – принтер; ПК – персональный компьютер; ПМК – программный математический комплекс сигнал – датчики ускорения, скорости и смещения (D_a, D_v, D_D). Сигнал на их выходе имеет достаточный уровень, что позволяет проводить их непосредственное подключение к ПВВ, размещенному на шине ПК. Управление ПВВ, как и остальными элементами ПК осуществляется программными средствами или программным математическим комплексом (ПМК, рис.2). Фактически проведение процесса измерения, выполнение операций обработки, анализа результатов и их вывод на экран монитора осуществляется только программными средствами. При этом ПМК является интегрированной средой, в которой обеспечивается не только управление элементами системы но и выполнение различных системных функций. Например, поиск, удаление, копирование переименование файлов, просмотр каталогов дисков и других. Весь комплекс выполняемых операций поддерживается через графический интерфейс управления (пользователя). Он имеет многоуровневую организацию с разветвленной архитектурой переходов, что обеспечивает возможность формирования многооконных представлений информации, как по параметрам состояния системы, так и по выполняемым операциям. При этом после выполнения отдельных операций и вывода результатов формируются мини интерфейсы управления, позволяющие проводить экранный графический анализ полученных зависимостей (данных). На рис.3, а показан фрагмент работы ПМК по формированию программного графического интерфейса управления, а на рис.3, б – представление результата работы программы по обработке спектра синусоидального сигнала частотой 10 Гц.

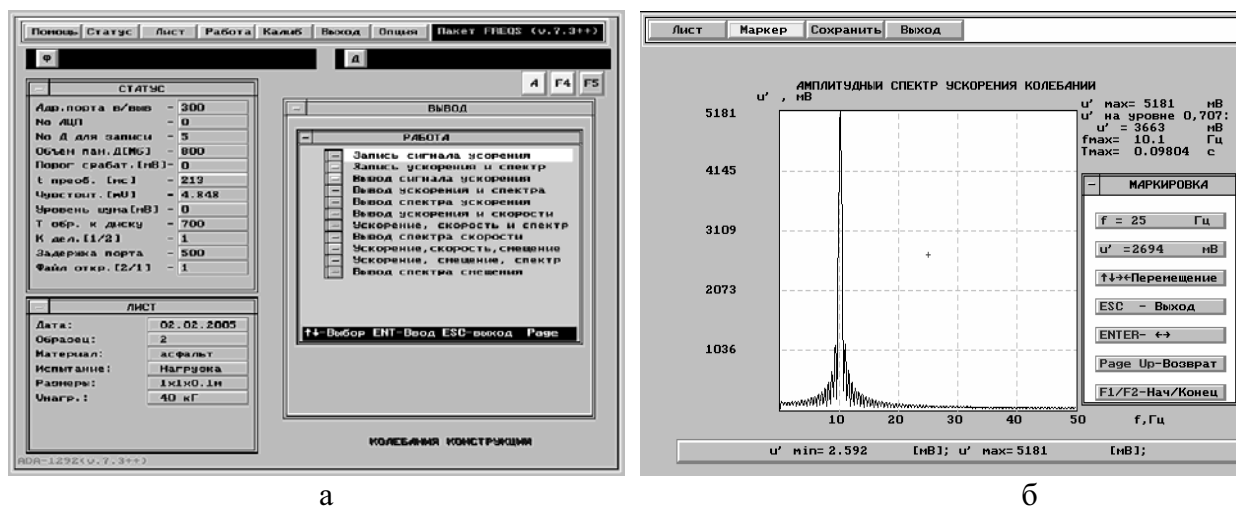


Рис.3. Фрагменты работы программного математического комплекса ИИС: а – общий вид программного графического интерфейса управления; б – результат работы программы по обработке спектра синусоидального сигнала частотой 10 Гц

При проведении испытаний конструкций, обработка и анализ входных сигналов осуществляется с определением параметров регистрируемых колебаний, как по их формам, так и по спектрам. Широкое использование графического экранного анализа выводимых зависимостей позволяет проводить исследования особенностей развивающихся колебаний, которые обусловлены видом динамического воздействия на конструкцию: ударная нагрузка, динамическая перемещаемая нагрузка и т.д. При этом вид применяемой обработки задается автоматически, в зависимости от типа датчика, используемого для регистрации колебаний – датчик ускорения, скорости или смещения. Они же определяет и количество анализируемых параметров. В то же время, использование математических операций, реализующих определенные технологии перехода от ускорения к скорости и смещению, позволяет получать полный набор параметров, необходимых для анализа ди-

намического поведения конструкций. Кроме того, обработка регистрируемых сигналов колебаний, производится с учетом корректировки амплитудно-частотных характеристик (АЧХ) первичных преобразователей. Данная корректировка осуществляется в области нижних частот и связана с нелинейностью АЧХ датчиков. Такая корректировка обеспечивает не только расширение частотного диапазона анализируемых собственных и вынужденных колебаний, но и повышает достоверность определения их параметров. Так, например, для индукционных датчиков скорости, как показали исследования [11], в области частот ниже резонансной частоты f_m датчика (значение частоты, начиная с которой его АЧХ носит линейный характер) зависимость изменения его коэффициента преобразования описывается выражением вида

$$K_{II} = kf_m^2, \quad 0 < f \leq f_m \quad (1)$$

где k - коэффициент пропорциональности; f_m - резонансная частота.

С учетом коэффициента преобразования K_{II} на резонансной частоте f_m выражение (1) будет иметь вид

$$K_{II} = \frac{K_{II_m}}{f_m^2} f^2. \quad 0 < f \leq f_m \quad (2)$$

Значения f_m и K_{II_m} являются стандартизированными для конкретного типа и марки выпускаемых датчиков. Например, для датчика скорости типа СВ-10Ц они равны: 10 Гц и 19,5 В/м/с. При известных значениях параметров датчиков алгоритмы обработки регистрируемых сигналов колебаний построены таким образом, что анализ их параметров осуществляется только после проведения корректировки коэффициента преобразования, в соответствии с (2).

Метрологическая аттестация разработанной системы показала, что ошибка изменения частоты по спектрам эталонных сигналов в диапазоне частот до 200 Гц не превышает 1%, а ошибки измерения амплитудно-временных параметров сигналов не превышают 0,5%.

Результаты экспериментальных исследований

С использованием разработанной ИИС проводились испытания различного типа мостов: бетонные, железобетонные, вантовые. Результаты проведенных испытаний показали высокую эффективность системы, позволяющей получать большой объем информации, характеризующей динамическое поведение мостовых конструкций, а так же значительно сократить сроки на подготовку и проведение их диагностики. Рассмотрим фрагменты полученных результатов.

Одним из мостов, испытания которого проводили после завершения его строительства, являлся мост, представляющий собой конструкцию, состоящую из шести металлических несущих балок Т-образной формы. Балки связаны между собой жесткими поперечными металлическими соединениями (рис.4, а). Сверху на металлических несущих балках уложено сплошное бетонное, а затем асфальтовое покрытия. Общие габаритные размеры моста составляли: длина пролета 58 м и ширина 17 м.

Исследования состояния мостовой конструкции осуществлялись в процессе проведения его полномасштабных испытаний с использованием статических и динамических видов нагружения, а так же различных систем технической диагностики, одной из которых являлась разработанная система анализа динамических характеристик. Для возбуждения вынужденных и собственных колебаний конструкции использовали два стандартных вида динамического воздействия: проезд груженого грузового автомобиля типа КРАЗ по центральной части моста с различной скоростью, а так же переезд груженого грузового автомобиля типа КРАЗ с различной скоростью через порожек высотой 100 мм (рис.4, б). В первом случае осуществлялось возбуждение вынужденных колебаний, а во втором случае при наличии динамического удара возбуждались и свободные колебания. Масса гружено-

го автомобиля составляла 250 кН, а скорость его движения изменялась в пределах от 5 км/час до 20 км/час.

Для регистрации и преобразования возникающих механических колебаний в электрический сигнал использовали стандартный индукционный датчик скорости вертикальных перемещений типа СВ-10Ц с резонансной частотой 10 Гц. Датчик устанавливался на ниж-

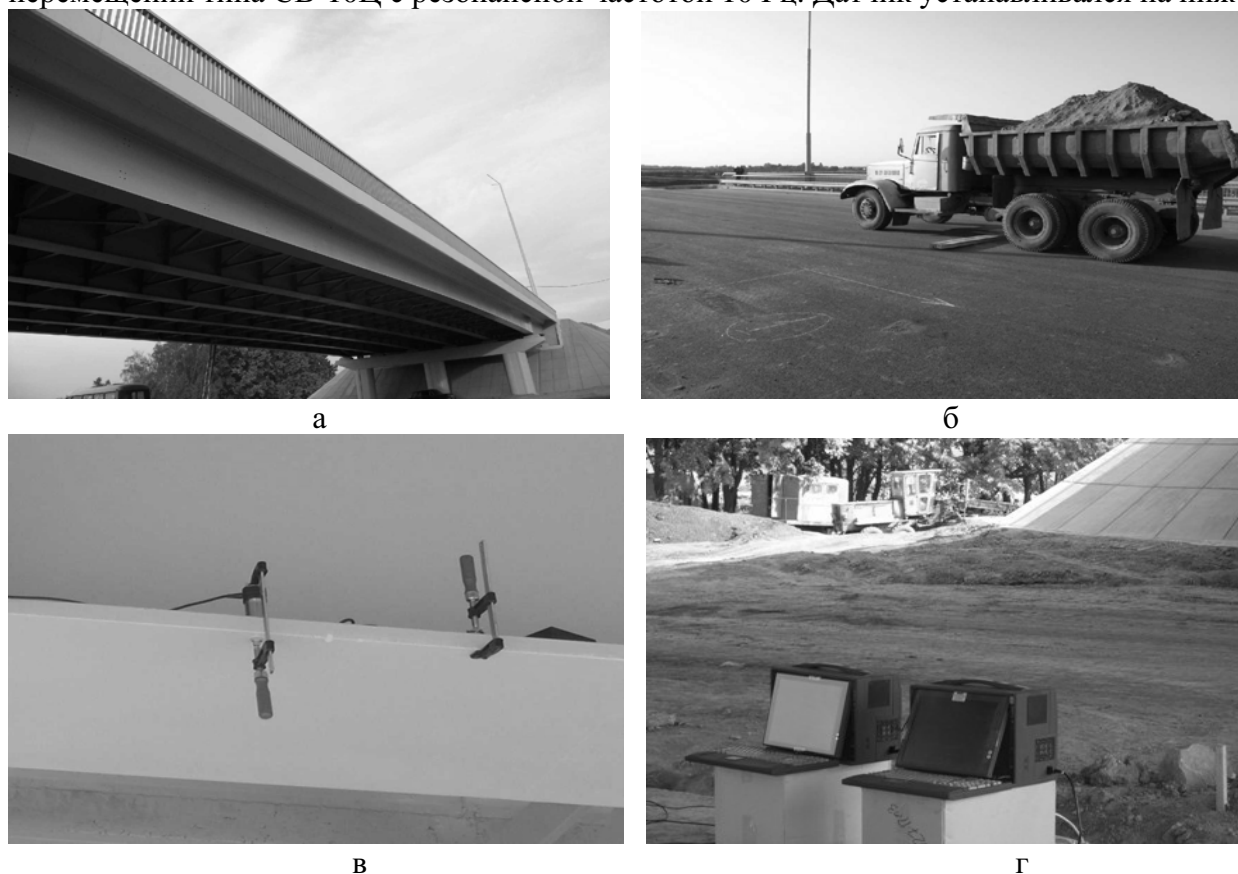


Рисунок 4. Фрагменты испытания моста: а – общий вид мостовой конструкции; б - проезд груженого грузового автомобиля типа КРАЗ через порожек; в - измерительные системы; г - размещение датчика скорости колебаний на нижней Т-образной поверхности несущей балке моста

ней части второй несущей Т-образной балке от края мостовой конструкции и жестко закреплялся на ней с использованием захвата (струбцины) (рис.4, в). Аналоговый электрический сигнал, возникающий на выходе датчика, преобразовывался в цифровой код и обрабатывался с использованием мобильной системы на базе ПК (типа АСМП), предназначенной для эксплуатации в полевых условиях (рис.4, г). По результатам регистрации и обработки сигналов колебаний конструкций проводился анализ полного набора их характеристик, рассмотренных выше. Кроме того, полученные данные, совместно с данными статических испытаний использовались для определения динамического коэффициента мостовой конструкции, в соответствии со СНиП-2.05.03-84 [12].

Фрагменты обработки результатов испытаний в виде спектров регистрируемых колебаний конструкции при ее динамических нагружениях показаны на рис. 5. На рис.5, а приведен амплитудный спектр колебаний, возникающих при движении груженого автомобиля по мосту, а на рис.5, б - амплитудный спектр колебаний, возникающих при переезде груженого автомобиля через порожек. В обоих случаях скорость движения автомобиля составляла 10 км/час. Из полученных результатов видно, что резонансные частоты и частоты отдельных мод в спектрах регистрируемых колебаний имеют близкие значения, несмотря на то, что условия возбуждения колебаний различаются между собой. Однако, резонансная кривая в области максимума при переезде автомобиля через порожек является

более широкой, по сравнению с резонансной кривой в области максимума при простом движении автомобиля по мосту с постоянной скоростью. При этом амплитуды колебаний на резонансе различаются между собой приблизительно в 7 раз. Это связано с тем, что при переезде автомобиля через порожек производится динамический удар, вызывающий собственные колебания конструкции, которые являются превалирующими при развитии колебательных процессов в конструкции. При этом увеличение ширины резонансной кривой в спектре, определяемое возникающими собственными колебаниями

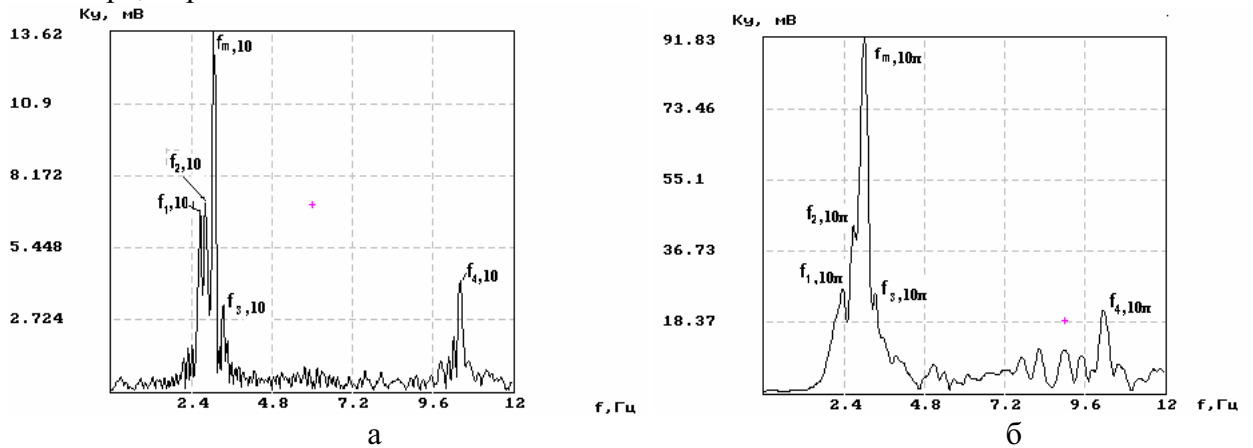


Рисунок 5. Спектры сигналов ускорения колебаний при скорости 10 км/ час: а – при движении автомобиля по мосту; б - при движении автомобиля по мосту с переездом через “порожек”. $f_{1,10}$, $f_{1,10п}$, $f_{2,10}$, $f_{2,10п}$,.....- частоты, соответствующие пикам в спектрах колебаний

конструкции, безусловно, характеризует ее демпфирующие свойства, параметры которых можно определять на уровне 0, 707 либо на уровне 0,5.

В таблице 1 приведены значения частоты f_T отдельных мод колебаний, полученных теоретическими расчетами для исследуемой конструкции моста, а в таблице 2 значения частот $f_Э$, определенных по результатам экспериментальных исследований, в соответствии с рис. 5. Частоты в таблице 2-А соответствуют рис.5, а, а в таблице 2-В – рис. 5, б. Резонансные частоты (пики с максимальной амплитудой) при движении автомобиля по мосту и при его переезде через порожек, соответственно, равны: $f_{Эр}=3,07$ Гц и $f_{Эр}=3,04$ Гц. При этом следует отметить, что при движении автомобиля по мосту в спектре колебаний наблюдаются пики и на частотах 2,16 Гц, 2,28 Гц, 2,4 Гц (рис.5, а), но их амплитуды приблизительно в 8 раз меньше амплитуды резонансной частоты (составляют ~14%). При переезде через “порожек” также наблюдаются пики на частотах 7,72 Гц, 8,24 Гц, 9,0 Гц, 9,52 Гц (рис.5, б, но их амплитуды приблизительно в 9 раз меньше амплитуды резонансной частоты (составляют ~12%).

Таблица 1

Расчетные значения частот отдельных мод колебаний мостовой конструкции

f_T , Гц	2,33	2,97	3,07	4,94	5,09	6,3	2,58	8,55	10,2
------------	------	------	------	------	------	-----	------	------	------

Таблица 2

Экспериментальные значения частот колебаний мостовой конструкции

A	$f_Э$, Гц	2,64	2,84	3,07	3,36	10,4
B	$f_Э$, Гц	2,36	2,68	3,04	3,36	10,2

Из результатов проведенных исследований видно, что в спектре реальных колебаний, фиксируются частоты близкие к расчетным значениям. Причем, моды колебаний с частотами 3,07 Гц и 10,2 Гц имеют хорошее совпадение с экспериментальными величинами. При этом в заданных условиях нагружения конструкции ее резонансная частота 3,07 Гц и 3,04 Гц соответствует третьей моде колебаний. В то же время, наблюдается ряд промежуточных частот. Их наличие, очевидно, связано с несовершенством методики проводимых испытаний, в которой динамическое нагружение конструкции осуществляется с использованием перемещаемой нагрузки (движение автомобиля), в то время как, в теоретических расчетах производится анализ мод свободных затухающих колебаний. Естественно, что с изменением скорости движения автомобиля (скорости перемещения динамической нагрузки) будет происходить изменение условий испытаний, что должно проявляться в изменениях спектров возникающих колебаний.

Заключение

Таким образом, разработанная информационно-измерительная система для исследования динамических характеристик конструкций на базе мобильного компьютера и средств технологии LabCard построена с распределением функций между аппаратными и программными средствами. Приоритетным в управлении элементами системы, операциями измерений, обработки информации и представлении результатов анализа является программный математический комплекс. Система позволяет проводить исследования динамических характеристик конструкций, оперативно и гибко модифицировать методы обработки регистрируемой информации, а также адаптировать систему под тип применяемого датчика без изменения ее внутренней электронной конфигурации. С использованием разработанной системы проведены экспериментальные исследования вынужденных и собственных колебаний модельных образцов и мостовых конструкций. Полученные результаты показали возможность обработки, как параметров регистрируемых сигналов, так и их спектров. Анализ экспериментальных данных при проведении диагностики мостовых конструкций после завершения их строительства показал хорошее согласование полученных результатов с результатами теоретических расчетов.

The principles of design and structure the system for research of constructions dynamic characteristics and results of its application to tests the bridges are considered. It is shown, that the developed system and analysis technique of constructions dynamic characteristics allows to process parameters, both forms, and spectra of arising oscillations with use the transducers of acceleration, speed and displacement.

1. Барашиков А.Я., Малышев А.М. Оценка технического состояния строительных конструкций, зданий и сооружений .- К.: НМЦ Держнаглядохоронпраці України, 1998.-232 с.
2. Делидзе Д.Е. Испытания конструкций и сооружений.-М.:Высшая школа, 1975.-252 с.
3. Лучко Й.Й., Коваль П.М., Дем'ян М.Л. Методи дослідження та випробувань будівельних матеріалів і конструкцій.-Львів: Каменяр, 2001.- 436 с.
4. Conceptual bases of technical diagnostics of bridges constructions/ V.M. Kartopoltsev, A.G. Borovikov and other.// Proceedings Int. Conf."VSU'2002". Sofia, Bulgaria, 2002.-V.1.-P.148-53.
5. Ren W.X., Blandford G.E., Harik I.E. Roebling suspension bridge. I: Finite-element model and free vibration response// J. of Bridge Eng.-ASCE(March/April), 2004.P.110-118.

6. Редченко В.П. Оцінка просторової роботи прогонової будови моста за результатами її випробувань рухомим навантаженням// Автомобільні дороги та дорожнє будівництво.-№69, 2004.-С.210-214
7. Бабак В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М., Корниенко-Мифтахова И.К. Информативность параметров сигналов низкочастотных колебаний при использовании индукционных датчиков скорости //Технологические системы.- №2(28).-2005.-С.19-23
8. Бочкарев Н.Н., Картопольцев А.В. Исследования динамики работы композиционных мостов с конечными вибрациями пролетов //Вестник Томского университета архитектуры и строительства.-№2.-2001.-С.145-154
9. Bochkarev N.N., Kartopolzev A.V., Selivanova T.V. “Vibrations of transport superstructures under influence of random traffic stream”// XV Session of the Russian Acoustical Society Nizhny Novgorod – 2004.-P.527-531
10. Волкова В.Є. Метод визначення динамічних характеристик пружних механічних систем за часовими процесами // Автомобільні дороги та дорожнє будівництво.-№ 69, 2004.-С.29-32.
11. Бабак. В.П., Филоненко С.Ф., Калита В.М. Определение динамических характеристик конструкций по анализу скорости низкочастотных колебаний //Технологические системы.-№ 1 (27), 2005.-С.35-40
12. СНиП 2.05.03-84. Мосты и трубы / Госстрой СССР.-М.:ЦИТП, 1985.-200 с.

УПРАВЛЕНИЕ КОММУТАЦИОННЫМИ ПРОЦЕССАМИ В
ИНТЕГРИРОВАННЫХ СЕТЯХ СВЯЗИ

Тищенко И.А., Лубяный В.З.

Постановка проблемы. Задачей данной работы является выбор наиболее оптимального при реализации на современной элементной базе подхода к выполнению коммутации в мини-АТС.

Анализ последних достижений.

Изменение аппаратного устройства АТС вызвало изменение требований к коммутационному полю. В современных цифровых АТС, вместо коммутации физических цепей, осуществляется коммутация синхронной информации, т.е. устанавливается логическое (виртуальное) соединение между двумя абонентами. Такая смена задачи существенно упростила реализацию коммутационного поля на цифровых ИС, поскольку емкость такого поля теперь в первую очередь зависит от быстродействия микросхем. Емкость полнодоступного неблокируемого коммутационного поля современных ИС порой достигает 10 тыс. каналов.

С применением современной элементной базы абонентская емкость увеличилась в 10-20 раз, или, другими словами, замена оборудования АТС высвобождает около 60-90% ранее занимаемой площади. Минимизация габаритов оборудования АТС позволила размещать их в «помещениях» площадью до 1 м² и эксплуатировать их в необслуживаемом режиме [1].

Преимущество таких «выносных» АТС ощутимо в случае их расположения в местах удаленного компактного размещения абонентов, что существенно снижает затраты на прокладку дополнительного кабеля и повышает качество связи, поскольку, длина абонентской линии, которая подвержена помехам в области тональных частот, становится минимизированной. Высвободившиеся кабельные пары абонентского кабеля вполне пригодны для транспортировки 30-канального телефонного потока непосредственно (для близких расстояний) с применением линейного кода HDB-3 (МЧПИ-3) или посредством xDSL модемов (для дальних расстояний) с применением линейного кода 2B1Q, QAM или других. Эффект также ощутим от замыкания внутреннего трафика в самой выносной АТС, что, в случае преобладания внутреннего трафика, резко сокращает количество отказов на предоставление соединения. Это объясняется тем, что для установления одной внутренней связи теперь не нужно занимать два канала связи в сторону опорной АТС, что, в свою очередь, позволяет использовать их по прямому назначению – для установления межстанционных связей. Функция распределения трафика возлагается на виртуальный анализатор кода станции, который фактически реализован в виде программного обеспечения и выполняется в центральном управляющем устройстве. Такая гибкость позволяет создать АТС с определенным индексом и неопределенным (по номеру) местонахождением абонента, что весьма удобно при создании больших корпоративных сетей связи.

Если такую «выносную» станцию организывает для себя фирма или предприятие это дает возможности для реализации некоторых полезных функций и такие станции называются офисные или мини-АТС. Именно в этом случае появляется возможность интеграции телефонных станций и компьютерной системы данной организации, что обеспечивает реализацию: записи телефонных переговоров, организацию конференций и автоматических диалоговых систем на основе синтеза и распознавания речи. Далее будет более подробно рассмотрен подход к выполнению коммутации в мини-АТС.

Изложение основного материала. В простейших мини-АТС коммутация сигналов осуществляется в аналоговой форме. Структура существующих аналого-

вых микросхем коммутации имеет вид решетки, обеспечивающей подключение любого из выводов группы X к любому из выводов группы Y. При построении мини-АТС на этих микросхемах рекомендуется [2] преобразовать каждый порт из двухпроводного в четырехпроводной, а затем подключать входы к группе X, а выходы к группе Y. Такая схема обеспечивает полную коммутацию. Недостатком ее является рост объема схемы коммутации пропорциональный квадрату числа портов, что вызывает большие затруднения при наращивании числа абонентов.

Нельзя забывать о том, что число портов мини-АТС определяется, как сумма:

- числа абонентов;
- числа линий, соединенных с городской АТС;
- количества участников, организуемой конференции;
- количества портов для выдачи и анализа служебных каналов;
- числа портов, необходимых для регистрации речи.

Для уменьшения объема схемы коммутации используется идея шнуровых комплектов, которая появилась еще на заре развития телефонии. В этом случае все порты подключаются к X выводам коммутатора, причем преобразование порта из двухпроводного в четырехпроводной не обязательно. А выводы Y рассматриваются как шнуровые комплекты.

Для организации разговора между двумя абонентами необходимо соответствующие порты подсоединить к одному и тому же шнуровому комплекту. То есть количество шнуровых комплектов определяет максимальное число одновременно ведущихся разговоров.

Для определения числа необходимых шнуровых комплектов рассмотрим математическую модель работы мини-АТС, представляющую из себя систему массового обслуживания (СМО) с отказами.

Данная задача была рассмотрена математиком Эрлангом. Но в отличие от классической теории Эрланга, где интенсивность поступления заявок λ остаётся постоянной величиной, в нашем случае λ пропорциональна числу незадействованных портов.

Для начала построим граф состояний, представляющий собой так называемую «схему гибели и размножения» [3]. Особенность этого графа в том, что все состояния системы можно вытянуть в одну цепочку, в которой каждое из средних состояний (S_1, S_2, \dots, S_{k-1}) связано прямой и обратной стрелкой с каждым из соседних состояний – правым и левым, а крайние состояния (S_0, S_k) – только с одним соседним состоянием.

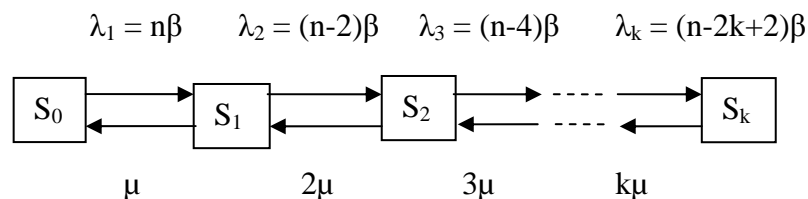


Рис. 1 Граф состояния для схемы гибели и размножения

Пользуясь графом, выведем уравнение вероятности отказа. Его существование вытекает из того, что из каждого состояния можно перейти в каждое другое, и число состояний конечно.

$$P_{отк} = P_k = \frac{n \cdot \beta \cdot (n-2) \cdot \beta \cdot (n-4) \cdot \beta \cdot \dots \cdot (n-2 \cdot k + 2) \cdot \beta}{\mu \cdot 2\mu \cdot 3\mu \cdot \dots \cdot k\mu} \cdot P_0 \quad (1)$$

где:

$P_{отк}$ – вероятность того, что пришедшая заявка получит отказ (не будет обслужена);

μ – интенсивность обслуживания;

n – количество портов;

k – число шнуровых комплектов;

β – интенсивность поступления заявок от одного порта;

$P_0, P_1, P_2, \dots, P_k$ – финальные вероятности состояний.

В числителе данной формулы стоит произведение всех интенсивностей, стоящих у стрелок, ведущих слева направо (с начала и до данного состояния S_k), а в знаменателе – произведение всех интенсивностей, стоящих у стрелок, ведущих справа налево (с начала и до S_k).

$$P_0 = \left(1 + \frac{n \cdot \beta}{\mu} + \dots + \frac{n \cdot \beta \cdot (n-2) \cdot \beta \cdot (n-4) \cdot \beta \cdot \dots \cdot (n-2 \cdot k + 2) \cdot \beta}{\mu \cdot 2\mu \cdot 3\mu \cdot \dots \cdot k\mu} \right)^{-1} \quad (2)$$

Для любого чётного n это выражение можно преобразовать к виду:

$$P_0 = \left(\sum_{m=0}^k \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^m \cdot \beta^m}{\left(\frac{n}{2} - m\right)! \cdot m! \cdot \mu^m} \right)^{-1} \quad (3)$$

Подставив в $P_{отк}$ значение P_0 получим:

$$P_{отк} = \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^k \cdot \beta^k}{\left(\frac{n}{2} - k\right)! \cdot k! \cdot \mu^k} \cdot \left(\sum_{m=0}^k \frac{\left(\frac{n}{2}\right)! \cdot 2^m \cdot \beta^m}{\left(\frac{n}{2} - m\right)! \cdot m! \cdot \mu^m} \right)^{-1} \quad (4)$$

В случае аналоговой коммутации происходит ограничение числа портов из-за необходимости увеличения количества микросхем и размера печатных плат, что приводит повышению уровня шума, вызванного электромагнитными наводками.

В настоящее время все мини-АТС, имеющие больше 15-20 портов, выпускаются с использованием цифровой коммутации сигналов. Сейчас вопрос преобразования звука в цифровой код и обратно решается всего одной ИС, а в ряде случаев $\frac{1}{2}$ или $\frac{1}{4}$ частью ИС, т.е. одна ИС поддерживает 2 или 4 дуплексных канала преобразования. Такие ИС в отечественной терминологии называются кофидеками или кодеками, поскольку содержат кодер (АЦП), декодер (ЦАП) и фильтры (входной полосовой фильтр и ФВЧ) [1]. Также кодек выполняет функцию цифрового компандирования сигнала, что позволяет сократить объем транспортируемой информации в 1,5 раза.

Применение в мини-АТС стандартных цифровых коммутаторов вряд ли целесообразно, поскольку их мощность намного превышает требуемую. Представляет интерес рассмотреть в качестве цифрового коммутатора микросхему коммутации конференций. В этом случае простой разговор двух абонентов рассматривается как конференция с двумя участниками. Такой подход дает следующие преимущества :

- организация ряда конференций с произвольным количеством участников;
- возможность коррекции характеристик индивидуальных телефонных аппаратов и соединительных линий путем введения управляемых коэффициентов передачи для входного и выходного сигнала по каждому порту.

Все эти функции может выполнить микросхема МТ8924 [4], которая:

- поддерживает до 10 независимых конференций для 32 портов;

- как и все цифровые коммутаторы, работает с шиной ST-BUS производительностью 2.048 МБ/с, с которой легко согласуются кофидеки;
- обеспечивает цифровую регулировку коэффициента усиления (0/-3/-6 децибел) в каждом канале;
- имеет параллельный канал обмена с микропроцессором для управления устройством;
- реализует программируемое подавление шума;
- имеет аналоговый вход для произвольного аналогового сигнала, который может подаваться на порты;
- обладает низким энергопотреблением, благодаря CMOS технологии.

В отличие от полнодоступного коммутатора использование такой схемы может вызвать отказ обслуживания, вероятность которого рассчитана с помощью приведенной выше математической модели и показана на рис. 2. Как видим, эта вероятность находится на приемлемом уровне.

В современных мини-АТС, как правило, устанавливают микросхемы DSP (Digital Signal Processing), которые используются для распознавания и синтеза тональных сигналов, а возможно и речи. Поэтому возникает вопрос: можно ли на DSP выполнить коммутацию программными средствами, не применяя отдельных микросхем коммутации.

Для примера рассмотрим возможности сигнальных процессоров семейства Blackfin, которые созданы на базе архитектуры MSA (Micro Signal Architecture. Архитектура MSA позволила создать класс сигнальных процессоров, которые оптимизированы не только для выполнения высокоскоростной цифровой обработки сигналов в режиме реального времени, но и функций управления/контроля, традиционно выполняемых классическими микроконтроллерами [5]. Кроме того, сигнальные процессоры Blackfin отличаются большим набором периферийных контроллеров (PCI, USB 1.1, SPORT, UART, SPI, I²S, PPI, универсальных таймеров и т. п.), обеспечивающих связь с "внешним миром", а также большим объемом встроенной памяти.

Процессорное ядро сочетает традиционные вычислительные устройства (MAC, ALU, DAG и другие), обычно применяемые в сигнальных процессорах, и, кроме того, его структура оптимизирована для выполнения RISC-подобных инструкций, характерных для микроконтроллеров.

Благодаря использованию языков высокого уровня (C/C++) в процессорах семейства Blackfin, по сравнению с сигнальными процессорами аналогичного класса, упростился процесс создания прикладных программ.

В контроллере порта SPORT реализован аппаратный компандер (А- или μ -закон) в соответствии с рекомендациями ITU (G.711). Через порт SPORT можно осуществлять многоканальную (до 128 каналов) передачу данных согласно протоколам, рекомендованным в стандартах H.100, H.110, MVIP-90 и HMVIP.

В этом случае рассмотренные выше функции, выполняемые микросхемой конференций, может выполнить модуль программного обеспечения DSP, причём с улучшенным качеством:

- количество портов увеличено до 128;
- поддерживается произвольное число конференций произвольного числа участников;
- обеспечивается расширенный диапазон и большую точность установки коэффициентов усиления.

Структурная схема такого программного модуля, осуществляющего расчёт отсчёта выходного сигнала для каждого порта, приведена на рисунке 2. Всего необходимо выполнить $\approx 10^6$ расчётов в секунду. Для реализации этого модуля требуется 10%-15% производительности DSP, что не мешает выполнению обычно возлагаемых на него задач. Микросхемы DSP в отличии цифровых коммутаторов и микросхем конференции производятся большими тиражами, а поэтому значительно дешевле последних, несмотря на их сложную структуру. Кроме того, исключается необходимость применения дополнительного микро-

процессора для осуществления логического управления мини-АТС.

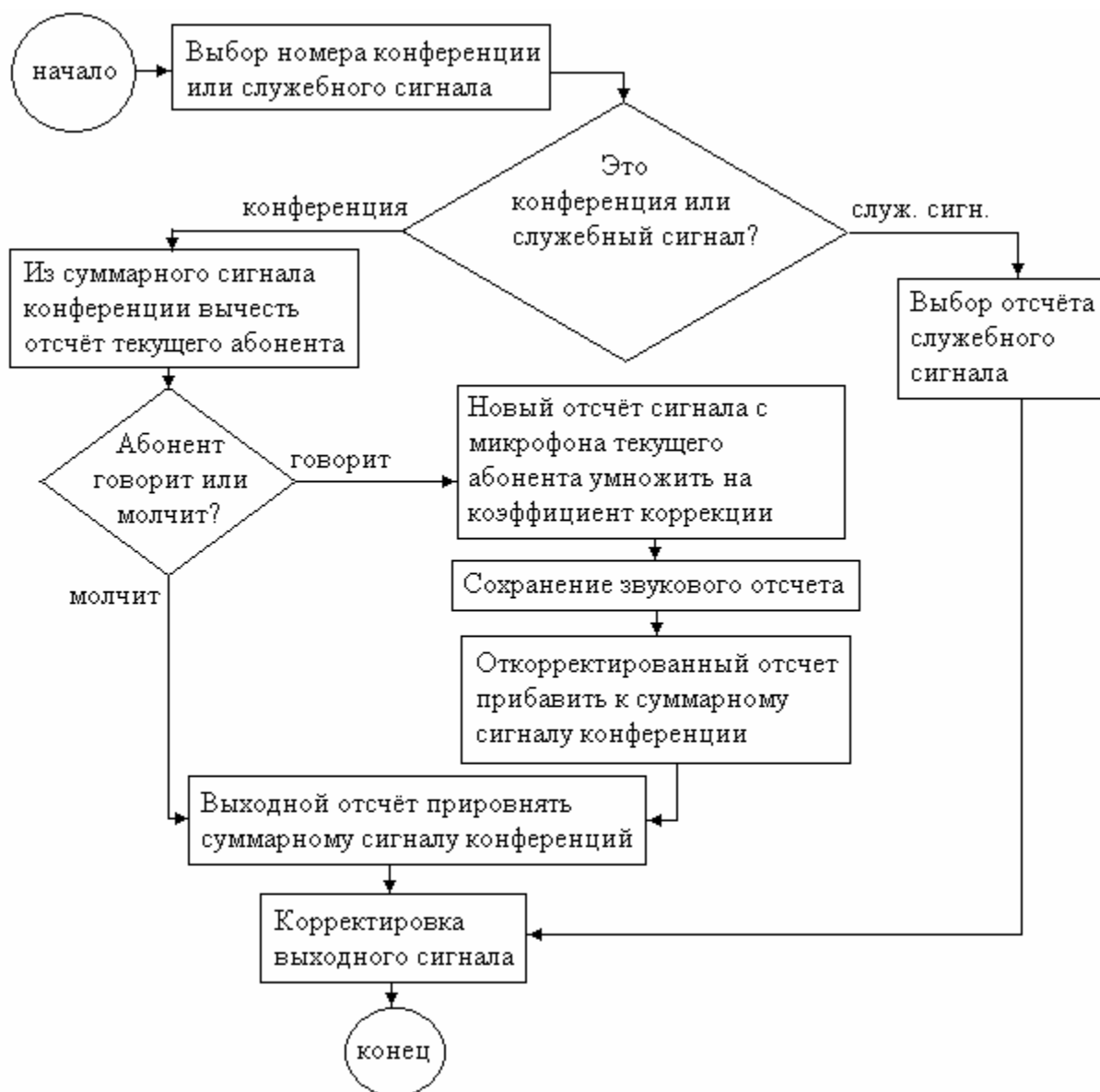


Рис. 2 Структурная схема модуля организации конференций на DSP

Связь между вероятностью отказа $P_{отк}$ и количеством портов n для классической задачи Эрланга ($k=6$) и модели мини-АТС ($k=6$ и $k=10$) показана на графике (рис. 3), построенном с помощью математического пакета MathCAD.

Выводы.

Таким образом на основе анализа трех подходов к выполнению коммутации в мини-АТС (аналоговая коммутация, цифровая коммутация на микросхемах конференций, цифровая коммутация на микросхемах DSP) можно сделать следующие выводы.

1. Переход к цифровой коммутации позволяет увеличить число абонентов и улучшить качество их обслуживания.
2. На основе математической модели мини-АТС рассчитана вероятность отказов в обслуживании, которая значительно отличается от величины получаемой по классической формуле Эрланга.

3. Аналоговая мини-АТС, имеющая 6 каналов коммутации может обслуживать до 20 абонентов, в то время как цифровая мини-АТС, построенная на основе схемы конференций легко обслуживает более 40 абонентов.

4. Показана целесообразность выполнения коммутации с помощью программного модуля организации конференций, входящего в состав программы работы цифрового сигнального процессора.



Рис. 3 Кривая зависимости между вероятностью отказа $P_{отк}$ и количеством портов n

Вероятностью отказа $P_{отк} = 0$ для цифровой коммутации на микросхемах DSP.

In clause methods of performance of commutation in office ATS are analyzed. The mathematical model of work office ATS, being system of mass service with refusals is considered. Communication between probability of refusal P_r and quantity of ports for office ATS which as shown considerably differs from classical problem Erlang is found. Curves of the given dependence are resulted on the schedule. Opportunities of realization of digital commutation of signals on microcircuits for realization of conferences and DSP are considered. The block diagram of the program module of the organization of conferences on DSP is offered.

1. И. Шостак «Этапы перехода к цифровой телефонии и их особенности», CHIP NEWS Украина, №8, 2004, с. 6.
2. Е.С. Вентцель «Исследование операций: задачи, принципы, методология», Москва: «Наука», Главная редакция физ.-мат. литературы, 1988.
3. Application of the MT8804A 8x4 Analog Switch Array. Application Note MSAN-101. – MITEL, July 1993.
4. MT8924 PCM Conference Circuit (PCC). Datasheets. – MITEL, April 1994.
2. В. Орхименко «Blackfin – сигнальные процессоры для мобильных приложений», Электронные компоненты и системы, №3, 2004, с.20.

ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 681:336

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КОРПОРАЦИЕЙ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ РАЗРАБОТКИ БЮДЖЕТА

Сидорук М.В., Сидорук В.В.

Введение. Информационная система управления (ИСУ) корпорацией – это операционная среда, которая способна предоставить менеджерам и специалистам актуальную и достоверную информацию обо всех бизнес-процессах корпорации, необходимую для планирования операций, их выполнения, регистрации и анализа. Т.е. - система, несущая в себе описание полного рыночного цикла – от планирования бизнеса до анализа результатов деятельности корпорации и его структурных подразделений.

Постановка проблемы. В данной статье сделана попытка, дать ответ на вопросы: какую роль играют ИСУ корпорацией в решении задач бюджетирования; почему до настоящего времени лишь некоторые украинские ИСУ имеют встроенный модуль бюджетирования. Ответы на эти вопросы важны как для развития отечественной индустрии ИСУ корпорациями, так и для широкого внедрения бюджетирования в практику работы украинских предприятий и организаций.

Изложение основного материала. Управление корпорациями в современных условиях требует все большей оперативности. Использование ИСУ является одним из важнейших рычагов развития бизнеса. Частные задачи, решаемые ИСУ, во многом определяются областью деятельности, структурой и другими особенностями конкретных корпораций [1-2]. В качестве примеров можно сослаться на опыт создания ИСУ для предприятия – оператора связи [3] и опыт внедрения партнерами фирмы SAP системы R/3 на ряде предприятий Днепропетровска и Киева [4]. При этом примерный перечень задач, которые должна решать ИСУ корпорации на различных уровнях управления и для различных его служб, к настоящему времени можно считать общепризнанным. Он приведен в табл.1.

Таблица 1.

Основные задачи ИСУ корпорацией.

№	Уровни и службы управления	Решаемые задачи
-1-	-2-	-3-
1	Руководство корпорацией	<ul style="list-style-type: none"> – обеспечение достоверной информацией о финансовом состоянии компании на текущий момент и подготовка прогноза на будущее; – обеспечение контроля за работой служб; – обеспечение четкой координации работ и ресурсов; – предоставление оперативной информации о негативных тенденциях, их причинах и возможных мерах по исправлению ситуации; – формирование полного представления о себестоимости конечного продукта (услуги) по компонентам затрат.

-1-	-2-	-3-
2	Учетно-финансовые службы	<ul style="list-style-type: none"> – полный контроль за движением средств; – реализация необходимой менеджменту учетной политики; – оперативное определение дебиторской и кредиторской задолженностей; – контроль за выполнением договоров, смет и планов; – контроль за финансовой дисциплиной; – отслеживание движения товарно-материальных потоков; – оперативное получение полного набора документов финансовой отчетности.
3	Управление производственными структурами	<ul style="list-style-type: none"> – контроль за выполнением производственных заказов; – контроль за состоянием производственных мощностей; – контроль за технологической дисциплиной; – ведение документов для сопровождения заказов (заборные карты, маршрутные карты; накопление судовых партий товара); – оперативное определение фактической себестоимости производственных заказов (тонны перевалки).
4	Службы маркетинга и рекламы	<ul style="list-style-type: none"> – контроль за продвижением новых товаров на рынок; – анализ рынка сбыта с целью его расширения; – ведение статистики продаж; – информационная поддержка политики цен и скидок; – использование базы стандартных писем для рассылки; – контроль за выполнением поставок заказчику в нужные сроки при оптимизации затрат на транспортировку.
5	Службы сбыта и снабжения	<ul style="list-style-type: none"> – ведение баз данных товаров, продукции, услуг; – планирование сроков поставки и затрат на транспортировку; – оптимизация транспортных маршрутов и способов транспортировки; – компьютерное ведение контрактов.
6	Службы складского учета	<ul style="list-style-type: none"> – управление многозвенной структурой складов; – оперативный поиск товара (продукции) по складам; – оптимальное размещение на складах с учетом условий хранения; – управление поступлениями с учетом контроля качества; – инвентаризация.

Информационные системы управления являются компьютерной поддержкой бюджетирования, которые в свою очередь является основным поставщиком информации для управления корпорацией. Цель информационной поддержки бюджетирования – обеспечить руководство низовых подразделений и дочерних предприятий информацией о текущем состоянии дел и спрогнозировать последствия изменений внутренней или внешней среды [5], для оперативного принятия решений по возможности без выхода на верхние эшелоны управления. Основные задачи бюджетирования согласно [6] представлены в табл.2.

Таблица 2.

Основные задачи бюджетирования корпорации.

№	Бюджетирование:	Основные решаемые задачи
1	в системе управления	Целевая задача общего бюджетирования – обеспечение продолжительного успешного функционирования организации. Основная задача оперативного бюджетирования – обеспечение методической, информационной и инструментальной поддержки менеджеров структурных подразделений.
2	потоков материальных и денежных	Поддержание рентабельности и обеспечение ликвидности предприятия.
3	производства	Информационное обеспечение процессов производства и управления в производственных подразделениях.
4	маркетинга	Информационная поддержка эффективного менеджмента по удовлетворению потребностей клиентов.
5	обеспечение ресурсами	Информационное обеспечение процесса приобретения производственных ресурсов, анализ закупаемых ресурсов, расчет эффективности работы коммерческого отдела и отдела снабжения.
6	в области логистики	Текущий контроль за экономичностью процессов транспортировки товара, складирования и дальнейшего накопления и транспортировки товарных партий.

Сравним (в соответствии с табл.3) основные задачи, которые решают ИСУ корпорацией и бюджетирования (см. табл.1 и табл.2).

Таблица 3.

Сравнение задач ИСУ корпорацией и бюджетирования.

Задачи ИСУ, решаемые для	Задачи бюджетирования
руководства корпорации	Бюджетирование в системе управления
учетно-финансовых служб корпорации	Общего бюджетирования
управления производством	Бюджетирование производства
служб маркетинга и рекламы	Бюджетирование маркетинга
коммерческого отдела и снабжения	Бюджетирование обеспечения ресурсами
служб складского учета (элеватора)	Бюджетирование в области логистики

Из табл.3 видно, что задачи ИСУ корпорацией, решаемые для каждого уровня управления, службы, дочерних предприятий соответствуют задачам, решаемым бюджетированием в той или иной сфере деятельности корпорации (а именно, бюджетированием в системе управления, общим бюджетированием и т.д.).

Если рассматривать структуру ИСУ корпорацией, то можно выделить 5 основных модулей, которые присутствуют в каждой информационной системе. Это финансово-экономическое управление, бухгалтерия и кадры, склад, производство, торговля (сбыт)[5].

Проведенный анализ 27 самых известных ИСУ, которые можно использовать для уровня корпорации и представленных на украинском рынке (по данным Интернет) показал, что только единицы имеют встроенный модуль бюджетирования (см. табл. 4).

Таблица 4.

Наличие модуля бюджетирования в ИСУ корпорации, представленных на украинском сегменте рынка.

№	Название продукта	Компания	Модуль бюджетирования
1	ABACUS	Омега	–
2	ALFA v 2.3	Информконтакт	–
3	AVACCO	AVACCO SOFT	+
4	NS 2000	Никос-Софт	–
5	RS Balance вер. 2.7	RStyle Softlab	–
6	Solegem	Технос-К	–
7	Аккорд	Алтант-информ	–
8	Алеф	Алеф Консалтинг&Софт	–
9	Апрель	ИНИСТЭК	–
10	АС+	Борлас	–
11	БОСС Корпорация	Айти	+
12	БЭСТ-про	Интеллект-сервис	–
13	Галактика	Галактика	+
14	Гепард	Эйс	–
15	Инталев:корпор финансы	Инталев	–
16	Лагуна 2000	Аккорд софт	–
17	ЛокОФФИС	ЛокИС	–
18	М-3	Клиент-серверные технологии	+
19	Модуль Менеджер-контактов	IBS TopS Ланит	–
20	Монополия	Формоза-софт	–
21	Парус	Парус	–
22	ТБ Корпорация	ТБ софт	–
23	ТЕКТОН	ТЕКТОН, ИнтелГрупп	–
24	ТИС (торгво-информационная система)	ТИС	–
25	Флагман	Инфософт	+
26	Фигаро-ERP	Бизнес-Консоль	+
27	Эталон	Цефей	–

Бюджетирование — это ответственная система финансового планирования бизнеса, которая должна предусматривать соответствующую обратную связь. Роль обратной связи в данном случае играет контроль выполнения бюджета. Любая система является жизнеспособной, если имеет в своем составе элементы обратной связи, которые предусматривают анализ того, что сделала система, и текущую корректировку поведения системы по мере поступления сигналов о ее состоянии. Система контроля выполнения бюджета корпорации является своеобразным мониторингом финансового состояния. Рассматривая пути практической реализации системы контроля, следует принимать во внимание стратегическое позиционирование корпорации.

Процесс контроля выполнения бюджета естественным образом начинается еще с разработки бюджета, которому предшествует работа по сбору и анализу необходимых данных. При разработке бюджетных форм следует предусматривать их максимальную

совместимость с отчетами, чтобы процедура контроля была максимально удобной: после реализации бюджета вместо плановых форм (основных бюджетов) появляются соответствующие отчеты, которые должны наследовать формат бюджетных таблиц. Важно произвести гармонизацию между системой учета и системой бюджетирования, в противном случае, бюджет останется только планом, а проверить его фактическое выполнение будет невозможно. Сопоставление плановых и фактических значений является ключевым элементом системы контроля выполнения бюджета. Такое сопоставление наиболее наглядно и информативно производить в относительном выражении. Затем наступает стадия анализа результатов контроля, которая приводит к завершению данного процесса. При этом выяснится, кто и что не так сделал и кого надо наказать, а кого — поощрить. Но на этом управляющая функция системы контроля не исчерпывается: необходимо выяснить, когда должны быть устранены негативные результаты, обнаруженные в процессе контроля, и, наконец, сколько еще надо продать, получить деньгами и т. д., для того чтобы исправить положение.

Общая схема бюджетного контроля по отклонениям, используемого в ИСУ корпорацией представлена на рис. 1.



Рис.1. Общая схема контроля

В процессе контроля исполнения бюджета планируемые и фактические данные детализируются до исходных составляющих, чтобы определить, что именно привело к расхождению. Пример детализации данных в процессе контроля при реализации алгоритма бюджетирования в ИСУ корпорации показан на рис. 2.



Рис.2. Пример детализации данных в процессе анализа исполнения бюджета

Различают четыре подхода к реализации системы контроля бюджета корпорации:

- простой анализ отклонений, ориентированный на корректировку последующих планов;
- анализ отклонений, ориентированный на последующие управленческие решения;
- анализ отклонений в условиях неопределенности;
- стратегический подход к анализу отклонений.

Простой анализ отклонений производится в соответствии со схемой (рис. 3). Суть подхода состоит в том, что система контролирует состояние выполнения бюджета сопоставлением бюджетных показателей и их фактических значений. Если отклонение носит существенный характер, то финансовый менеджер принимает решение о необходимости вносить соответствующие коррективы в бюджет последующего периода. В противном случае никакие корректирующие действия не производятся. В этой связи важным является вопрос о существенности издержек. Представляется, что в качестве критерия для определения важности издержек следует использовать итоговые бюджетные показатели, например, величину суммарного денежного потока (или сумму чистой прибыли). Имея соответствующую компьютерную программу, финансовый менеджер рассчитывает последствия конкретного отклонения фактических показателей от плановых значений на величину суммарного денежного потока. На основании отклонения фактического суммарного денежного потока от планового значения делается вывод о необходимости производить корректировку плана следующего периода.



Рис.3. Схема простого анализа отклонений

Анализ отклонений, ориентированный на последующие управленческие решения, предполагает более детальный факторный анализ влияния различных отклонений параметров бизнеса на прибыль или денежный поток. По существу, производится декомпозиция влияния всех, вместе взятых, отклонений на величину итогового показателя[6]. Технология проведения такого контроля выглядит следующим образом:

- установление факторов, которые влияют на величину итогового показателя;
- определение суммарного отклонения итогового показателя от бюджетного значения;
- определение отклонения итогового показателя в результате отклонения каждого отдельного фактора;
- установление приоритетов влияния отдельных факторов на величину итогового показателя;
- составления окончательных выводов и рекомендаций в части управленческих решений, направленных на выполнение бюджета.

В табл. 5 приведен пример контроля исполнения бюджета с элементами факторного анализа отклонений годовой прибыли корпорации.

Как видно из таблицы, отклонение фактической величины годовой прибыли существенно отличается от плановой. Проведенный в таблице анализ позволяет объяснить это отклонение. Во-первых, корпорация не выполнила план продаж в натуральном выражении, что привело к недополучению 550 тыс. долларов чистой прибыли. В то же время отпускные цены в целом увеличились, что позволило компенсировать снижение прибыли за счет невыполненного объема продаж. Наиболее существенным фактором явилось значительное подорожание сырьевых ресурсов. За счет увеличения цен на сырье компания потеряла 650 тысяч долларов чистой прибыли.

Пример контроля исполнения бюджета с элементами факторного анализа отклонений годовой прибыли корпорации.

Наименование статьи	Сумма	Отклонения		Пояснения
Чистая прибыль по бюджету	3575	+	–	
Чистая прибыль по факту	3100			
Отклонение	–475			
Факторы, повлиявшие на отклонение:				
Невыполнение объема продаж	–550		–550	Капремонт
Влияние отпускных цен на продукцию	335	335		Анализ по ассортименту прилагается
Влияние закупочных цен на сырье и материалы	–650		–650	В основном мировое удорожание на зерно и зернопродукты, повышение цен на ГСМ
Экономия производственных норм расхода сырья и материалов	300	300		В связи с модернизацией оборудования с середины года
Экономия эксплуатационных издержек (ремонты и обслуживание оборудования)	400	400		Анализ по подразделениям
Перерасход по ЗП производственного персонала	–150		–150	Законодательное увеличение мин. зарплаты с января бюджетного года
Экономия административных и сбытовых затрат	200	200		Расшифровка прилагается
Экономия финансовых затрат (% банкам)	80	80		Перекредитовка кредитов под более низкие проценты в другом банке
Не запланированные расходы	–400		–400	
В том числе:				
премии за отдельные виды работ	–30			
штрафы и пени	–50			по итогам неплановой налоговой проверки
спонсорские помощи по указанию собственника	–320			
Прочие незначительные экономии / перерасходы	–40	60	–100	соцсфера, профсоюзы, пр.
Итого: отклонение чистой прибыли	–475	1375	–1850	

Хорошим показателем в отчете является экономия компании на нормах расхода сырья, производственных накладных издержках и административных расходах. Очевидно, что текущая ситуация на рынке заставила руководство компании «затянуть пояса» в части этого вида затрат. Были и незапланированные расходы, в числе которых основную долю составляет спонсорская помощь.

Выводы: Информационная система управления (ИСУ) корпорацией предоставляющая менеджерам и специалистам актуальную и достоверную информацию

обо всех бизнес-процессах корпорации, необходимую для планирования операций, их выполнения, регистрации и анализа, система, несущая в себе описание полного рыночного цикла – от планирования бизнеса до анализа результатов деятельности его структурных подразделений через бюджетирование - позволяет решать задачи состояния финансов и давать ЛПР полный спектр характеристик для принятия решений.

Предложенный в статье подход внедряется на одном из дочерних предприятий корпорации WJ Grain в Херсонской области.

The questions of development informatic control system of corporation are discussed.

1. Сидорук М.В., Рогальский Ф.Б. Использование SWOT-анализа в системе управления корпорацией // Вестник Херсонского национального технического университета. – 2005. – №5(23). –С. 143–149.

2. Рогальский Ф.Б., Ходаков В.Е., Сидорук В.В., Сидорук М.В. Многоконтурное управление хлебоприёмными предприятиями // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2001. – №1(10). –С. 153–159.

3. Менеджмент. Учебное пособие/Под ред. Ж.В.Прокофьевой. – М.: Знание, 2000. – 288 с.

4. Виноградов С.Л. Контроллинг как технология менеджмента. Заметки практика // Контроллинг. – 2002. - №2.

5. Карминский А.М., Дементьев А.В., Жевага А.А. Информатизация контроллинга в финансово-промышленной группе // Контроллинг. – 2002. - №2.

6. Карминский А.М., Оленев Н.И., Примаков А.Г., Фалько С.Г. Контроллинг в бизнесе. Методологические и практические основы построения контроллинга в организациях. – М.: Финансы и статистика, 1998. – 256 с.

СТРУКТУРА И ПРИНЦИПЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА БАЗЕ НОВЫХ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н.

Постановка задачи. Для успешной борьбы с пожарами очень важно уметь прогнозировать их динамику. До недавнего времени это могли делать только специалисты на основе своего многолетнего опыта. С появлением новых прогрессивных геоинформационных технологий появилась возможность автоматизации расчетов динамики пожара с учетом особенностей конкретной местности и погодных условий, а также наглядного представления результатов расчетов на электронных картах. Геоинформационная система (ГИС) представляет собой программно-аппаратный комплекс, способный вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Другими словами, ГИС – это системы, обладающие мощными средствами и инструментарием для построения не только векторных карт местности на основе растровых изображений, но и визуального отображения на них различных явлений техногенного и природного характера.

Стремительные темпы развития геоинформационных систем в мире, безусловно, привели к их широкому внедрению и в Украине. На сегодняшний день на рынке ПО ГИС представлено множество новых версий известных программных продуктов, таких как ARC/INFO, ERDAS IMAGINE, IMAGINE VIRTUALGIS, ARCVIEW GIS, MAP/INFO PROFESSIONAL и т.д.

Таким образом, представляет практический и научный интерес разработка эффективной прикладной ГИС, способной не только прогнозировать распространение лесного пожара, но и осуществлять поддержку принятия решений во время его ликвидации. Эта прикладная система должна быть:

- универсальной и не зависимой от специфических природных условий, в которых имеет место реальный лесной пожар;
- автоматизированной и требующей минимального участия экспертного контроля за процессом;
- простой в использовании;
- способной адекватно прогнозировать закономерности распространения лесного пожара.

Анализ существующих прикладных систем. В настоящее время значительное внимание уделяется вопросам мониторинга лесных пожаров. Так в Канаде, Канадским Центром Дистанционного Зондирования и Канадской Службой Леса была разработана система мониторинга, картографирования и моделирования пожаров FireM3 [3]. Эта система использует данные спутника NOAA AVHRR для обнаружения горячих точек пожаров и наблюдения за их изменениями с помощью датчиков AVHRR, SPOT VEGETATION и HRV, а также Landsat Thematic Mapper для картографирования прогоревших территорий в конце сезона пожаров. При моделировании используются данные наземных наблюдений о погоде и типах топлива, а также информация о смоделированной и наблюдаемой динамике огня для оценки эмиссии аэрозолей и парникового газа.

Европейским объединенным центром исследований, Ispra, Италия, разработана так называемая Всемирная Сеть Пожаров [3]. Она состоит из сети приемных станций, а также специализированного программного обеспечения для обнаружения расположения горячих точек и картографирования прогоревшей области. Это обеспечивает механизм создания

системы глобального мониторинга пожаров в форме звеньев, соединяющих узловые пункты.

Компания Space Imaging в составе интегрированного набора своего программного обеспечения, предлагает специальный пакет EcoDSS, разработанный совместными усилиями нескольких фирм и организаций. В него включен ряд прикладных модулей, в том числе приложение по отслеживанию лесных пожаров. Это приложение основано на программной платформе ESRI и обеспечивает прямой обмен данными между базой геоданных ArcGIS и программой FARSITE – симулятором динамики пожара. Через интерфейс пользователя можно задать параметры сценария пожара и переслать пространственные и табличные данные вместе с входными параметрами из ArcGIS в модель пожара FARSITE. После завершения расчетов результаты моделирования пересылаются в базу геоданных ArcGIS, а выходные тематические слои автоматически добавляются в окно приложения ArcMap.

Все эти системы, безусловно, эффективны, однако они не удовлетворяют всем поставленным выше требованиям. В настоящее время, для своевременного предупреждения и ликвидации лесных пожаров необходимы системы, способные осуществлять не только мониторинг пожаров, но и поддержку принятия решений во время их ликвидации.

Цель статьи. Целью статьи является описание структуры и принципов функционирования прикладной ГИС, сочетающей в себе подсистему мониторинга лесных пожаров и подсистему формирования оптимальных планов тушения. Система разрабатывается на кафедре информационных технологий Херсонского национального технического университета.

Структура системы. Структура системы моделирования лесных пожаров приведена на рисунке 1.

Система состоит из двух подсистем:

- подсистемы мониторинга лесных пожаров;
- подсистемы формирования оптимальных планов тушения.

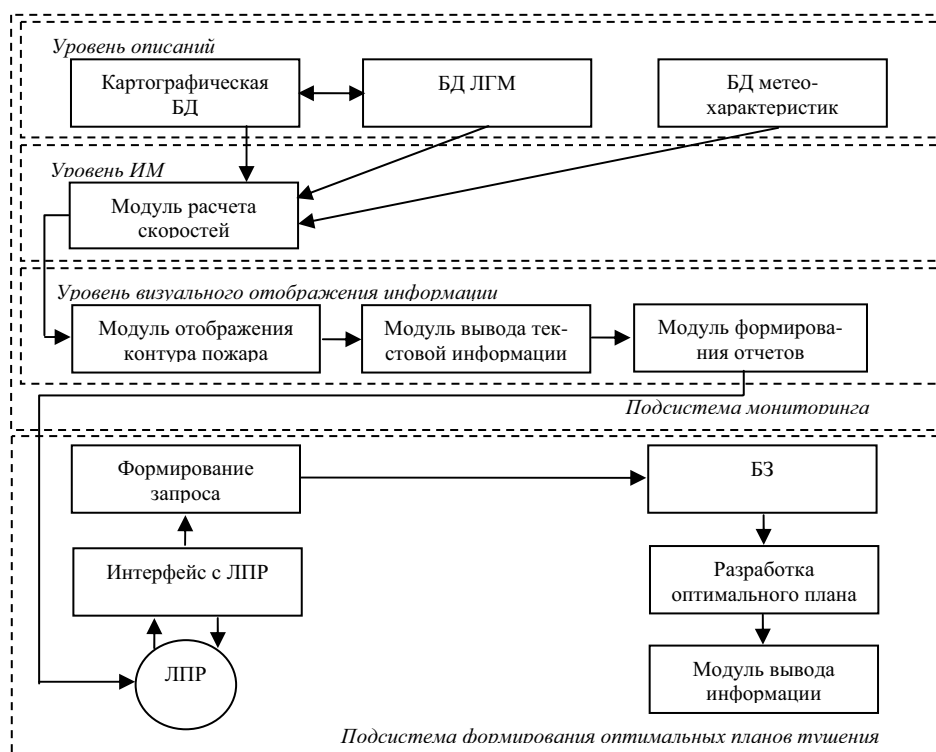


Рис.1 Общая структура системы

На рис. 1 БД – база данных; БЗ – база знаний; ЛГМ – лесной горючий материал; ЛПР – лицо, принимающее решение.

Подсистема мониторинга прикладной ГИС оперирует данными, входящими в состав трех основных баз: картографической базы данных в векторном формате, базы данных, содержащей характеристики лесных горючих материалов (ЛГМ) и базы данных, содержащей метеорологические характеристики. В картографической базе данных основной единицей хранения географической информации является полигон – плоская замкнутая фигура, состоящая из вершин, соединенных прямыми линиями. Полигон очерчивает границы участков с однородной растительностью на векторной карте. Следует отметить, что каждая единица информации из картографической базы данных геокодирована, т.е. привязана к соответствующей записи из базы данных ЛГМ. Таким образом, для каждого полигона определены характеристики лесных горючих материалов. Это позволяет пользователю произвольно выбирать на карте источник пожара и осуществлять моделирование именно из выбранной точки. После выбора источника пожара данные о координатах выбранного участка и характеристиках ЛГМ поступают в уровень имитационного моделирования. Этот уровень является основным звеном подсистемы, так как именно здесь производится расчет скоростей продвижения фронта лесного пожара по всем направлениям.

Далее управление передается на уровень визуального отображения информации, где на основе данных, полученных из предыдущего уровня, на карте визуально отображается контур пожара и формируется отчетность.

В подсистеме формирования оптимальных планов тушения пожара лицо, принимающее решения, через свой интерфейс подает запрос к базе знаний. Решение формируется на основе существующих планов тушения пожара, исходя из описания признаков (направление ветра, температура воздуха, влажность воздуха и т.д.). Посредством поиска в базе знаний существующих планов, подсистема восстанавливает набор планов, которые в подобном контексте работали успешно.

После этого ЛПР, через интерфейс с ЛПР, получает ответ на свой запрос: рекомендацию по локализации и ликвидации пожара.

Математический аппарат. Рассмотрим математический аппарат, на котором основана математическая модель распространения пожара. В основу расчета скорости распространения огня нами взята экспериментально–аналитическая модель Р. Ротермела [2].

Данная модель имеет определенные преимущества по сравнению с иными моделями: небольшое количество входных данных, реальная возможность измерения входных параметров, сравнительная простота расчетов, универсальность использования модели, наглядность полученных результатов.

Кроме того, модель Р. Ротермела была включена в Национальную систему определения пожарной опасности США, где прошла проверку в течение многих лет. А высокая точность и универсальность модели делает ее важным инструментом при решении многих прикладных задач.

Для реализации модели необходимо классифицировать различные виды растительности. Мы ограничимся классификацией по величине характерного размера частиц. Все горючие материалы разделим на две категории: отмершая растительность и живая растительность. Отмершую растительность в свою очередь разделим на размерные классы, определяющие диапазон изменения характерных размеров частиц. При этом частицы с диаметром до 6 мм отнесем к первому размерному классу, от 6 до 24 мм – ко второму, от 24 до 72 мм – к третьему. Итак, будем рассматривать лесную территорию в виде горизонтального слоя горючих материалов, представляющего собой смесь частиц горючего из двух категорий, причем в i -ой категории содержится n_i размерных классов ($i=1,2$).

Ограничением модели Ротермела является то, что она позволяет рассчитывать величину наибольшей скорости – скорости в направлении наиболее быстрого распространения огня, и не отвечает на вопрос о величинах скоростей в других направлениях. Поэтому авторами статьи предлагается дополнить модель специальной функцией – индикатрисой распространения, учитывающей зависимость скорости от угла, образованного направлением распространения и ветром.

Известно, что нормаль к контуру может образовывать с неким направлением ветра произвольный угол α .

$$\alpha = \arccos \frac{\omega \mathcal{G}_n}{|\omega| |\mathcal{G}_n|}, \quad (1)$$

где ω - вектор скорости ветра, $|\omega|$ - величина скорости ветра. Аналогично обстоит дело с учетом влияния уклона местности. С наибольшей скоростью огонь распространяется вверх по склону в направлении наиболее крутого подъема, с наименьшей – в противоположном направлении. Таким образом, если s - вектор градиента (т.е. наиболее крутого подъема) местности, то скорость распространения огня зависит от угла

$$\gamma = \arccos \frac{s \mathcal{G}_n}{|s| |\mathcal{G}_n|}, \quad (2)$$

где $s = |s|$ - величина уклона местности. Ветер и склон влияют на распространение пожара как самостоятельно, так и во взаимодействии. Эти факторы будем учитывать отдельно с помощью специальных множителей, которые называются индикатрисами.

Рассмотрим задание нормальных скоростей.

В этом случае упомянутые множители являются функциями углов α и γ и величин ω и s . Будем называть их индикатрисами нормальной скорости и обозначать следующим образом: $\chi_{\text{нв}} = \chi_{\text{нв}}(\alpha, \omega)$ - индикатриса нормальной скорости для ветра; $\chi_{\text{нс}} = \chi_{\text{нс}}(\gamma, s)$ - индикатриса нормальной скорости для склона.

С учетом сказанного величина нормальной скорости контура будет представлена в виде $\mathcal{V}_n(\alpha, \gamma, \omega, s) = \mathcal{V}_0(\omega, s) \times \chi_{\text{нв}}(\alpha, \omega) \chi_{\text{нс}}(\gamma, s)$, где $\mathcal{V}_0(\omega, s)$ - скорость движения фронта пламени в направлении ветра и вверх по склону, т.е. для случая, когда направление ветра совпадает с наибольшей крутизной склона. Эта скорость определяется моделью Ротермела.

Следует иметь в виду, что функции χ_n зависят не только от α и γ, ω и s , но и от характеристик горючего (влажности, пористости и др.). Однако, несмотря на слабую изученность этих зависимостей, все же ясно, что наиболее сильное влияние на пространственный характер распространения огня оказывают именно перечисленные параметры.

Так как в своей работе мы рассматриваем горизонтальный слой горючего материала, т.е. $s = 0$, то использоваться будет только одна индикатриса - индикатриса ветра. Обозначим ее просто $\chi_n(\alpha, \omega)$ и $\chi_n(\alpha)$, если ветер можно считать постоянным. Однако следует иметь в виду, что все полученные ниже результаты легко обобщаются на случай $s \neq 0$.

Индикатриса ветра обладает следующими свойствами:

1. $\chi(0, \omega) = 1$;
2. $\chi(\alpha, \omega) \leq 1$ при $\omega > 0, \alpha \neq 0$;
3. $\chi(\alpha, \omega) = \chi(-\alpha, \omega)$ при $0 \leq \alpha \leq \pi$;
4. $\chi_n(\alpha, 0) \equiv 1$ при $-\pi \leq \alpha \leq \pi$.

Первые два свойства говорят о том, что индикатриса максимальна в направлении ветра, а для других направлений она убывает. Третье свойство определяет симметричность индикатрисы относительно направления ветра. Четвертое свойство

определяет условие распространения для безветренной погоды: горение распространяется во все стороны с одинаковой скоростью.

Дополнение модели этой функцией позволило находить скорость распространения огня в каждой точке контура пожара. Таким образом, использование индикатрис позволяет находить скорости распространения огня в любых направлениях и описывать контуры пожаров сложной формы.

Результаты моделирования. Разрабатываемая прикладная система базируется на географической информационной системе MAPINFO PROFESSIONAL [9]. Это мощная система географического анализа, с помощью которой можно вводить, хранить, обновлять, манипулировать, анализировать и выводить все виды географически привязанной информации. Кроме того, ГИС MAPINFO PROFESSIONAL работает на платформах PC (Windows 3.x/95/98/NT), PowerPC (MacOS), Alpha, RISC (Unix), что позволяет переносить файлы данных с платформы на платформу без конвертации, тем самым, расширяя круг пользователей.

В качестве объекта моделирования выбрана часть Ивановского лесничества Херсонской области. На основе моделей, описанных выше, были проведены экспериментальные расчеты и смоделирована область пожара (рис. 2).

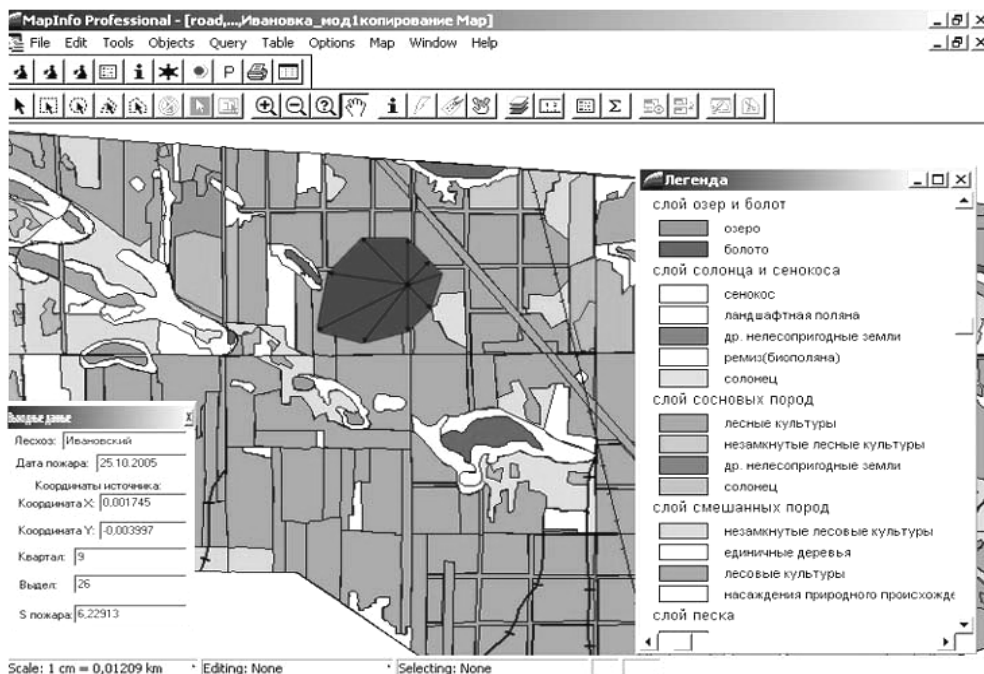


Рис.2 Моделирование распространения лесного пожара

В результате моделирования получили контур пожара, геометрическая форма которого представлена на рис. 3:

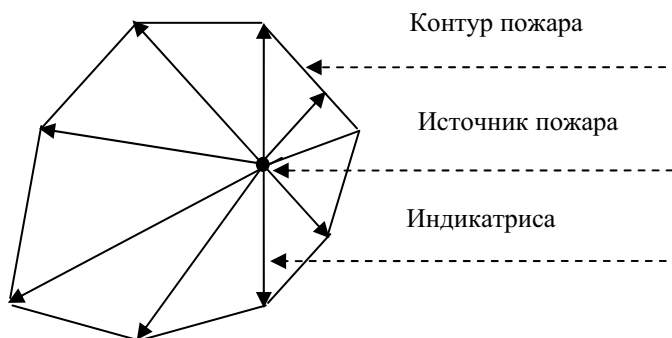


Рис.3 Геометрическая форма пожара

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что рассматриваемая нами модель правильно отражает основные характерные особенности пожара. Модель допускает дальнейшее усовершенствование, что и предполагается осуществить в дальнейшем.

Вывод. Данная ГИС может найти широкое применение в лесохозяйственной промышленности для охраны лесов и поддержки принятия решений во время ликвидации лесных пожаров. Она поможет не только хранить и обрабатывать данные, но и преумножать опыт специалистов. Кроме того, программа позволит ускорить процесс документирования пожаров и проведения тщательного анализа, как каждой отдельной ситуации, так и набора ситуаций в целом.

Также ГИС позволит принимать организационные и технические меры для уменьшения риска пожара, материальных и людских потерь.

Description of the structure and principle of the operation decision support system is offered in article during liquidation of the wildfires. The System consists of two subsystems: subsystems of the monitoring the wildfires and subsystems of the shaping optimum plan stewings. At development of this system were used new geoinformation technologies.

1. Волков А. М., Ломнев В. С., 1989. Классификация способов извлечения опытов экспертов // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. № 5.
2. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1979, 161 с.
3. Интегрированный ДЗЗ-ГИС подход к мониторингу, картографированию и моделированию лесных пожаров во всемирных естественных лесах / Ахерн Ф. Дж., Ли З., Чичагов А., Ли Б., Грегор Дж-М., Пиннок С. // Девственные леса мира и их роль в глобальных процессах: Международная конференция, Хабаровск , 15-20 авг., 1999. Тезисы докладов. - Хабаровск, 1999 - С. 69 .
4. Корнеев Д.Г. Математическое моделирование развития лесного пожара // Электронное моделирование. – 1999. – 21, № 3. – с. 84 - 94.
5. Коровин Г.Н. Особенности расчета периметров низовых лесных пожаров. – “Сборник науч.- исслед. работ по лесному хозяйству”, вып. 9, 1967, с. 330 - 345.
6. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. М., Гослесбумиздат, 1949. – 74 с.
7. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесного пожара // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2002. - № 1(14). - С. 312-315
8. Ходаков В.Е., Граб М.В. Моделирование распространения лесных пожаров // Вестник Херсонского государственного технического университета. – 2003. - № 2(18). - С. 33-41
9. Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии. – М.: “Финансы и статистика”, 1998. – 288 с.

ПРО ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО МОВИ САА/Д ДЕЯКИХ ЗАСОБІВ ПАРАЛЕЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ ПАКЕТУ MРІСН

Петрушенко А.М., Хохлов В.А., Петрушенко І.А.

Робота присвячена подальшому розвитку інструментальних засобів алгебро-граматичних методів представлення і розробки знань в різноманітних предметних областях - діалогової трансформаційної машини (ДТМ) і її вхідної мови САА/Д – мови моделей алгоритмів і відповідних їм програм і визначених класів апаратури [1,2], у зв'язку з можливістю використання цього інструментарія для синтезу розподілених додатків для кластерів, які останнім часом почали розробляти і використовувати для виконання значних обсягів трудомістких обчислень, не лише за кордоном, а і в Україні. З цією метою необхідно:

- 1) проаналізувати деякі апаратні і мовні особливості кластерів в порівнянні з іншими розподіленими обчислювальними системами (ОБС);
- 2) мову САА/Д розширити засобами паралельних обчислень;
- 3) до мови САА/Д підключити відповідні засоби паралельного програмування;
- 4) нові можливості ДТМ експериментально продемонструвати на прикладі синтезу в ДТМ відповідного розподіленого додатку.

Кластери та їх місце в класі розподілених обчислювальних систем

Кластери відносяться до розподілених (або децентралізованих) ОБС [3,4]. Оскільки основною ознакою розподілених ОБС є наявність декількох центрів обробки даних, то, поряд з кластерами, до розподілених ОБС відносяться також мультипроцесори і комп'ютерні мережі (КМ).

В мультипроцесорах є декілька процесорів, кожен із яких може відносно незалежно виконувати свою програму. В мультипроцесорі існує спільна для всіх процесорів операційна система (ОС), яка оперативно розподіляє обчислювальне навантаження між процесорами. Взаємодія між окремими процесорами організується найбільш простим способом – через спільну оперативну пам'ять (ОП). Сам по собі процесорний блок не є закінченим комп'ютером і тому не може виконувати програми без інших блоків – пам'яті і периферійних пристроїв, які суть для всіх процесорів мультипроцесора спільними.

Основні переваги мультипроцесора – його висока продуктивність і відмовостійкість. Продуктивність досягається за рахунок паралельної роботи декількох процесорів. Оскільки при наявності спільної ОП взаємодія процесорів здійснюється дуже швидко, мультипроцесори можуть ефективно виконувати навіть додатки з високим ступенем зв'язків по даним. Відмовостійкість призводить, в загальному випадку, до зниження продуктивності (але не до нуля, як в звичайних системах), оскільки для того, щоб мультипроцесор міг продовжити роботу при відмовах деяких елементів, наприклад одного з процесорів чи блоку пам'яті, необхідне спеціальне програмне забезпечення.

Основна мета створення КМ - розподіл локальних ресурсів кожного комп'ютера між всіма користувачами мережі. В КМ програмні і апаратні зв'язки є набагато слабшими, ніж в мультипроцесорах, а автономність оброблюючих блоків проявляється значно сильніше – основними елементами КМ є стандартні комп'ютери, що не мають ні спільних блоків пам'яті, ні дискових накопичувачів, що керуються сумісно. Кожен комп'ютер працює під управлінням власної ОС, а "спільна" ОС відсутня. Взаємодія між комп'ютерами КМ відбувається через мережеві адаптери і канали зв'язку, які, власне, вирішують в КМ досить просту задачу - передають повідомлення від одного комп'ютера до іншого, як правило - запит і відповідь про можливість доступу до локальних ресурсів

один одного, а основну роботу по організації сумісного використання ресурсів виконують клієнтські і серверні частини ОС.

Кластери володіють проміжними по відношенню до мультипроцесорів і КМ властивостями. Кластер (багатомашинна система) – це обчислювальний комплекс, що складається з декількох комп'ютерів, кожен з яких працює під керуванням власної ОС, а також програмні й апаратні засоби зв'язку комп'ютерів, що забезпечують роботу всіх комп'ютерів комплексу як єдиного цілого. На відміну від мультипроцесорів, що реалізовані на рівні процесорних блоків, кластер складається з декількох, здатних працювати автономно, як правило стандартних, комп'ютерів, кожен з яких має звичайну структуру, що включає один або кілька процесорних блоків, ОП і периферійні пристрої. Однак, завдяки спеціальному програмному й апаратному забезпеченню міжкомп'ютерних зв'язків, для користувача кластер виглядає як єдиний комп'ютер. При цьому кожен комп'ютер, який називають також вузлом кластера, може бути як однопроцесорним, так і мультипроцесорним – на організацію кластера це не впливає.

Кластери застосовують для підвищення надійності і продуктивності ОБС. Надійність підвищується за рахунок того, що при відмовленні одного з вузлів кластера обчислювальне навантаження (або частина його) переноситься на інший вузол. Для виконання цієї операції в кластері використовуються два типи зв'язків між вузлами: міжпроцесорні зв'язки і зв'язки за рахунок поділюваних дисків. Міжпроцесорні зв'язки використовуються вузлами для обміну службовою інформацією. Зокрема, за допомогою цих зв'язків кожен вузол кластера періодично перевіряє стан інших вузлів і виконуваних ними обчислювальних задач. Якщо який-небудь вузол або одна з його задач, що входить у набір задач, які захищаються від відмовлень, змінили свій стан на непрацездатний, то починається процедура переміщення (реконфігурації) навантаження на один із працюючих вузлів. У цій процедурі важливу роль грають поділювані диски. Задача, що захищається, повинна зберігати свої дані на одному з таких дисків, щоб новий вузол зміг продовжити їхнє використання після відмовлення основного. Оскільки надійність дискових накопичувачів досить висока (її можна підвищити за рахунок додаткових заходів, наприклад задзеркалювання поділюваного диску), то істотно підвищується і надійність кластера в порівнянні з окремим комп'ютером. Час перекладу навантаження на інший вузол кластера при відмовленні значно більший, ніж час переходу на інший процесор у мультипроцесорі, тому що він пов'язаний з активізацією нової копії програмного процесу на іншому вузлі. При цьому також можлива втрата частини даних, що знаходилися в ОП вузла, що відмовив, але для визначених типів обчислювального навантаження, наприклад систем керування базами даних або web-серверів, ці втрати не позначаються на можливості продовжувати обчислення.

Якщо кластер застосовується для підвищення продуктивності, то кожна задача розпаралелюється на декілька гілок, що виконуються одночасно на декількох вузлах кластера. Синхронізація роботи декількох копій задачі або їхніх гілок, а також синхронізація вироблених ними даних, здійснюється як за рахунок міжпроцесорних зв'язків, так і за рахунок поділюваної дискової пам'яті. Менш тісні і менш швидкісні зв'язки між вузлами кластера в порівнянні зі зв'язками процесорів у мультипроцесорі диктують область застосування кластерів – це задачі, досить незалежні за даними.

Для організації міжпроцесорних зв'язків у кластерах часто використовуються спеціалізовані технології, пристосовані до рішення специфічних задач взаємодії комп'ютерів у кластері. Однак останнім часом усе частіше для цієї мети застосовують стандартні технології локальних мереж, наприклад Fast Ethernet і Gigabit Ethernet. Спільний доступ до дисків також може здійснюватися різними способами. Найбільш популярними варіантами є застосування інтерфейсу SCSI і технології Fibre Channel. Тенденція переходу на стандартні технології локальних мереж у цій області поки виражена не так чітко, як в області міжпроцесорних зв'язків, але вона також міняється.

Дана робота була обумовлена створенням в Інституті кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України кластеру МОС ІК-ЮСТАР1, який складається з чотирьох вузлів по два процесори на кожному. Кожен вузол кластера містить: системну плату з двома процесорами AMD Duron (950 МГц), 256 Мбайт оперативної пам'яті (DDR PC 2100), твердий диск IDE ATA 40 Гбайт, відеоадаптер (32 Мбайта, рознімання AGP), мережний адаптер (SCI чи Fast Ethernet), роз'єми PCI (64 біта, 33 МГц), блок живлення 250 Вт, вентилятори. Усі вузли однакові, робота програми користувача починається з спільного каталогу мережної файлової системи (він монтується на усіх вузлах однаково). Критерій призначення ресурсів - вузол. Програмні й апаратні засоби дозволяють вирішувати тільки одну задачу з використанням всього обчислювального ресурсу, ефективний поділ вирішального поля (сукупність усіх вузлів кластера) на частини необхідного розміру і надання їх декільком користувачам не передбачається.

Вузли кластера можуть бути зв'язані між собою високошвидкісною мережею SCI (пропускна здатність каналу дорівнює 2000 Мбит/с) і/чи мережею Fast Ethernet (пропускна здатність каналу до 100 Мбит/с). Мережа SCI призначена для високошвидкісного обміну між вузлами в ході обчислень. Мережа Fast Ethernet призначена для початкового завантаження програм і даних у вузли, а також для передачі службової інформації про хід обчислювального процесу при діючій мережі SCI. Якщо мережа SCI відсутня, то мережа Fast Ethernet реалізує й обміни даними між вузлами в ході обчислень. При обміні даними між двома вузлами по мережі SCI з використанням протоколів MPI може бути досягнута пропускна здатність на рівні 300 — 350 Мбайт/с. Пікова продуктивність кластера - 3,8 Gflops (при наявності мережі SCI), 1,3 Gflops (у відсутності мережі SCI).

В даний час в Інституті кібернетики ім. В.М.Глушкова НАН України закінчується розробка більш потужного кластера із значно вищою продуктивністю.

Модель передачі повідомлень MPI та пакет MPICH: коротка характеристика, деякі угоди та позначення

MPI розшифровується як "message passing interface" ("взаємодія через передачу повідомлень") - це стандарт на програмний інструментарій для забезпечення зв'язку (інтерфейсу) між гілками паралельного додатку і являє собою бібліотеку процедур для передачі повідомлень [5,6]. При використанні бібліотеки MPI процеси розподіленої програми записуються на такій послідовній мові, як Сі або Фортран; їх взаємодія і синхронізація задається за допомогою визовів процедур бібліотеки MPI.

MPI надає програмісту єдиний механізм взаємодії гілок усередині паралельного додатку незалежно від машинної архітектури (однопроцесорні/мультипроцесорні з спільною/роздільною пам'яттю), взаємного розташування гілок (на одному процесорі / на різних) і API (розшифровується як "applications programmers interface" - "інтерфейс розроблювача додатків") операційної системи. Програма, що використовує MPI, легше налагоджується (звужується простір для здійснення стереотипних помилок паралельного програмування) і швидше переноситься на інші платформи (в ідеалі, простою перекомпіляцією).

Інтерфейс MPI був визначений в середині 1990-х років [7]. В даний час різними колективами розробників написано кілька програмних пакетів, що задовольняють специфікації MPI, зокрема: MPICH, LAM, HPVM і так далі. Вони виступають базовими при перенесенні MPI на нові архітектури комп'ютерів. У роботі використовується пакет MPICH, який написаний авторами специфікації, є безкоштовним і найбільш розповсюдженим. Таким чином, термін MPI використовується не тільки для позначення викладених у специфікації відомостей, але і, у визначеній мірі, для опису характеристик конкретної базової реалізації.

Мінімально до складу MPI входять: бібліотека програмування (заголовні і бібліотечні файли для мов Сі, Сі++ і Фортран) і завантажник додатків. Додатково включаються: профільюючий варіант бібліотеки (використовується на стадії тестування

паралельного додатку для визначення оптимальності розпаралелювання); завантажник із графічним і мережним інтерфейсом для X-Windows і інше. Структура каталогів MPICH виконана в повній відповідності з традиціями Юнікса: bin, include, lib, man, src, ... Мінімальний набір функцій простий в освоєнні і дозволяє швидко написати надійно працюючу програму.

Паралельний додаток складається з декількох гілок, чи процесів, чи задач, що виконуються одночасно. Різні процеси можуть виконуватися як на різних процесорах, так і на тому самому - для програми це ролі не грає, оскільки в обох випадках механізм обміну даними однаковий. Процеси обмінюються один з одним даними у вигляді повідомлень. Повідомлення проходять під ідентифікаторами, що дозволяють програмі і бібліотеці зв'язку відрізнити їх одне від одного. Для спільного проведення тих чи інших розрахунків процеси усередині додатку поєднуються в групи. Кожен процес може довідатися в бібліотеки зв'язку свій номер усередині групи, і, у залежності від номеру, приступає до виконання відповідної частини розрахунків.

У MPI гілка запускається і працює як звичайний процес Юнікса, пов'язаний через MPI з іншими процесами, що входять у додаток. В іншому процеси варто вважати ізольованими один від одного: у них різні області коду, стека і даних (як і в Юніксовських процесах). Говорять, що процеси мають роздільну пам'ять (separate memory).

Особливістю MPI є поняття області зв'язку (communication domains). При запуску додатка всі процеси розміщуються в створювану для додатка спільну область зв'язку. При необхідності вони можуть створювати нові області зв'язку на базі існуючих. Всі області зв'язку мають незалежну одна від одної нумерацію процесів. Програмі користувача в розпорядження надається комунікатор - дескриптор області зв'язку. Багато функцій MPI мають серед входних аргументів комунікатор, що обмежує сферу їхньої дії тією областю зв'язку, до якого він прикріплений. Для однієї області зв'язку може існувати декілька комунікаторів таким чином, що додаток буде працювати з нею як з декількома різними областями. У входних текстах для MPI часто використовується ідентифікатор MPI_COMM_WORLD. Це назва комунікатора, що створюється бібліотекою автоматично. Він описує стартову область зв'язку, що поєднує всі процеси додатку.

Номер процесу - ціле невід'ємне число, що є унікальним атрибутом кожного процесу. Атрибути повідомлення - номер процесу-відправника, номер процесу-отримувача й ідентифікатор повідомлення. Для них заведена структура MPI_Status, що містить три поля: MPI_Source (номер процесу відправника), MPI_Tag (ідентифікатор повідомлення), MPI_Error (код помилки); можуть бути і додаткові поля. Ідентифікатор повідомлення (msgtag) - атрибут повідомлення, який є цілим невід'ємним числом, що лежить у діапазоні від 0 до 32767. Процеси поєднуються в групи, можуть бути вкладені групи. Всередині групи всі процеси пронумеровані. З кожною групою асоційований свій комунікатор. Тому при здійсненні пересилання необхідно вказати ідентифікатор групи, всередині якої виробляється це пересилання. Усі процеси містяться в групі з визначеним ідентифікатором MPI_COMM_WORLD. При опису процедур MPI будемо користатися ідентифікатором OUT для позначення "вихідних" параметрів, тобто таких параметрів, через які процедура повертає результати.

В MPI існує три категорії функцій: блокуючі, локальні, колективні.

Блокуючі - зупиняють (блокують) виконання процесу доти, поки вироблена ними операція не буде виконана. Функції, що неблокують, повертають керування негайно, а виконання операції продовжується у фоновому режимі; за завершенням операції треба простежити особливо. Функції, що неблокують, повертають квитанції ("requests"), що погашаються при завершенні. До погашення квитанції із змінними і масивами, що були аргументами неблокуючої функції, нічого робити не можна.

Локальні - не ініціюють пересилань даних між гілками. Більшість інформаційних функцій є локальними, тому що копії системних даних уже зберігаються в кожній гілці. Функція передачі MPI_Send і функція синхронізації MPI_Barrier (див. далі) не є

локальними, оскільки роблять пересилання. Відзначимо, що, приміром, функція прийому MPI_Recv (парна для MPI_Send) є локальною: вона усього лише пасивно чекає надходження даних, нічого не намагаючись повідомити іншим гілкам.

Колективні - повинні бути викликані всіма гілками-абонентами того комунікатора, що передається їм як аргумент. Недотримання для них цього правила приводить до помилок на стадії виконання програми (як правило, до повисання програми).

Розширення мови САА/Д засобами паралельного програмування і підключення цільової мови

З метою розробки САА/Д-схем для кластерів у мову САА/Д – вхідну для ДТМ – додатково введені оператори ПАРАЛЕЛЬНО і ЧЕКАТИ, які є реалізаціями операцій асинхронної диз'юнкції і фільтрації модифікованих алгебр Глушкова. У залежності від цільової мови програмування і використовуваної бібліотеки процедур, оператор ПАРАЛЕЛЬНО може приймати три форми:

1. ПАРАЛЕЛЬНО(V1, V2,...,VN);
2. ПАРАЛЕЛЬНО(N);
3. ПАРАЛЕЛЬНО.

Перша форма використовується для запуску паралельних гілок V1, V2,...,VN, друга – для створення і запуску на різних процесах N копій процесів, що описані САА/Д-схемою, третя форма використовується у випадку, коли число копій задається зовнішнім по відношенню до програми чином. Останнє має місце при використанні бібліотек MPI.

За допомогою оператора ЧЕКАТИ виконується затримка функціонування гілок. Цей оператор продовжує виконання процесу лише після того, як усі процеси досягнуть точки програми, у якій знаходиться оператор ЧЕКАТИ.

Стандартна предметна область – база знань ДТМ - також містить поняття й операції над ними, за допомогою яких виконується обмін повідомленнями. Зокрема, для обміну інформацією між гілками в САА/Д вводиться поняття ПОВІДОМЛЕННЯ. Кожне повідомлення характеризується унікальним ідентифікатором. Для пересилання повідомлень визначені елементарні оператори відправлення і прийому повідомлень. В якості параметрів ці оператори приймають ідентифікатор повідомлення, номер процесу-отримувача або процесу-відправника, тип переданих даних і так далі. Наприклад, передача цілого числа i-ому процесу від поточного виконується в такий спосіб:

"ПОВІДОМЛЕННЯ 99 - ЧИСЛО intervals ВІДПРАВИТИ ПРОЦЕСУ З НОМЕРОМ ЧИСЛО i".

У розподілених програмах кожен процес має свій унікальний номер. Як правило, процес з номером 0 є головним і виконує керування іншими процесами. З цієї причини в предметній області існують елементарні оператори для визначення номера поточного процесу і загальної кількості процесів.

В даний час стандартна предметна область ДТМ дозволяє виконувати трансляцію паралельних САА/Д-схем у програми мовою C, що використовують пакет MPICH. Оскільки при використанні стандарту MPI число процесів задається не в самій програмі, а за допомогою спеціального файлу і параметра командного рядка, то в паралельних САА/Д-схемах використовується третя форма оператора ПАРАЛЕЛЬНО.

Хоча з теоретичної точки зору гілкам для організації обміну даними досить всього двох операцій (прийом і передача), на практиці усе обстоїть набагато складніше. Одними тільки комунікаціями "точка-точка", тобто такими, у яких рівно один передавальний процес і рівно один (приймаючий) займається порядку 40 функцій. Користаючись ними, програміст має можливість вибрати:

1) Спосіб зачеплення процесів - у випадку неодночасного виклику двома процесами парних функцій прийому і передачі може бути зроблений автоматичний вибір одного з трьох варіантів:

- буферизація на передавальній стороні - функція передачі заводить тимчасовий буфер, копіює в нього повідомлення і повертає керування процесу, що викликав (вміст буфера буде передано у фоновому режимі);

- чекання на прийомній стороні, завершення з кодом помилки - на передавальній;
- чекання на передавальній стороні, завершення з кодом помилки - на прийомній.

2) Спосіб взаємодії комунікаційного модуля MPI із викликаючим процесом:

- блокуючий - керування викликаючому процесу повертається тільки після того, як дані прийняті чи передані (чи скопійовані в тимчасовий буфер);

- неблокуючий - керування повертається негайно (тобто процес блокується до завершення операції), і фактична прийомо-передача відбувається в фоні. Функція неблокуючого прийому має додатковий параметр типу "квитанція". Процес не має права робити які-небудь дії з буфером повідомлення, поки квитанція не буде "погашена";

- персистентний - в окремі функції виділені: створення "каналу" для прийому/передачі повідомлення; ініціація прийому/передачі; закриття каналу. Такий спосіб ефективний, приміром, якщо прийомо-передача відбувається усередині циклу, а створення/закриття каналу винесені за його границі.

Найпростіші (але і самі повільні) функції - MPI_Recv і MPI_Send (див. далі) - виконують блокуючу прийомо-передачу з автоматичним вибором зачеплення (до речі, усі функції прийому сумісні з усіма функціями передачі). Для підключення до мови САА/Д засобів паралельного програмування і синтезу розподілених додатків в даній версії ДТМ використовуються наступні загальні процедури MPI:

int MPI_Init(int* argc, char* argv)**

MPI_Init - ініціалізація паралельної частини додатку. Реальна ініціалізація для кожного додатку виконується не більше одного разу, а якщо MPI уже був ініціалізований, то ніякі дії не виконуються і відбувається негайне повернення з підпрограми. Усі MPI-процедури, що залишилися, можуть бути викликані тільки після виклику MPI_Init. Повертає: у випадку успішного виконання - MPI_SUCCESS, інакше - код помилки. (Те ж саме повертають і всі інші функції, що розглядаються далі.)

int MPI_Finalize(void)

MPI_Finalize - завершення паралельної частини додатка. Усі наступні звертання до будь-яких MPI-процедур, у тому числі до MPI_Init, заборонені. До моменту виклику MPI_Finalize деяким процесом усі дії, що вимагають його участі в обміні повідомленнями, повинні бути завершені. Складний тип аргументів MPI_Init передбачений для того, щоб передавати всім процесам аргументи main:

```
int main(int argc, char** argv)
{ MPI_Init(&argc, &argv); ...
  MPI_Finalize();}
```

int MPI_Comm_size(MPI_Comm comm, int* size)

Визначення загального числа паралельних процесів у групі comm. Тут comm - ідентифікатор групи, OUT size - розмір групи.

int MPI_Comm_rank(MPI_Comm comm, int* rank)

Визначення номеру процесу в групі comm. Значення, що повертається за адресою &rank, лежить у діапазоні від 0 до size_of_group-1. Тут comm - ідентифікатор групи, OUT rank - номер викликаючого процесу в групі comm.

Прийом/передача повідомлень (із блокуванням) між окремими процесами здійснюється в ДТМ наступними функціями:

int MPI_Send(void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int dest, int msgtag, MPI_Comm comm)

Тут buf - адреса початку буфера посилки повідомлення, count - число переданих елементів у повідомленні, datatype - тип переданих елементів, dest - номер процесу-одержувача, msgtag - ідентифікатор повідомлення, comm - ідентифікатор групи. Посилка блокуючого повідомлення з ідентифікатором msgtag, що складається з count елементів

типу datatype, процесу з номером dest. Всі елементи повідомлення розташовані підряд у буфері buf. Значення count може бути нулем. Тип переданих елементів datatype повинен указуватися за допомогою визначених констант типу. Дозволяється передавати повідомлення самому собі. Блокування гарантує коректність повторного використання всіх параметрів після повернення з підпрограми. Вибір способу здійснення цієї гарантії: копіювання в проміжний буфер чи безпосередня передача процесу dest, залишається за MPI. Слід спеціально зазначити, що повернення з підпрограми MPI_Send не означає ні того, що повідомлення вже передане процесу dest, ні того, що повідомлення залишило процесорний елемент, на якому виконується процес, що виконав MPI_Send.

int MPI_Recv(void* buf, int count, MPI_Datatype datatype, int source, int msgtag, MPI_comm comm, MPI_Status *status)

Тут OUT buf - адреса початку буфера прийому повідомлення, count - максимальне число елементів у прийнятому повідомленні, datatype - тип елементів прийнятого повідомлення, source - номер процесу-відправника, msgtag - ідентифікатор прийнятого повідомлення, comm - ідентифікатор групи, OUT status - параметри прийнятого повідомлення. Прийом повідомлення з ідентифікатором msgtag від процесу source із блокуванням. Число елементів у прийнятому повідомленні не повинне перевершувати значення count. Якщо число прийнятих елементів менше значення count, то гарантується, що в буфері buf зміняться тільки елементи, що відповідають елементам прийнятого повідомлення. Якщо потрібно довідатися про точне число елементів у повідомленні, то можна скористатися підпрограмою MPI_Probe. Блокування гарантує, що після повернення з підпрограми всі елементи повідомлення прийняті і розташовані в буфері buf. В якості номера процесу-відправника можна вказати визначену константу MPI_ANY_SOURCE - ознака того, що підходить повідомлення від будь-якого процесу. В якості ідентифікатора прийнятого повідомлення можна вказати константу MPI_ANY_TAG - ознака того, що підходить повідомлення з будь-яким ідентифікатором. Якщо процес посилає два повідомлення іншому процесу й обидва ці повідомлення відповідають тому самому виклику MPI_Recv, то першим буде прийняте те повідомлення, що було відправлено раніше.

Коллективні взаємодії процесів в ДТМ здійснюється наступними функціями.

В операціях колективної взаємодії процесів беруть участь усі процеси додатка. Відповідна процедура повинна бути викликана кожним процесом, можливо, зі своїм набором параметрів. Повернення з процедури колективної взаємодії може відбутися в той момент, коли участь процесу в даній операції уже закінчено. Як і для блокуючих процедур повернення означає те, що дозволено вільний доступ до буфера чи прийому посилки, але не означає ні того, що операція завершена іншими процесами, ні навіть того, що вона ними розпочата (якщо це можливо за змістом операції).

int MPI_Bcast(void *buf, int count, MPI_Datatype datatype, int source, MPI_Comm comm)

Тут OUT buf - адреса початку буфера посилки повідомлення, count - число переданих елементів у повідомленні, datatype - тип переданих елементів, source - номер процесу, що розсилає, comm - ідентифікатор групи. Розсилання повідомлення від процесу source усім процесам, включаючи процес, що розсилає. При поверненні з процедури вміст буфера buf процесу source буде скопійовано в локальний буфер процесу. Значення параметрів count, datatype і source повинні бути однаковими у всіх процесів.

int MPI_Reduce(void *sbuf, void *rbuf, int count, MPI_Datatype datatype, MPI_Op op, int root, MPI_Comm comm)

Тут sbuf - адреса початку буфера для аргументів, OUT rbuf - адреса початку буфера для результату, count - число аргументів у кожного процесу, datatype - тип аргументів, op - ідентифікатор глобальної операції, root - процес-одержувач результату, comm - ідентифікатор групи. Функція аналогічна попередній, але результат буде записаний у буфер rbuf тільки процесу root.

Синхронізація процесів в ДТМ здійснюється наступною процедурою.

int MPI_Barrier(MPI_Comm comm)

Тут comm - ідентифікатор групи. Блокує роботу процесів, що викликали дану процедуру, доти, доки всі процеси групи comm, що залишилися, також не виконають цю процедуру.

Приклад розподіленого додатку, що синтезований в ДТМ

В якості прикладу розглядається задача обчислення значення визначеного інтегралу на відріжку [0;1]:

$$I = \int_0^1 f(x)dx \tag{1}$$

На відріжку [0, 1] введемо рівномірну сітку $\{x_j | x_j = j*h; j=0,N; h*N = 1\}$. Наближене значення інтеграла будемо обчислювати згідно з наступною формулою:

$$I_N = \sum_{j=0}^{N-1} f(x_j + 0.5h)h \tag{2}$$

Задача полягає в розподілі обчислення I_N на необхідній кількості процесорів. Нехай ми маємо необмежене число процесорів, тоді розб'ємо вхідну задачу на елементарні

$$I_j = f(x_j + 0.5h)h, j = \overline{1, N} \tag{3}$$

і призначимо j-у задачу на один процесор, усього буде задіяно N процесорів. Послідовність обчислень можна визначити в такий спосіб:

1. Процесор P_0 - запитує в користувача число інтервалів N;
2. Процесор P_0 - передає N всім іншим процесорам $P_1 ..P_{N-1}$;
3. Процесори $P_1 ..P_{N-1}$ приймають від P_0 значення N;
4. Процесори $P_0 ..P_{N-1}$ обчислюють h і I_j по формулі (3);
5. Процесори $P_1 ..P_{N-1}$ передають P_0 значення $I_j, j = \overline{1, N-1}$;
6. Процесор P_0 - приймає значення I_j від процесорів $P_1 ..P_{N-1}$ і обчислює суму I_N .

САА/Д-схема, що відповідає даному алгоритмові (процес проектування в ДТМ САА/Д-схем детально описаний в [1,2]), має вигляд:

СХЕМА ІНТЕГРАЛ; "ІНТЕГРАЛ" === (ПАРАЛЕЛЬНО * "ЧИСЛО me ЦЕ НОМЕР ПОТОЧНОГО ПРОЦЕСУ" * "ЧИСЛО size ЦЕ КІЛЬКІСТЬ ЗАДАЧ" * ЯКЩО ("ЧИСЛО me=ЧИСЛО 0") ТО ("РЯДОК "ВВЕДІТЬ ЧИСЛО ІНТЕРВАЛІВ" ВИВЕСТИ НА ЕКРАН"*"ЧИСЛО intervals ВВЕСТИ З КЛАВІАТУРИ") КІНЕЦЬ_ТО* ЧЕКАТИ * ЯКЩО ("ЧИСЛО me = ЧИСЛО 0") ТО ("ЧИСЛО i ЦЕ ЧИСЛО 1" * ПОКИ НЕ ("ЧИСЛО i >= ЧИСЛО size") ЦИКЛ ("ПОВІДОМЛЕННЯ 99 - ЧИСЛО intervals ВІДПРАВИТИ ПРОЦЕСУ З НОМЕРОМ ЧИСЛО i" * "ЧИСЛО i ЗБІЛЬШИТИ НА ЧИСЛО 1") КІНЕЦЬ_ЦИКЛ) КІНЕЦЬ_ТО) ІНАКШЕ ("ПОВІДОМЛЕННЯ 99 ВІД ПРОЦЕСУ З НОМЕРОМ ЧИСЛО 0 ПРИЙНЯТИ В ЧИСЛО intervals I ЗАПАМ'ЯТАТИ СТАТУС У СТАТУС st") КІНЕЦЬ_ІНАКШЕ * "ДІЙСНЕЧИСЛО h це ДІЙСНЕЧИСЛО (1/intrevals)" * "ДІЙСНЕЧИСЛО ik це ДІЙСНЕЧИСЛО 0" * "ЧИСЛО j ЦЕ ЧИСЛО me" * ПОКИ НЕ ("ЧИСЛО j >= ЧИСЛО intervals") ЦИКЛ ("ДІЙСНЕЧИСЛО x ЦЕ ДІЙСНЕЧИСЛО ((j+0.5)*h)" * "ДІЙСНЕЧИСЛО ik ЦЕ ДІЙСНЕЧИСЛО (ik+4/(1+x*x))" * "ЧИСЛО j ЗБІЛЬШИТИ НА ЧИСЛО size") КІНЕЦЬ_ЦИКЛ "ДІЙСНЕЧИСЛО ik ЦЕ ДІЙСНЕЧИСЛО (ik*h)" * ЧЕКАТИ * ЯКЩО ("ЧИСЛО me = ЧИСЛО 0") ТО ("ЧИСЛО i ЦЕ ЧИСЛО 1" * ПОКИ НЕ ("Число i >= Число size") ЦИКЛ ("ПОВІДОМЛЕННЯ 98 ВІД ПРОЦЕСУ З НОМЕРОМ ЧИСЛО I ПРИЙНЯТИ У ДІЙСНЕЧИСЛО x І ЗАПАМ'ЯТАТИ СТАТУС У СТАТУС st" * "ДІЙСНЕЧИСЛО ik ЦЕ ДІЙСНЕЧИСЛО (ik+x)" * "ЧИСЛО i ЗБІЛЬШИТИ НА ЧИСЛО 1") КІНЕЦЬ_ЦИКЛ * "ДІЙСНЕЧИСЛО ik ВИВЕСТИ НА ЕКРАН") КІНЕЦЬ_ТО ІНАКШЕ ("ПОВІДОМЛЕННЯ 98 - ДІЙСНЕЧИСЛО ik ВІДПРАВИТИ ПРОЦЕСУ З НОМЕРОМ ЧИСЛО 0") КІНЕЦЬ_ІНАКШЕ) КІНЕЦЬ СХЕМИ;

Ця схема за допомогою ДТМ автоматично транслюється в наступну програму:

```
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#include <string.h>
#include <mpi.h>

int main(int argc, char *argv[]); float h; float ik; float x; MPI_Status st; int me; int size; int
i; int intervals; int j; MPI_Init(&argc, &argv); MPI_COMM_WORLDrank (MPI_COMM_
WORLD, &me); MPI_COMM_WORLDsize(MPI_COMM_WORLD,&size); if(me == 0)
{puts("Уведіть число інтервалів"); scanf("%d", &intervals); }/* if */ MPI_Barrier(MPI_
COMM_WORLD); if(me == 0) { i = 1; while(!(i > size)) {MPI_Send(&intervals, 1, MPI_INT,
i, 99, MPI_COMM_WORLD); i += 1;} /* while */ }/* if */ else { MPI_Recv(&intervals, 1,
MPI_INT, 0, 99, MPI_COMM_WORLD, &st);}/* else */ h = (1.0/intrevals); ik = 0; j = me;
while(!(j > intervals)) { x = ((j+0.5)*h); ik = (ik+4/(1+(x*x))); j += size; } /* while */ ik =
(ik*h); MPI_Barrier(MPI_COMM_WORLD); if(me == 0) { i = 1; while(!(i > size))
{MPI_Recv(&x, 1, MPI_DOUBLE, i, 98, MPI_COMM_WORLD, &st); ik = (ik+x); i += 1; }
/* while */ printf("%f\n", ik); }/* if */ else {MPI_Send(&ik, 1, MPI_DOUBLE, 0, 98,
MPI_COMM_WORLD); }/* else */ MPI_Finalize(); return 0; } /* main */
```

Висновок. Стаття присвячена актуальній тематиці створення інструментальних засобів автоматизації проектування розподілених додатків для кластерів (багатомашинних систем) – галузі знань, що інтенсивно розвивається як в Україні, так і за кордоном. В статті проаналізовані деякі апаратні і мовні особливості кластерів в порівнянні з іншими розподіленими обчислювальними системами – мультипроцесорами і комп’ютерними мережами; мова САА/Д розширена деяким засобами паралельних обчислень не лише модифікованих алгебр Глушкова, але і обміну повідомлень; до мови САА/Д підключені відповідні засоби паралельного програмування пакету MPICH; нові можливості ДТМ експериментально продемонстровані на прикладі синтезу в ДТМ розподіленого додатку.

Створення інструментарію синтезу розподілених додатків для кластерів відкриває можливість рішення важливого класу задач (економічних, охорони навколишнього середовища і інших), які, в силу своїх властивостей – величезні об’єм і кількість виконуваних операцій, не можуть бути вирішені в прийнятний час на розповсюджених зараз “персональних” комп’ютерах.

In this work a language SAA/D – the input dialog transformation machine’s language (DTM) – is broaden some means parallel computation modified Glushkov’s algebra, to whom (means) installed the answer to them means of parallel programming of product MPICH. DTM’s opportunity on synthesis appportionate tasks for clusters is demonstrating at example.

1. Петрушенко А.Н., Хохлов В.А., Ткачев В.А., Шепетухин Е.С. Диалоговая трансформационная машина: некоторые функциональные возможности // Проблемы программирования. – 2000. – № 1–2 (Спец. выпуск) – С. 323–334.

2. Петрушенко А.М., Хохлов В.А. Концепція діалогових обчислень та деякі проблеми автоматизації програмування // Там же. – 2004. – № 2–3 (Спец. выпуск) – С. 37–47.

3. Эндрюс Г.Р. Основы многопоточного, параллельного и распределенного программирования: Пер. с англ. – М.: Издательский дом “Вильямс”, 2003. – 512 с.

4. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы. – СПб: Питер, 2005. – 864 с.

5. M. Snir, S. Otto, S. Huss-Ledermann, D. Walker and J. Dongarra. 1996. MPI: The Complete Reference. Cambridge, MA: MIT Press.

6. <http://parallel.ru/tech/tech.dev/mpi.html>

7. www.unics.mcs.anl.gov/mpi/mpich

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ И СИСТЕМАМИ

УДК 62-52:621.9.06

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ШВИДКОДІЇ АЛГОРИТМІВ КЕРУВАННЯ У СИСТЕМІ ОПТИМІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ МЕТАЛООБРОБКИ

Водічев В.А.

Постановка задачі. В умовах нестачі енергетичних ресурсів одним з головних завдань технічної політики стає розробка заходів енергозбереження. Ефективним шляхом скорочення витрат енергії при здійсненні різних технологічних процесів є застосування енергозберігаючих систем автоматизації. Для технологічного процесу силового шліфування на плоскошліфувальних верстатах з круглим столом і вертикальним шпинделем залежність показника, який характеризує енергетичну ефективність процесу обробки від швидкості робочого руху подачі, має екстремальний характер, причому розташування екстремуму змінюється під впливом збурень, що змінюються випадково [1]. Оскільки розташування екстремуму цільової функції до початку обробки встановити точно не можливо і, враховуючи, що це положення може змінюватись як при зміні матеріалу і площі оброблюваних заготовок так і під час обробки однієї заготовки, для забезпечення режиму обробки оптимального за мінімальним енергоспоживанням на одиницю об'єму знятого металу необхідно використовувати систему управління пошукового типу [1, 2]. Ефективність використання такої системи залежатиме від тривалості процесу пошуку екстремуму цільової функції під час обробки на верстаті.

Аналіз досліджень і публікацій. У системах оптимізації процесів металообробки використовується алгоритм керування електроприводом подачі на основі крокового методу пошуку екстремуму цільової функції з поєднаними випробувальними і робочими кроками [2]. Розроблено також спосіб керування, який передбачає створення математичної моделі процесу обробки на основі випробувальних дій шляхом зміни швидкості подачі з послідовним пошуком екстремуму цільової функції методом дихотомії з використанням отриманої моделі [1].

Виділення невирішених частин проблеми. Від тривалості пошуку екстремуму цільової функції при використанні різних алгоритмів керування робочим рухом верстата залежатиме кількість споживаної впродовж обробки енергії, а отже і енергетична ефективність процесу обробки на верстатах такого типу. Проте питанням оцінки цієї тривалості і визначенню найбільш швидкодіючого алгоритму керування в літературі уваги не приділено.

Метою роботи є розробка алгоритмів керування електроприводами подачі плоскошліфувальних верстатів з круглим столом і вертикальним шпинделем для оптимізації процесу обробки за критерієм енергетичної ефективності і на основі моделювання роботи системи керування визначення алгоритму, який забезпечує найменшу тривалість пошуку екстремуму цільової функції.

Викладення матеріалу дослідження. Склад і принцип роботи системи керування електроприводом вертикальної подачі плоскошліфувального верстата з круглим столом і вертикальним шпинделем, яка забезпечує оптимізацію процесу обробки за обраним критерієм, включаючи спосіб отримання інформації, що необхідна для розрахунку всіх показників ефективності обробки, докладно викладено у роботі [3]. Система побудована на основі пристрою числового програмного керування класу CNC чи PCNC. При оптимізації процесу обробки застосовується показник енергетичної ефективності

$$J_e = \frac{Q}{P}, \quad (1)$$

де Q - швидкість знімання металу, $\text{мм}^3/\text{хв}$; P – потужність обробки, кВт.

Значення величин Q і P залежать від швидкості подачі, а також від багатьох збурень, що діють у процесі обробки. Незалежно від методу пошуку екстремуму показника ефективності відносно швидкості подачі процес управління поділяється між програмами: диспетчером циклу обробки, яка виконується в фоновому режимі, і програмами основної задачі, які виконуються в режимі переривання. Перша програма відпрацьовує сигнали переривання, що формуються датчиком контролю контакту шліфувального круга з пристроєм правки ДКК. Вона забезпечує оптимізацію режиму обробки, розраховуючи швидкість подачі, що відповідає максимуму обраного показника ефективності, і формуючи відповідний сигнал задання швидкості електропривода подачі. Друга програма відпрацьовує сигнали переривання, які формуються таймером і забезпечує керування пересуванням пристрою правки КППП. Ця програма має більш високий пріоритет, ніж програма оптимізації режиму обробки, і надає для останньої інформацію про тривалість зняття кожного умовного шару металу.

Програма – диспетчер циклу обробки (рис.1) передбачає таку послідовність операцій. На початку процесу управління напрузі задання швидкості електропривода вертикальної подачі U_z надається значення $U_{зи}$, що відповідає прискореному переміщенню шліфувальної бабки з кругом до оброблюваної деталі, номер i шару металу, що знятий в процесі обробки, набуває нульового значення, а поточна висота оброблюваної заготовки L – початкового значення $L_{ноч}$ (блоки 1, 2). Після дозволу переривання програми (блок 3) перевіряється досягнення заготовкою заданої висоти оброблюваної деталі L_d (блок 4). При виконанні цієї умови відбувається маскування переривання за сигналом ДКК, вивід на електропривод подачі напруги задання $U_{зи}$, і перехід до програми керування чистовою обробкою ПКЧО (блоки 5– 7). Поки задана висота L_d не досягнута, забезпечується вивід поточного значення напруги задання U_z і перехід у режим очікування переривання (блоки 8–9).

При надходженні кожного сигналу переривання від ДКК відбувається перехід до програми оптимізації режиму обробки. Ця програма складається з двох частин, перша з яких (блоки 11-18) не залежить від обраного методу пошуку екстремуму. На початку (блок 11) управління передається програмі КППП (блок 12), яка, виконуючись за сигналами переривання від таймера, забезпечує пересування пристрою правки на черговий крок і повертає управління підпрограмі оптимізації режиму обробки. Далі проводиться опитування датчика пересування ДП шліфувальної бабки для визначення поточного значення координати X_i торцевої частини круга, опитується також датчик енергії A_i , яка споживана з мережі двигуном головного руху впродовж зняття поточного шару металу (блок 13). При надходженні першого сигналу переривання від ДКК ($i=0$ блок 14) сигнал задання швидкості подачі набуває початкового значення $U_{зи}$, яке відповідає першій швидкості робочої подачі (блок 15). Після розрахунку поточної висоти заготовки $L_0=L_{ноч}$ номер шару металу збільшується на одиницю, відбувається вихід з переривання і повернення до програми диспетчера циклу (блоки 16 – 18). По завершенні зняття першого шару металу ($i=1$ блок 14) надходить другий сигнал переривання від ДКК. І забезпечується перехід до другої частини програми, яка залежить від обраного методу пошуку екстремуму.

Застосування пошуку з поєднаними випробувальними і робочими кроками передбачає таку послідовність операцій (рис. 2). Розраховуються (блок 19) переміщення шліфувальної бабки ΔX_i і швидкість знімання металу Q за формулами, що наведені у [2], середня потужність обробки під час зняття поточного шару металу відповідно до виразу, що наведений у [3], поточне значення показника ефективності J_e - за формулою (1). Формування приросту сигналу задання швидкості подачі ΔU_{zi} для обробки наступного шару металу здійснюється на основі аналізу співвідношення значення J_{ei} на поточному кроці керу-

вання у порівнянні зі значенням на попередньому кроці J_{ei-1} (блоки 20, 21). Розраховане значення сигналу задання (блок 22) після перевірки його знаходження в припустимих межах (блоки 23, 24) надійде на вхід електропривода подачі.

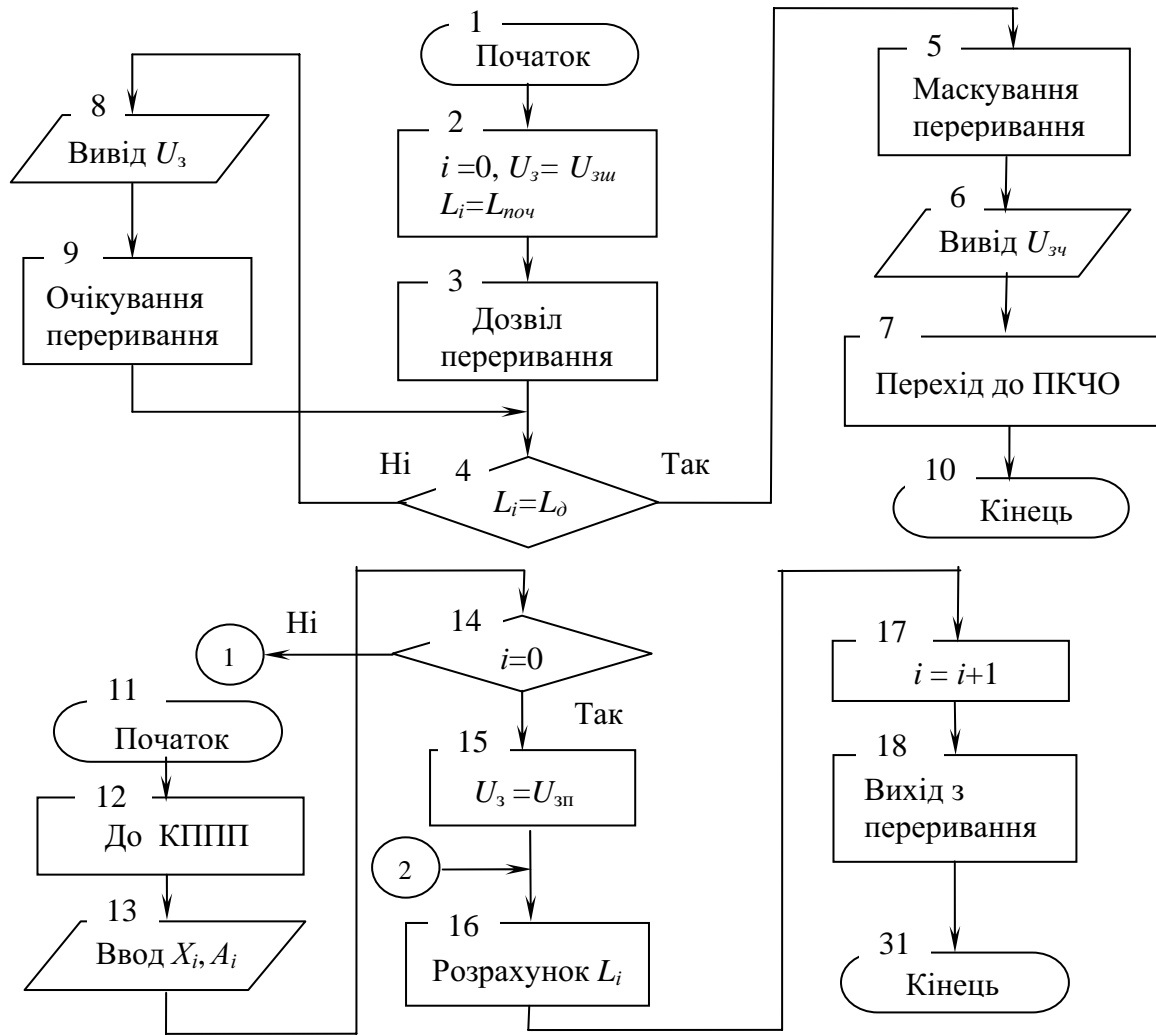


Рис. 1 Алгоритм керування електроприводами робочого і допоміжного рухів верстата у системі оптимізації процесу обробки

Застосування методу пошуку оптимального режиму шліфування зі створенням математичної моделі залежності $J_e(S)$ передбачає іншу послідовність операцій (рис.3). За формулами, що наведені у роботі [3], розраховуються переміщення ΔX_i і швидкість зносу S_{hi} шліфувального круга, а при завершенні зняття першого і другого шарів металу ($i=1$ блок 20, $i=2$ блок 23) - поточне значення оцінки періоду стійкості T_i шліфувального круга і середнє значення активної потужності двигуна головного руху P_{ci} впродовж зняття поточного шару металу (блоки 21, 24). Якщо знято перший шар металу ($i=1$ блок 20), значення сигналу задання U_3 збільшується на величину ΔU_3 , що відповідає швидкості подачі при знятті наступного шару (блок 22). Якщо знято другий шар металу ($i=2$, блок 23), то після розрахунків T_i, P_{ci} розв'язуються дві системи рівнянь (блок 25) і визначаються коефіцієнти і показники степеня C_T, C_p, x, y для створення залежності показника енергетичної ефективності, як функції швидкості подачі S (блок 26) [3]

$$J_e(S) = \frac{G \left(S - \frac{HS^x}{C_T} \right)}{C_p S^y}, \quad (2)$$

де G – площа оброблюваної поверхні, мм^2 ; H – максимальна висота зносу сегментів шліфувального круга, мм .

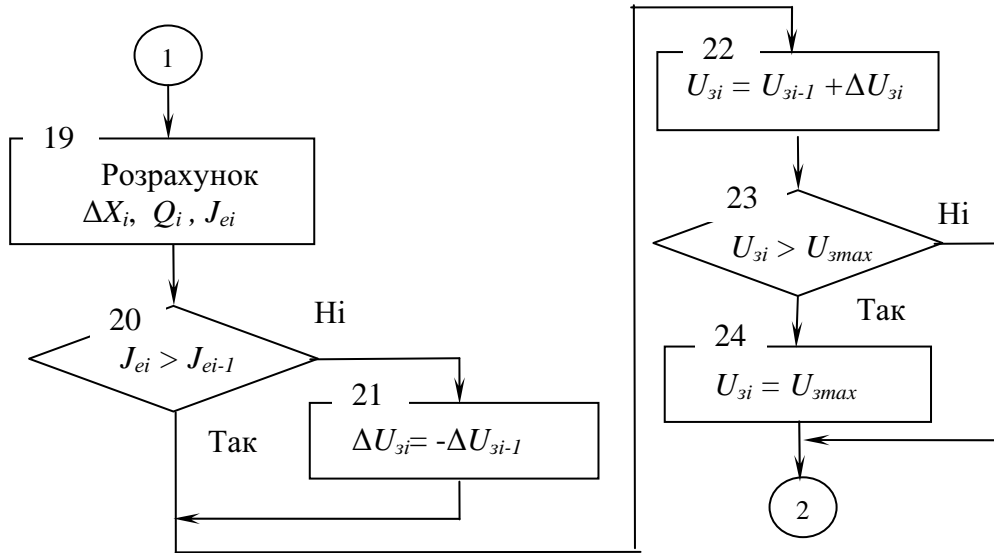


Рис. 2 Алгоритм керування швидкістю подачі для оптимізації процесу обробки з використанням методу крокового пошуку екстремуму

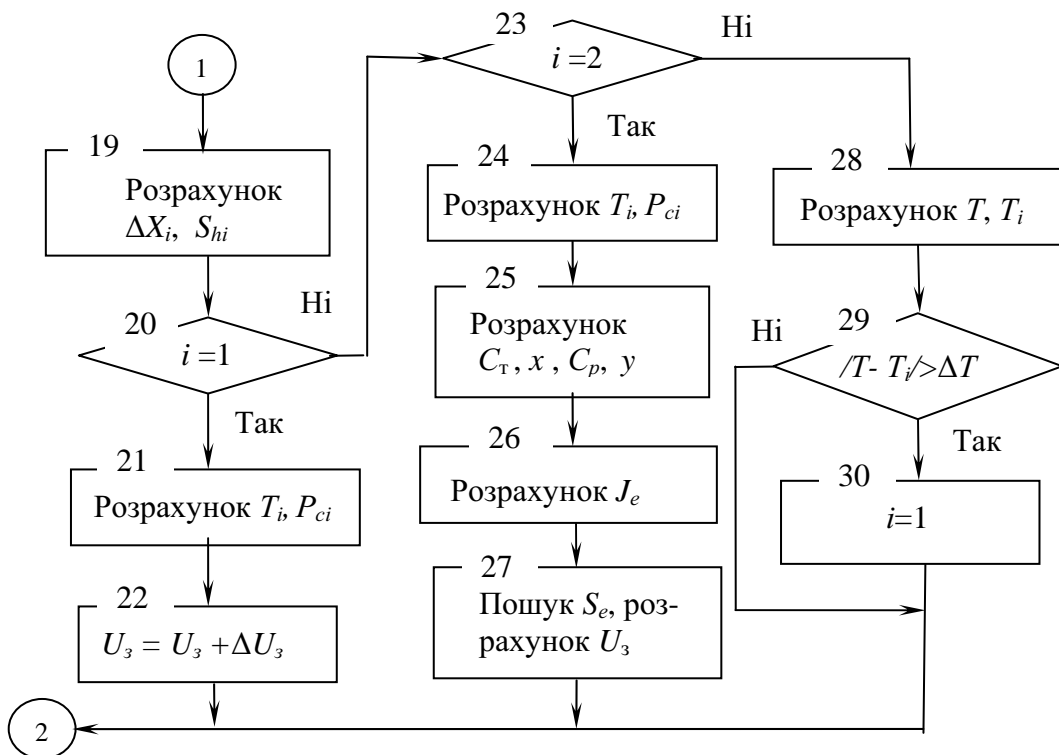


Рис. 3 Алгоритм керування швидкістю подачі для оптимізації процесу обробки зі створенням його математичної моделі

Для поиска экстремума функции $J_e(S)$ використовується чисельний метод дихотомії. У результаті пошуку визначається значення швидкості подачі S_e , що відповідає максимуму функції (2) і розраховується відповідний сигнал задання U_s швидкості електропривода подачі (блок 27).

При подальшій обробці зі швидкістю подачі S_e при знятті кожного шару металу ($i > 2$) проводиться розрахунок поточного значення оцінки періоду стійкості інструмента T_i і її прогнозованого значення T за створеною математичною моделлю (блок 28). Якщо розбіжність цих значень не перевищує заданий поріг ΔT (блок 29), то обробка продовжується зі швидкістю подачі S_e . Якщо розбіжність оцінок періодів стійкості перевищує величину ΔT , то номеру шару металу надається значення $i=1$ (блок 30). Це приводить до повтору випробувальних дій, розрахунку нової математичної моделі процесу і пошуку нового положення екстремуму показника ефективності (блоки 20 – 27).

Порівняння тривалості пошуку екстремуму показника J_e при застосуванні розглянутих вище алгоритмів проведено шляхом моделювання роботи системи, яка забезпечує керування електроприводом подачі верстата за цими алгоритмами. Результати дослідження системи на моделі, яка створена в середовищі Matlab-Simulink, подані у вигляді графіків залежностей показника енергетичної J_e ефективності процесу обробки і швидкості вертикальної подачі S від часу t (рис. 4).

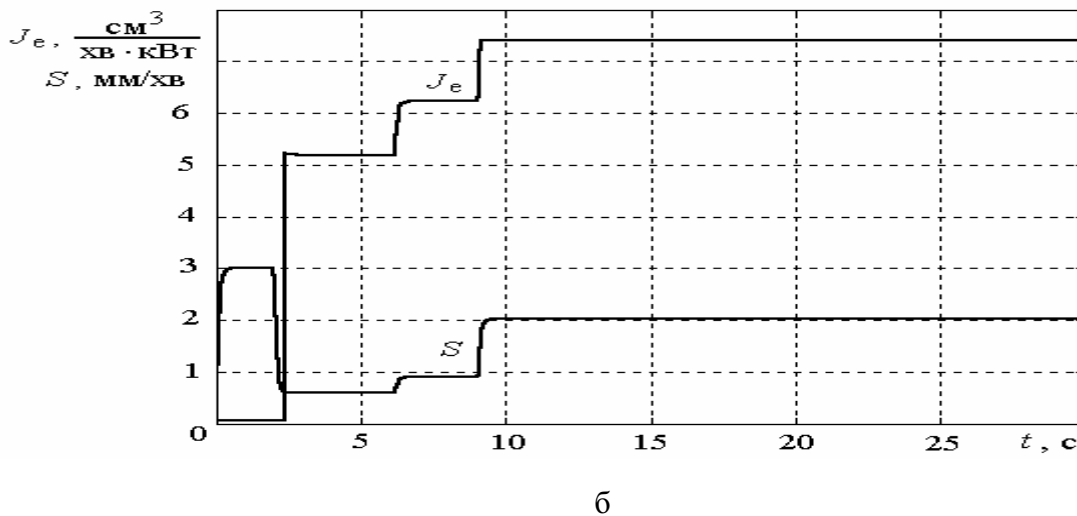
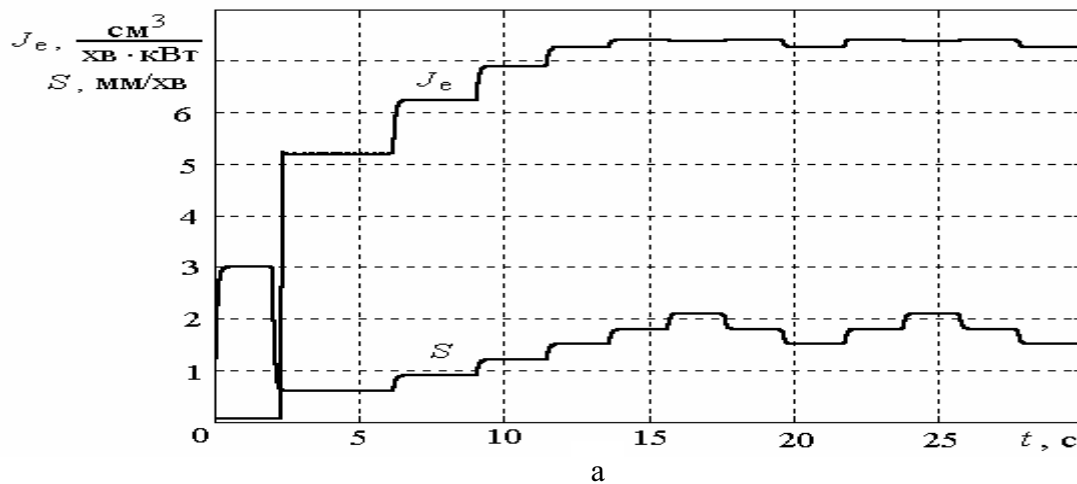


Рис. 4 Часові діаграми роботи системи оптимізації процесу обробки

Перед початком обробки шліфувальний круг підводиться до заготівки на підвище-

ній швидкості подачі 3 мм/хв (0-2с). Після цього починається процес пошуку швидкості подачі, яка відповідає максимуму показника J_e . У пошуковій системі, що використовує кроковий метод з поєднаними випробувальними і робочими кроками режим обробки, якому відповідає максимальне значення показника енергетичної ефективності, досягається через 12 с з початку обробки, а подальша обробка здійснюється при зміні швидкості подачі, що викликає втрати на нищпорення і не сприяє високій якості обробки (рис. 4, а). У системі, яка використовує метод керування зі створенням математичної моделі залежності $J_e(S)$ пошук екстремуму відбувається за два випробувальні кроки зі значеннями швидкості подачі 0,6 і 0,9 мм/хв. Тривалість пошуку оптимального режиму обробки становить 7,5 с, а подальша обробка здійснюється при постійній швидкості подачі доки положення екстремуму не зміниться під дією збурень (рис. 4, б).

Висновки. Проведене на моделі дослідження системи оптимального керування процесом силового шліфування засвідчило переваги алгоритму керування електроприводом подачі зі створенням на основі випробувальних дій математичної моделі залежності показника ефективності обробки від швидкості подачі у порівнянні з алгоритмом, що використовує кроковий метод пошуку з поєднаними випробувальними і робочими кроками. При однакових початковому значенні швидкості подачі і величині приросту цієї швидкості у випробувальних діях застосування у системі першого алгоритму керування забезпечує тривалість пошуку швидкості подачі, що відповідає екстремуму показника ефективності обробки, на 37% меншу, ніж при застосуванні другого алгоритму.

The comparative analysis of duration of search of value of feed speed corresponding to an extremum of a parameter of power efficiency in system of optimization of process of force grinding on rotary table vertical-spindle surface grinding machine tool is carried out. Results of research of a control system on mathematical model are presented.

1. Водічев В.А. Аналіз критеріїв оптимізації технологічного процесу металообробки // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса. – 2003. – Вып. 1 (19). – С. 153-156.
2. Шапарев Н.К. Расчет автоматизированных электроприводов систем управления металлообработкой. – К.: Лыбидь, 1992. – 272 с.
3. Водічев В.А. Керування швидкістю подачі верстата при багатокритеріальній оптимізації процесу силового шліфування // Електромашинобудування та електрообладнання: Міжвід. наук.-техн. збірник. – К.: Техніка. – 2003. – Вип. 61. – С. 3-10.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ЗАПОЛНЕНИЯ СЛАБОПРОВОДЯЩИМИ ЗАРЯЖАЮЩИМИСЯ ЖИДКОСТЯМИ (СПЗЖ) ЗАМКНУТЫХ ОБЪЕМОВ

Кириллов О.Л., Якимчук Г.С.

Введение.

Технологический процесс транспортирования слабо проводящих жидкостей в объемы всегда сопровождается зарядом самой жидкости во время ее движения по подающим трубопроводам [1-8], что вызывает накопление зарядов в заполняемом объеме. Данные процессы наблюдаются в технологиях заполнения замкнутых объемов на химических производствах, обеспечивающих транспортирование нефти и ее производных по суше и морю.

Основная проблема рассматриваемого процесса – определение оптимальных параметров производительности в зависимости от уровня заполнения. Несоблюдение данного требования приводит к выделению накопленной энергии зарядов на поверхности СПЗЖ в виде разрядов, приводящих к пожарам или взрывам.

В данной статье предлагается вывод оптимального закона заполнения замкнутых объемов с учетом условия безопасности процесса и экономической выгоды его ускорения во время заполнения.

Анализ последних публикаций.

Анализ проведенных исследований [1-8] показал, что в настоящее время технологическим процессом заполнения СПЗЖ управляют изменением величины производительности в зависимости от уровня заполнения объемов. В качестве интегрального параметра безопасности процесса выбран потенциал поверхности φ_{II} заполняемой СПЗЖ [2-5,7,8]. Методология современного решения задачи заполнения определяется поведением электростатического поля (ЭСП). В частности:

- величиной тока заряжения I_3 , входящего в резервуар из подающего патрубка [2-4,7,8], который определяется приближенным эмпирическим выражением [2]:

$$I_3 = \frac{A_i \times v^{m_i} d^{n_i}}{1,41 - 2 \lg(h_{эж}/d)}, \quad (1)$$

где A_i , m_i , n_i – параметры i -й выборки, определенные методом наименьших квадратов экспериментального исследования процесса, при постоянных контролируемых параметрах [2]; d – диаметр трубопровода; $h_{эж}$ – эквивалентная шероховатость внутренней поверхности труб; v – скорость потока СПЗЖ в трубе;

- скоростью \bar{v} доставки заряда в точку ЭСП [6-8] или гидродинамическим полем объема СПЗЖ, в котором потенциал поля связан со скоростью СПЗЖ соотношением:

$$\bar{v} = -grad \varphi, \quad (2)$$

где φ – потенциал точки рассматриваемого пространства ЭСП жидкости;

- состоянием распределения зарядов в слое СПЗЖ [2,6-8]

$$\rho = \rho_0 \exp\left(-\frac{z}{v\tau}\right), \quad (3)$$

где z – координата уровня заполнения жидкостью; τ – время релаксации заряда в СПЗЖ; ρ_0 – начальная плотность заряда, втекающего в объем, которая определяется по формуле [6]:

$$\rho_0 = \frac{I_3}{\omega}, \quad (4)$$

где ω – производительность грузовой фракции;

- потенциалом поверхности φ_{II} заполняемой жидкости [2,6-8], описанным в аналитическом виде как функциональная модель опасного состояния системы:

$$\varphi_{II} = f[\rho_0(I_3, \omega), \tau, \bar{v}, h] \leq 36 \text{ кВ}. \quad (5)$$

По расчетной потенциальной картине при различных производительностях для СПЗЖ выбирают зоны работоспособности грузовой системы по условиям безопасности и формулируют в виде:

$$\begin{aligned} \text{SUP} \{ \varphi(\rho_0(I_3, \omega), \tau, \bar{v}, h) \} &\leq \varphi_{кр} \\ (x, y, z) &\in S_{II}, \end{aligned} \quad (6)$$

где $\varphi_{кр} \leq 36 \text{ кВ}$ – критерий электростатической безопасности; h – уровень (координата уровня) заполнения СПЗЖ; (x, y, z) – координаты исследуемой площади S_{II} поверхности СПЗЖ.

В результате каждому значению параметров $\{\varphi, \omega\}$ ставят в соответствие значение уровня заполнения объема на пересечении $\varphi(\omega, h)$ линии, проходящей на уровне критерия электростатической безопасности (рис.3.).

Следует также отметить, что процесс заполнения производится в два этапа (по рекомендациям ОСТ 5.6186-83[1]):

- первый - до уровня $h = 0,6 \text{ м}$ выполняется со скоростью $v = 1 \text{ м/с}$;
- второй - оставшийся объем, который заполняется по рекомендациям расчета потенциалов ЭСП на поверхности СПЗЖ (6).

Нерешенные части общей проблемы.

Исследование моделей определения безопасного состояния [2,4,5,7,8] технологического процесса приводит к следующему:

- в процессе движения жидкости происходит расширение площади соприкосновения СПЗЖ с незаряженным паровоздушным пространством;
- подача зарядов вместе с потоком жидкости в замкнутое пространство, способствует накоплению его как на поверхности, так и в объеме самой жидкости. При этом следует считать, что данный процесс неравномерно распределяет заряд в слое жидкости на каждом уровне заполнения с момента времени $t/\tau > 10$ [6].

Исследование свойств ЭСП при максимальной скорости заполнения приводит к необходимому условию безопасности процесса – балансу зарядов поверхности и объема жидкости:

$$Q_{II} = Q_{ж}, \quad (7)$$

где Q_{II} – заряд на поверхности СПЗЖ; $Q_{ж}$ – величина заряда концентрирующаяся в СПЗЖ ниже поверхности.

Их разбалансирование в сторону увеличения заряда на поверхности $Q_{II} > Q_{ж}$ приводит к выделению избыточной энергии в виде искры с последующим загоранием паров СПЗЖ или их взрывом.

Наряду с описанным материалом следует отметить, что не до конца рассмотрено влияние ЭСП на технологический процесс и не рассмотрены методы ускорения самого процесса. В частности:

- углубленно не описан источник входящих зарядов и его влияние на ЭСП;
- не дана оценка влияния экономического фактора на процесс.

Постановка задачи исследования.

Поднятые вопросы требуют определения оптимального закона управления технологическим процессом заполнения СПЗЖ в замкнутые объемы при уточнении механизма влияния ЭСП на процесс заполнения с учетом опасного состояния технологии.

Уточнение механизма влияния ЭСП на процесс заполнения.

Во время движения СПЗЖ приобретает кинетическую энергию. Обладая скоростью v , и неся в себе заряды генерации электрокинетического механизма [9,10], СПЗЖ входит в приемный резервуар и на некотором удалении от приемного трубопровода растворяется в окружающей ее жидкости.

Заряды, переносимые жидкостью, движутся, пополняя ее объемный и поверхностный заряды. Параллельно идут релаксационные процессы.

При анализе входящего потока наблюдается струя [11], которая состоит из следующих частей: компактная - цилиндрическая или близкая к ней форма; раздробленная - в виде расширения струи и разрушения ее на отдельные части; распыленная - состоит из отдельных капелек.

Анализ гидравлического механизма падающей струи выявил [11], что конец струи, которая входит в жидкость, определен крайней точкой ее целостности, как совокупности нераздельных струй. Эта точка образует ядро струи с постоянными усредненными скоростями. При дальнейшем удалении от этой точки ядро исчезает. Сечение, где струя сохраняет свою целостность, называется переходным. В этом же сечении сосредоточен обратный полюс, который характеризуется целостностью струи. Длина начального участка струи (от начального сечения к переходному сечению) определяется по формуле [11]:

$$L_{noch} = 0,67 r_0 / a_L, \tag{8}$$

где r_0 – радиус струи в жидкости; $a_L = 0,07...0,08$ – коэффициент для видов струй, симметричных оси всей струи.

Тогда глубину погружения x_3 струи в жидкость или ее длину можно определить как:

$$L_{noch} = 0,67(d/2a_L), \tag{9}$$

где d – диаметр трубопровода.

Следует отметить, что затопленные струи входят в жидкость на глубину, описанную в формуле (9), после чего растворяются в ней.

Теория гидравлического процесса незатопленной струи позволяет считать следующее: давление по длине струи сохраняется постоянным и равным давлению в окружающем пространстве; размер диаметра незатопленной части струи равен диаметру d_0 трубопровода; над жидкостью находится компактная часть струи [11].

При определении длины струи наблюдается движение ее в двух средах, паровоздушной и жидкости. В обоих случаях длина разная и рассчитывается следующим образом:

- движение в паровоздушной среде (длина свободного падения струи):

$$L = v \sqrt{\frac{2 * h_{TP}}{g}}, \tag{10}$$

где h_{TP} – высота трубопровода относительно уровня дна; g – ускорение свободного падения = $9,81 \text{ м/с}^2$;

- движение в среде жидкости, гидравлические условия [11]:

$$L = \frac{0,67 * d}{2 * a_L}, \tag{11}$$

Поскольку размеры струи по сравнению с размерами заполняемого пространства малы, то в первом приближении можно процесс истечения СПЗЖ считать заряженной осью и применять к нему законы электротехники [12,13].

В связи с этим покажем влияние заряженной оси на исследуемое поле.

Струя, которая выходит из трубопровода, представляет поток зарядов, которые механически перемещаются со скоростью v и образуют линейный ток в жидкости [2,13-15]. Ее заряд определяется по формуле (4) и в конечном счете представляет собою зависимость:

$$I_3 = \rho_0 \omega = \rho_0 v S_T, \quad (12)$$

где S_T – площадь сечения трубопровода.

Откуда, заряд самой струи определяется:

$$\rho_{CT} = \frac{I_3}{\omega} = \frac{I_3 t}{V_Z K_Z} = \frac{I_3 t S_T L}{S_D^2 h^2}, \quad (13)$$

где V_Z – вещественный объем входящего заряда за время t ; $K_Z = V_Z / V_S = S_D h / S_T L$ – коэффициент соотношения объема вещества всего заряда к объему, занимаемому областью струи; S_T – площадь сечения трубопровода; L – длина струи (10,11) до момента растворения в СПЗЖ.

Поскольку струя пересекает несколько пространств, то ее поле оказывает на них действие, определяемое коэффициентом перехода сред [13]:

$$K = \frac{\varepsilon_{aCTP}}{\varepsilon_{aOP}}, \quad (14)$$

где ε_{aCTP} – абсолютная диэлектрическая проницаемость вещества струи; ε_{aOP} – абсолютная диэлектрическая проницаемость окружающего струю пространства.

Анализируя (14) можно сделать вывод о воздействии линейного заряда компактной части струи на окружающее ее поле в различных средах.

Таким образом, интегральное определение электрофизического процесса, данного предыдущими разработчиками [2,7,8](15)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \oint jE dS + \oint \rho V dS = 0, \quad (15)$$

должно иметь дополнительный компонент, заряженную ось, что подтверждается [6]:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \oint jE dS + \oint \rho V dS + \rho_{CT} dl = 0, \quad (16)$$

Уравнение (16) является базисным для описания ЭСП в неподвижной СПЗЖ.

Учет и уточнение опасного состояния технологии.

Обеспечение постоянства баланса заряда $Q_{II} \leq Q_{II MAX}$ на поверхности СПЗЖ и в заполняемом пространстве позволяет поддерживать постоянный потенциал на поверхности.

В аналитическом виде модель оптимального заполнения, учитывающая баланс зарядов $Q_{II} = Q_V + Q_L$ на поверхности СПЗЖ и внутри ее (с учетом опасного состояния системы), определяется согласно зависимости:

$$Q_{II} = f[\rho_0(I_3, \omega), \rho_{CT}(I_3, \omega, d), \tau, \bar{v}, h]. \leq Q_V + Q_L, \quad (17)$$

где $\rho_{CT}(I_3, \omega, d)$ – влияние заряда струи на поле слоя СПЗЖ.

Поскольку принято [16,17] в качестве критерия опасности технологии выбирать потенциал поверхности СПЗЖ, то аналитическая модель опасного состояния представляется:

$$\varphi_{II} = f[\rho_0(I_3, \omega), \rho_{CT}(I_3, \omega, d), \tau, \bar{v}, h]. \leq 36 \text{ кВ}. \quad (18)$$

Решение задачи исследования.

Как уже было сказано, оптимальная производительность объединяет фактор времени наряду с безопасностью процесса. В процессе закачки объемов СПЗЖ возникает необходимость изменять производительность и поддерживать ее значение на определенном уровне заполнения. При этом законы гидравлики показывают изменение состояния сопротивления жидкости при ее заполнении в зависимости от уровня закачки. Следовательно, процесс заполнения требует выработки технологической производительности и производительности процесса преодоления уровневого давления заполненного пространства. В дополнение к данным условиям необходимо не допустить выброс энергии накопленного заряда на поверхности СПЗЖ.

Для построения математической модели поставленной задачи исследования необходимо учитывать следующее.

1. Процесс проходит за максимально короткое время в среде жидкости и описывается уравнением [11]:

$$F \, dH / dt = \omega, \quad (19)$$

где F – площадь уровня; H – высота (уровень h); ω – объемный приход (расход) жидкости - производительность.

2. Во время заполнения должна быть обеспечена безопасность процесса, что требует в ЭСП баланса зарядов поверхности и внутри СПЗЖ:

$$Q_{\Pi} = Q_V + Q_L, \quad (20)$$

где Q_{Π}, Q_V, Q_L – заряды соответствующие поверхностному слою, объему СПЗЖ и втекающей струе.

3. Вектор состояния системы управления оптимальной производительностью определяется уровнем заполнения с учетом условия опасного состояния технологии и представляется как

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} h \\ Q_{\Pi} \end{bmatrix}. \quad (21)$$

В результате общий вид процесса можно представить системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = -\alpha_1 h + \frac{F_T}{S_D} + \frac{F_V}{S_T} \end{cases} \quad (22)$$

$$\begin{cases} \frac{dQ_{\Pi}}{dt} = \alpha_2 \frac{dh}{dt} + Q_V + Q_L; \end{cases} \quad (23)$$

где α_1 – коэффициент постоянной времени заполнения; α_2 – коэффициент пропорциональности между гидравлическим и электрофизическим процессами; h – уровень заполнения; t – время заполнения; F_T – технологический расход СПЗЖ через трубопровод в объем; F_V – уровневый расход, создающий давление уровня заполненного СПЗЖ на входящий поток в объем через входной патрубок; S_T, S_D – площади сечения трубопровода и рассматриваемого уровня, соответственно.

Рассматриваемая модель имеет взаимосвязь совокупности гидравлического (22) и электрофизического (23) компонентов, которая осуществлена коэффициентами α_1 и α_2 .

Гидравлический компонент модели показывает баланс скорости заполнения объема при объемном приходе ω и противодействии ему уровневого давления во время нагнетания в объем СПЗЖ. Подстановка и раскрытие слагаемых уравнения (22) приводит к следующему виду

$$\frac{dh}{dt} = -\alpha_1 h + \frac{\omega}{S_D} + \frac{S_T \times \sqrt{2gh}}{S_T} = -\alpha_1 h + \frac{\omega}{S_D} + \sqrt{2gh}. \quad (24)$$

Электрофизический компонент модели (23) описывает изменение во времени заряда поверхностного слоя СПЗЖ при изменении уровня заполнения, а также влияния объемного заряда и заряженной оси на него. Раскрытие слагаемых (23) и их подстановка преобразует формулу в следующий вид:

$$\frac{dQ_{II}}{dt} = \alpha_2 \frac{dh}{dt} + \rho_0 \frac{\tau\omega}{V} + \frac{I_3 t S_T L}{S_D^2 h^2} = \alpha_2 \frac{dh}{dt} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^2 L}{4 S_D^2 h^2}, \quad (25)$$

где $\alpha_2 \frac{dh}{dt}$ – фактор регулирования электрофизическим балансом процесса при заполнении объема; V – объем СПЗЖ в резервуаре, в момент времени t .

Учитывая, что входной трубопровод находится на некотором расстоянии от дна, то в процессе заполнения требуется разделение временного промежутка процесса на: $(0 - t_1)$ – время заполнения до уровня трубопровода, обусловленное влиянием заряженной оси (9); $(t_1 - t_2)$ – время заполнения выше уровня трубопровода до полного заполнения (10).

Общее решение задачи.

Таким образом, для функционала цели, т.е. безопасного ускорения процесса заполнения:

$$\mathfrak{T} = \int_0^t dt, \quad (26)$$

где t – время заполнения объема, и динамики системы заполнения

$$\vec{x} = f(\vec{x}, \omega, \vec{u}), \quad (27)$$

с учетом ограничения по безопасности

$$Q_{II} \leq Q_{II \text{ MAX}} \quad (28)$$

где $Q_{II \text{ MAX}}$ – максимально допустимая величина заряда поверхности СПЗЖ, ставиться задача оптимального управления технологическим процессом заполнения замкнутых объемов:

$$\begin{cases} \bar{x}^*, \bar{\omega}^* = \min \mathfrak{T} \\ \dot{\bar{x}} = f(\bar{x}, \omega, \bar{u}) \\ Q_{II} \leq Q_{II \text{ MAX}} \end{cases} \quad (29)$$

а общий вид процесса представляется системой уравнений:

$$\begin{cases} \frac{dh}{dt} = -\alpha_1 h + \frac{\omega}{S_D} + \sqrt{2gh} \\ \frac{dQ_{II}}{dt} = \alpha_2 \frac{dh}{dt} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^2 L}{4 S_D^2 h^2} \end{cases} \quad (30)$$

Подстановка и решение (30) относительно заряда Q_{II} приводит к общему уравнению процесса:

$$\frac{dQ_{II}}{dt} = -\alpha_2 \alpha_1 h + \alpha_2 \frac{\omega}{S_D} + \alpha_2 \sqrt{2gh} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^2 L}{4 S_D^2 h^2}. \quad (31)$$

Полное решение (31) с учетом процесса заполнения до уровня входного патрубка и оставшегося пространства относительно Q_{II} выглядит:

$$Q_{II} = \int_0^{t_1} \left(-\alpha_2 \alpha_1 h + \alpha_2 \frac{\omega}{S_D} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^2 \sqrt{\frac{2(h_{TP} - h)}{g}}}{4 S_D^2 h^2} \right) \times dt +$$

$$+ \int_{t_1}^{t_2} \left(-\alpha_2 \alpha_1 h + \alpha_2 \frac{\omega}{S_D} + \alpha_2 \sqrt{2gh} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^3 0,67}{8 \alpha_L S_D^2 h^2} \right) \times dt, \quad (32)$$

где $(0 - t_1)$ – время заполнения до уровня трубопровода; $(t_1 - t_2)$ – время заполнения выше уровня трубопровода до полного заполнения объема.

При определении допустимой производительности приема груза, с учетом 2-х уровнев-ного режима заполнения решение первой части уравнения (32) не представляется важным и расчет задачи сводится ко второй части:

$$Q_{II} = \int_{t_1}^{t_2} \left(-\alpha_2 \alpha_1 h + \alpha_2 \frac{\omega}{S_D} + \alpha_2 \sqrt{2gh} + \frac{I_3 \tau}{\omega t} + \frac{I_3 t \pi d_T^3 0,67}{8 \alpha_L S_D^2 h^2} \right) \times dt, \quad (33)$$

где $t_1 = 0$ – начальное время оптимального процесса заполнения; $t_2 = t$ – конечное время оптимального процесса технологии.

В результате решения получаем:

$$Q_{II} = -\alpha_2 \alpha_1 h \times t + \alpha_2 \frac{\omega}{S_D} \times t + \frac{\alpha_2 \sqrt{2gh} \times t}{2} + \frac{I_3 \tau}{\omega} \varepsilon^t + \frac{I_3 t^2 \pi d_T^3 0,67}{16 \alpha_L S_D^2 h^2}. \quad (34)$$

Временной период t заменяем эквивалентной производительностью в соотношении с уровнем и площадью зеркала СПЗЖ с учетом [8]:

$$t = \frac{S_D h}{\omega}. \quad (35)$$

где S_D – площадь зеркала СПЗЖ.

Тогда в пересчете на уровень (34) принимает вид:

$$Q_{II} = -\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D h}{\omega} + \frac{\alpha_2 h}{2} + \frac{\alpha_2 \sqrt{2gh} S_D h}{2\omega} + \frac{I_3}{\omega} \varepsilon^{\frac{\tau\omega}{S_D h}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16 \alpha_L \omega^2}. \quad (36)$$

Руководствуясь постановкой задачи исследования, преобразуем уравнение (36) в равенство (37):

$$\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D h}{\omega} - \frac{\alpha_2 h}{2} - \frac{\alpha_2 \sqrt{2gh} S_D h}{2\omega} = \frac{I_3}{\omega} \varepsilon^{\frac{\tau\omega}{S_D h}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16 \alpha_L \omega^2} - Q_{II}. \quad (37)$$

Левая часть равенства (37) обеспечивает процесс заполнения по законам гидравлики с выполнением поставленной цели обеспечения оптимальной производительности.

Правая часть равенства (37) обеспечивает баланс поверхностного заряда, удерживающего безопасный потенциал на поверхности СПЗЖ.

Выделяем левую часть уравнения (37) в задачу относительно $\omega(t)$, приравнявая последнюю к нулю (энергетический баланс ЭСП).

В результате имеем:

$$\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D h}{\omega} - \frac{\alpha_2 h}{2} - \frac{\alpha_2 \sqrt{2gh} S_D h}{2\omega} = 0. \quad (38)$$

Преобразуем (38):

$$\alpha_2 \times h \times \left[-\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D}{\omega} + \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2gh} S_D}{2\omega} \right] = 0 \quad (39)$$

С математической точки зрения решение (39) имеет $3!=6$ решений, поскольку рассматривается 3 сомножителя, из которых один $\Rightarrow const$. В результате решение приводит к 2-м системам.

Первая не удовлетворяет постановке задачи поскольку не реализуется:

$$\omega = \begin{cases} \alpha_2 = 0; \\ h \neq 0; \\ \left[-\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D}{\omega} + \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2ghS_D}}{2\omega} \right] \neq 0 \end{cases} . \quad (40)$$

Таким образом, решение следует искать во второй системе:

$$\omega = \begin{cases} \alpha_2 \neq 0; \\ h \neq 0; \\ \left[-\frac{\alpha_2 \alpha_1 h S_D}{\omega} + \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2ghS_D}}{2\omega} \right] = 0 \end{cases} . \quad (41)$$

Откуда вытекает уравнение процесса:

$$-\frac{\alpha_1 h S_D}{\omega} + \frac{1}{2} + \frac{\sqrt{2ghS_D}}{2\omega} = 0. \quad (42)$$

Преобразуем

$$\frac{\alpha_1 h S_D}{\omega} - \frac{\sqrt{2ghS_D}}{2\omega} = -\frac{1}{2} \quad (43)$$

и получаем

$$\frac{1}{\omega} \left(\alpha_1 h S_D - \frac{\sqrt{2ghS_D}}{2} \right) = -\frac{1}{2} \quad (44)$$

или

$$\frac{1}{\omega} = -\frac{1}{2(\alpha_1 h S_D - \sqrt{2ghS_D})}. \quad (45)$$

Инвертируем (45) и получаем закон управления производительностью $\omega(h)$ в зависимости от уровня заполнения объема:

$$\omega^*(h) = \alpha_2 \left(\sqrt{2ghS_D} - 2\alpha_1 h S_D \right) \times h. \quad (46)$$

В результате (46) следует считать оптимальным законом производительности заполнения на соответствующем уровне h при площади заполняемого уровня S_D .

Выделяем правую часть уравнения (37) и получаем:

$$Q_{II} = \frac{I_3}{\omega} \varepsilon^{\frac{\tau\omega}{S_D h}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16\alpha_L \omega^2}. \quad (47)$$

В (47) заменяем переменные:

$$A = I_3, \quad B = \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16\alpha_L}, \quad C = \frac{\tau}{S_D h}, \quad D = Q_{II}, \quad (48)$$

Тогда уравнение представляется в следующем виде:

$$\frac{A}{\omega} \cdot e^{C\omega} + \frac{B}{\omega^2} = D, \quad (49)$$

Производим преобразование:

$$D = e^{c\omega \frac{A}{\omega}} + \frac{B}{\omega^2} = e^{cA} + \frac{B}{\omega^2}, \quad (50)$$

В результате подстановки в (50) величины оптимальной производительности (46) можно определить функциональную связь между изменением заряда на поверхности СПЗЖ и производительностью на определенном уровне заполнения. Соотношение после подстановки выглядит:

$$Q_{II} = e^{cA} + \frac{B}{\omega^2} = e^{\frac{\tau \times I_3}{S_{дh}}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16\alpha_L \times (\alpha_2 (\sqrt{2gh} S_{д} - 2\alpha_1 h S_{д}) \times h)^2} =$$

$$= e^{\frac{\tau \times I_3}{S_{дh}}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16\alpha_L \alpha_2^2 S_{д}^2 (\sqrt{2gh} - 2\alpha_1 h)^2 \times h^2}, \quad (51)$$

После сокращений и приведения подобных получаем зависимость величины заряда на поверхности СПЗЖ в зависимости от уровня заполнения при условии применения оптимальной производительности:

$$Q_{II} = e^{\frac{\tau \times I_3}{S_{дh}}} + \frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{16\alpha_L \alpha_2^2 S_{д}^2 h^2 (\sqrt{2gh} - 2\alpha_1 h)^2}. \quad (52)$$

Обратное решение функционала оптимальной производительности ω^* для определенного заряда на поверхности Q_{II} приводит к уравнению:

$$\omega = \pm \frac{d_T}{4} \times \sqrt{\frac{I_3 \pi d_T^3 0,67}{\left(Q_{II} - e^{\frac{\tau \times I_3}{S_{дh}}} \right) \alpha_L}}. \quad (53)$$

Соотношение (53) показывает чистую взаимосвязь ω и Q_{II} , не определяя налагаемые условия на уровень заполнения.

Полученное уравнение (53) позволяет сразу отказаться от отрицательного корня, поскольку в процессе отсутствует инверсия тока I_3 . Данное условие возникнет только при заполнении нефтепродуктом с большим количеством растворенной воды $\geq 0,007\%$ [2].

На основании полученных логических рассуждений были проведены расчеты и получены данные зависимости $\omega(t)$ при условии постоянства потенциала поверхности $\varphi_{II} \leq \varphi_{кр} = 36 \text{ кВ}$. Расчет производился на разработанной математической модели с учетом анализа выкладок [2,6-9] и их уточнения (12-16). Графический вид зависимостей представлен на рис.1.

Анализ [8] выявил, что технологическое заполнение с ростом производительности выполняется до определенной отметки - 4,5м, а затем производительность не меняется (черный график (рис.1.)).

В условиях поставленной задачи удерживания уровня потенциала поверхности $\varphi_{II} \leq \varphi_{кр}$ был произведен расчет величин производительности на соответствующих уровнях $h \geq 4,5 - 16 \text{ м}$, для объема размером: верхняя подволока = 18,2м; нижняя подволока = 25м; ширина объема = 18,2м; высота объема = 16м, $V = (18,2 \dots 25) \times 18,2 \times 16 \text{ (м}^3\text{)}$. В результате проведено расчетное сравнение затрат времени.

Предложенный метод заполнения по сравнению с данными источника [8] дает экономию во времени около 3-х часов, что в среднем ускоряет технологию процесса на $1,62 \text{ м}^3 / \text{с}$. Выводы представлены на рис.2.

Результатом расчетов (рис.3.) представлен графический вид оптимального закона управления процессом заполнения замкнутых объемов при условии баланса зарядов ЭСП на поверхности и внутри СПЗЖ.

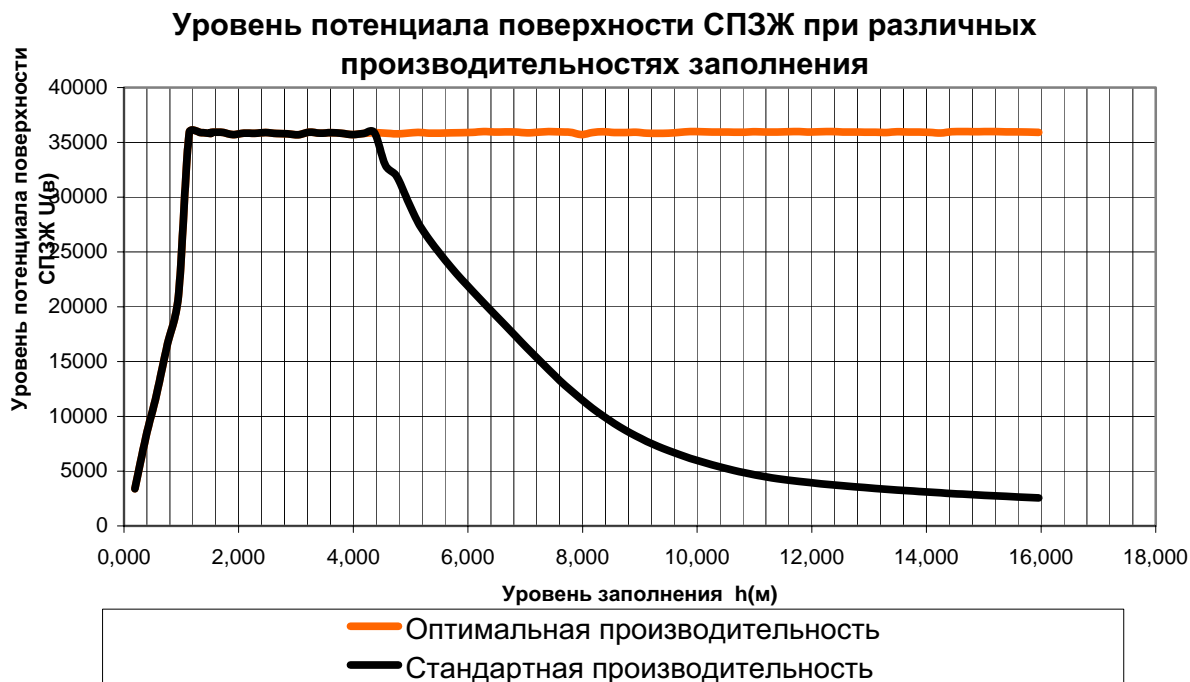


Рис.1 Функционал потенциала поверхности СПЗЖ φ_{II} при различных производительностях ω в зависимости от уровня h заполнения.

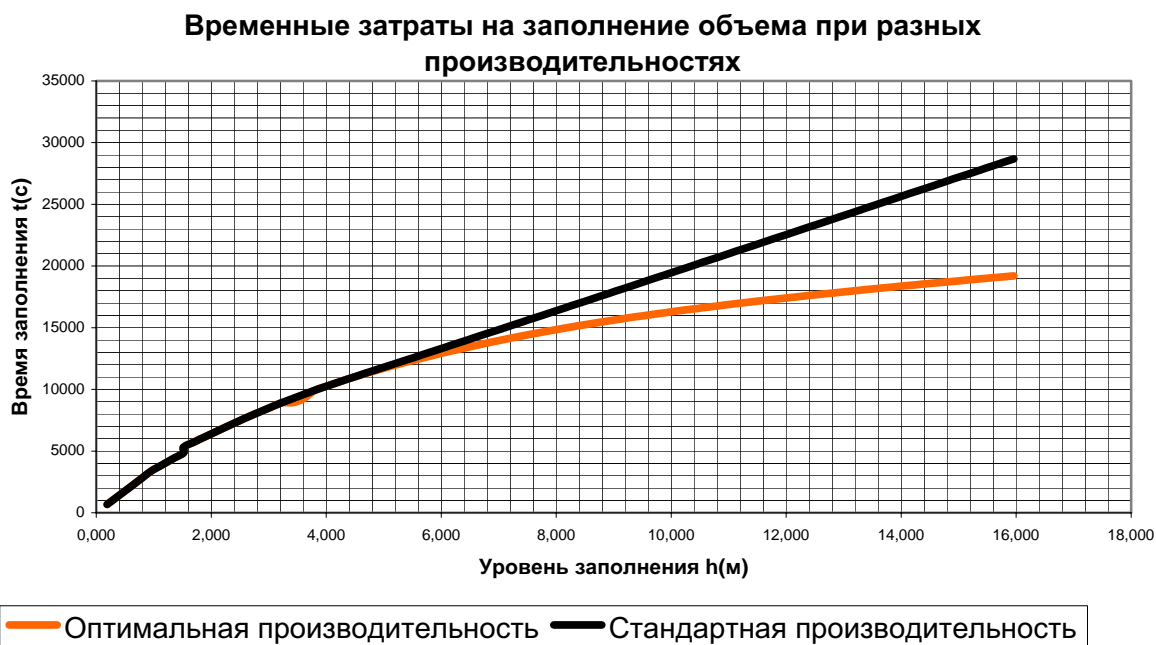


Рис.2. Временные затраты на заполнение объема при разных уровнях производительности.

Оптимальный закон управления процессом заполнения замкнутых объемов СПЗЖ

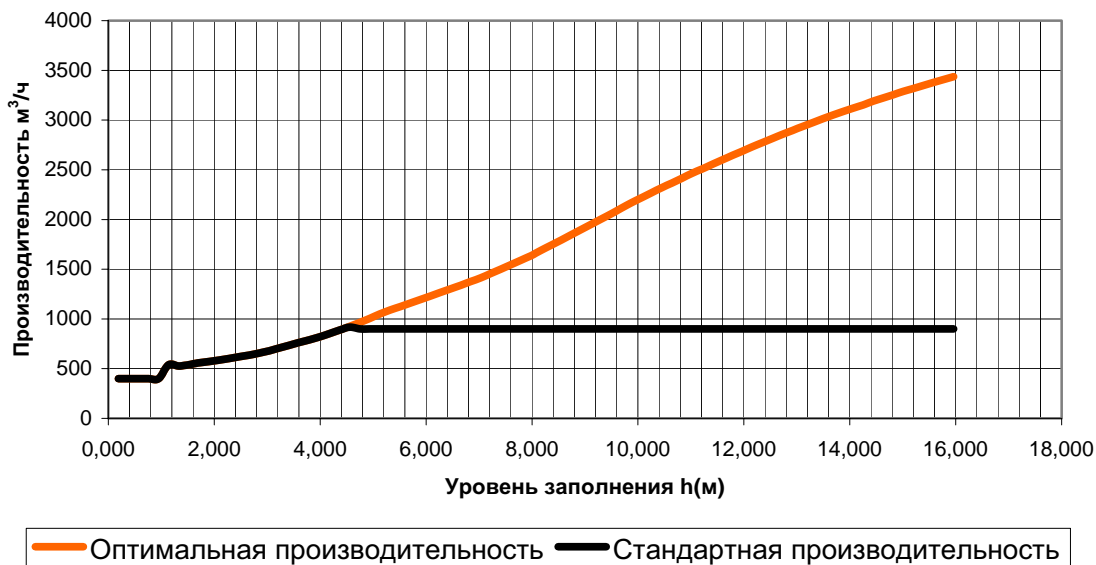


Рис.3. Оптимальный закон управления процессом заполнения замкнутых объемов СПЗЖ

Выводы.

В результате сопоставления расчетных данных получено:

- 1) оптимальный закон управления технологическим процессом на различных уровнях заполнения объемов;
- 2) определена математическая модель замкнутого объема как объекта управления в технологическом процессе заполнения его СПЗЖ;
- 3) определена взаимосвязь между производительностью ω и уровнем заряда на поверхности СПЗЖ Q_{II} ;
- 4) проведенное моделирование подтверждает теоретические предположения о реализуемости оптимального управления технологическим процессом;
- 5) проведен расчет потенциальной картины ЭСП процесса, который позволяет утверждать верность теоретического подхода к постановке задачи;
- 6) расчетные данные утверждают основание экономической выгоды рассматриваемого метода, в особенности при заполнении объемов большой емкости.

The given work - represents itself the analysis of a condition of theoretical development on maintenance of an optimality of management with technological process of filling of the closed volumes badly spending charged liquids (BSCL) under condition of safety of process of filling. In work the interrelation of balances of an electrostatic field (EF) is considered {examined}, at accumulation of charges on a surface Q_{II} and inside $Q_{Ж}$ BSCL, and hydro-dynamical process of filling of the closed volume. Has for an object comparison and generalization of hydro-dynamical and electrostatic approaches for maintenance of profitability of process.

1. ОСТ 5.6186-83. Отраслевой стандарт. Защита нефтеналивных судов от статического электричества. Технические требования. Группа Е 02. Введ. 01.01.84. - М.: Изд-во стандартов, 1984. – 26 с.
2. Максимов Б.К., Обух А.А., Тихонов А.В. Электростатическая безопасность при заполнении резервуаров нефтепродуктами. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 154с.
3. Максимов Б.К., Навацкий А.А., Обух А.А. Универсальный стенд для исследования электризации авиационных топлив // Электричество. 1973. №12 с. 12-13.
4. Максимов Б.К., Обух А.А., Тихонов А.В. Статическая электризация и нейтрализация зарядов жидкостей, транспортируемых по трубам // Тр. МЭИ. 1981. Вып.510. с.124 – 135.
5. Щигловский К.Б., Подольский Б.Д. Уравнение электрического поля движущейся заряженной жидкости и расчет релаксационных резервуаров.//ст. Защита от временного воздействия статического электричества. - М.:1975. – 43с.
6. Портной Г.Н., Юдин И.А. Распределение зарядов в движущейся слабопроводящей жидкости // Письма в ЖТФ, том 10, вып. 15, 12 августа 1984 г., -М.: Наука, 1984. 897-959 с.
7. Галка В.Л. Электростатическая безопасность нефтеналивных судов и кораблей. СПб.: Элмор. 1998.– 188с.
8. Проведение испытаний и исследований по оценке электростатической опасности при заполнении и механизированной мойке грузовых танков. // составлен ЦНИИСЭТ г. Ленинград., на разработку ЦКБ Изумруд, г. Херсон.
9. Kramer H., Asano K., Schon C. Criteria for safe filling of tankvehicles theoretical and experimental studies to assess to the electrical hazard. 3-rd Inter. Congr. Stat. Electricity, Grenoble, April 1977. Paper 31.
10. Kramer H., Asano K. Inundivity of sparks from surfaces of electrostatically charged liquids J. of Electrostatics, V. 6 (1979). PP. 361—374.
11. Штеренлихт Д.В. Гидравлика. - М.: Энергоатомиздат, 1984. - 639 с.
12. Тамм И.Е. Основы теории электричества. М.: Наука, 1989.
13. Бессонов Л.Н. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник для электротехн., энерг., приборостроит. спец. вузов. -М.: Высш. шк., 1986. - 263 с.
14. Математический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1988. - 848 с.
15. Государственный нормативный акт об охране труда: ДНА ОП 0.00-1.29-97: Утв. приказом Государственного комитета Украины по надзору за охраной труда от 22.04.97 / Правила защиты от статического электричества. – Киев., Основа, - 1997. – 116 с.
16. Гавриленко Н.Д. Минимальные энергии зажигания паровоздушных смесей при различных температурах. Экспресс-информация ВНИИТБХП. Вып. 1. 1973.
17. ГОСТ 12. 1. 018—86. Пожарная безопасность. Электростатическая искробезопасность. Общие требования.

К ВОПРОСУ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ОПТИМИЗАЦИИ ГРАНУЛИРОВАНИЯ РЫБНОЙ МУКИ В БАРАБАНЕ

Исаев Е.А., Чернецкая И.Е., Завальнюк О.П.

Характерными проявлениями режима гранулирования перекатом являются отрыв некоторой массы материала от всего объема и сползание этой массы навстречу поднимающейся новой порции сырья. В процессе сдвига происходят взаимные смещения гранулируемых частиц, которые становятся возможным тогда, когда касательные напряжения преодолевают удерживающие силы, действующие в точках контакта этих частиц. При этом материал, представляющий собой рыхлую трехфазную систему, в первоначальный период после сдвига уплотняется и характеризуется увеличением числа контактов частиц между собой. В дальнейшем, в процессе сдвига, силы сцепления и структурной прочности преодолеваются, и сопротивление сдвигу снижается до величины, обуславливаемой преимущественно сцеплением сдвигаемых взаимодействующих частиц. Материал при этом разрыхляется. Поэтому, по нашему мнению, сила трения F_{mp} в классическом понимании по отношению к сыпучим средам не применима.

Исходя из сказанного, процесс оползания захватывает некоторую зону, в которой в результате взаимного смещения и переориентирования расположения частиц изменяются такие физические параметры, как влажность, разрыхленность и т. д. Обычно при рассмотрении вопросов сдвига сыпучих сред, или грунтов в целях упрощения допускают, что сдвиг происходит по некоторой условной, т.н. поверхности скольжения [1].

При разделении сцепления на составляющие, уравнение сопротивления гранулируемого материала сдвигу записывается в виде:

$$\tau_w = P \cdot \operatorname{tg} \varphi_w + C_w ; \quad (1)$$

$$C_w = C + F_w ,$$

где τ_w — касательное напряжение сдвига для материала влажностью W ;

P — нормальное давление на материал;

φ_w — угол внутреннего трения для материала влажностью W ;

C — структурное сцепление зерен материала;

F_w — сцепление между частицами гранулируемого материала;

C_w — суммарное сцепление в структурно-связанном теле, определяемое числом гибких связей между частицами.

Сцепление гранулируемого материала с ростом влажности большей НКВ (наименьшей капиллярной влагоемкости) C_w уменьшается в 1,3-1,5 раза и при этом представляет усилия, определяемые двойной кривизной жидкостной манжеты и реологическими свойствами гибких связей, действующих в точке контакта.

Как следует из кинограммы процесса, в переходном режиме гранулирования происходит отрыв и сползание некоторого объема материала, характеризующегося определенным углом отрыва γ_0 ; в дальнейшем, по мере установления процесса, величина γ_0 изменяется за счет изменения коэффициента C_w при движении, перестройки структуры объема материала и т. д. При этом происходит формирование двух разделенных в пространстве и направленных навстречу потоков: восходящий поток и ссыпавшийся объем

комкуемого материала. Линия раздела потоков в действительности представляет некоторую кривую, которая с достаточной для практики точностью может быть представлена ломаной VQW (рис.1). Другими словами ссыпавшийся объем может быть представлен в виде трехгранной призмы и ребром некоторой длины.

Наибольший интерес представляет установившийся процесс гранулирования, однако, в качестве первого приближения рассмотрим поведение ссыпавшегося материала, изображенного в виде указанной призмы.

В момент, предшествующий обрушению, по возникающей поверхности скольжения выделенная призма находится в состоянии предельного равновесия, стремясь сместиться под действием составляющей собственного веса Q . Препятствуют отрыву и смещению призмы силы $F_w, F_y, C_w F$ (рис. 1).

Проекция всех сил, действующих на ось X , имеют вид:

$$\sum F_{KX} = F_w \cos \delta + F_y \sin \varepsilon - N \sin \eta_1 + (C_w F) \cos \eta_1 = 0, \quad (2)$$

откуда:

$$N = \frac{F_w \cos \delta + F_y \sin \varepsilon + C_w F \cos \eta_1}{\sin \eta_1} \quad (3)$$

где F_w — сцепление частиц по поверхности отрыва основанием VQ ;

$$F_y = m \omega^2 R;$$

F — площадь зацепления;

N — нормальная реакция тела;

η_1 — угол естественного откоса комкуемого материала влажностью W ;

ε — согласно рис.1.

Равновесие сил в проекции на ось Y записывается:

$$\sum FY = -F_w \sin \delta - F_y \cos \varepsilon - Q + (C_w F) \sin \eta_1 + N \sin \eta_1 = 0, \quad (4)$$

Легко показать, что сила, удерживающая тело от сдвига F_w определяется по выражению:

$$F_w = F_{cy} \frac{K \cdot P \cdot H \cdot dU}{d_{cp}^2} \quad (5)$$

где F_{cy} — сила сцепления частицы, расположенной в отрываемом слое, с частицами оставшегося слоя;

H — длина отрываемого участка тела;

d_{cp} — средний диаметр частиц, слагающих отрываемое тело;

dU — толщина отрываемого тела;

P, K — гранулируемость и коэффициент заполнения площади отрыва материалом, $K=0,632$ [1].

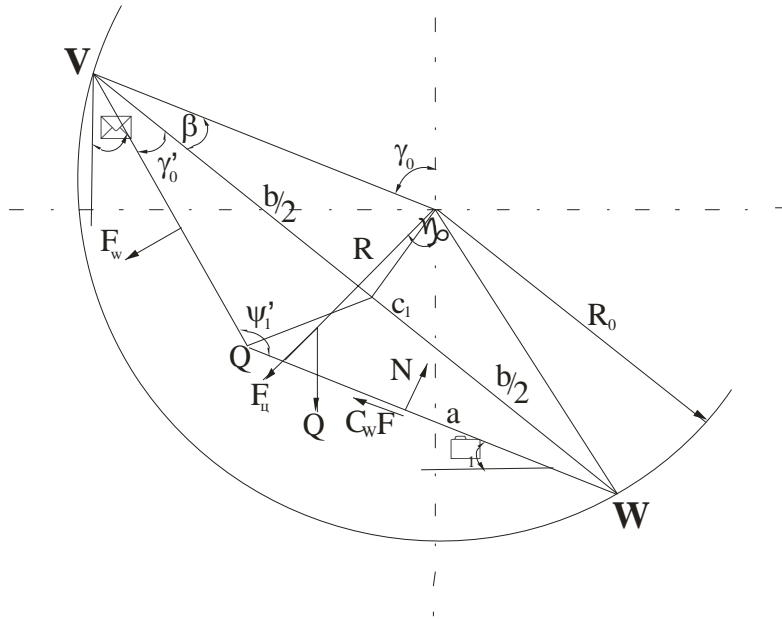


Рис. 1 Распределение сил взаимодействия потоков материала в барабане.

Аналогично:

$$F = a \cdot dU, \quad (6)$$

где a — длина линии QW(рис.1) и

$$Q = \frac{1}{2} \gamma \cdot H \cdot b \cdot \sin \gamma_0' \cdot dU \quad (7)$$

Подставив (3), (5), (6) в (4) и поделив на (7), окончательно получим:

$$\varpi = \sqrt{\frac{g \left\{ \sin \eta_1 - \frac{2}{\gamma \cdot b \cdot \sin \gamma_0'} \left[T \cdot \cos(\delta + \eta_1) + \frac{C_w \cdot a}{H} \right] \right\}}{R \cdot \sin(\xi - \eta_1)}} \quad (8)$$

где γ — удельный вес комкуемого материала;

$$T = \frac{F_{cu}}{d^2} P \cdot K;$$

$R, \varepsilon, \eta_1, \delta$ - согласно рис. 1.

Для решения уравнения (8) раскроем значения величин $H, a, \delta, R, \varepsilon$. Не загромождая вывод вспомогательных величин элементарными преобразованиями, запишем конечный результат:

$$H = \frac{b \cdot \sin(\gamma_0 + \frac{\lambda}{2} + \eta_1)}{\cos(\delta + \eta_1)} \quad (9)$$

$$R = \frac{B \cdot \cos(\arcsin A)}{6 \cdot \sin \beta_1} \quad (10)$$

$$B = \sqrt{2(H^2 + a^2) - b^2} \quad (11)$$

$$A = \frac{2 \cdot H \cdot \sin \gamma_0'}{B} \quad (12)$$

$$\xi = \pi - \gamma_0 - \frac{\lambda}{2} + \beta_1 \quad (13)$$

$$a = \frac{b \cdot \sin \gamma_0'}{\cos(\delta + \eta)} \quad (14)$$

$$b = 2 \cdot R_0 \cdot \sin \frac{\lambda}{2} \quad (15)$$

$$\beta_1 = \arctg \frac{B \cdot \cos(\arcsin A)}{A \cdot B + 6 \cdot R_0 \cdot \cos \frac{\lambda}{2}} \quad (16)$$

$$K = \frac{b^2}{R_0 \cdot (\lambda - \sin \lambda) [\operatorname{ctg} \gamma_0' - \operatorname{ctg}(\gamma_0 + \frac{\lambda}{2} + \eta)]} \quad (17)$$

$$\delta = \gamma_0 + \frac{\lambda}{2} - \frac{\pi}{2} - \gamma_0' \quad (18)$$

где R_0 — радиус барабана;

λ — центральный угол обхвата, рад;

γ_0 — угол отрыва материала;

K — доля ссыпаемого материала, т.е. непосредственно гранулируемого.

Как показывает практика окомкования сыпучего материала в барабане и кинопленка процесса, а также расчеты с использованием (9 – 18), угол λ в статическом и динамическом (т.е. при работающем окомкователе) состояниях различаются не более чем на 15%. Поэтому, принимаем: $\lambda_{CT} \approx \lambda_{дин} = \lambda$.

Таким образом, уравнение (8) в совокупности с уравнениями (9 – 18) устанавливает аналитическую связь между такими параметрами гранулирования, как влажность комкуемого материала, гранулометрический состав, физико-механические свойства: зацепление частиц и т. д. — с параметрами механического оборудования: диаметром окомкователя, его частотой вращения и производительностью по питанию.

Система представленных выше уравнений (9 – 18) решена с помощью приложений MATLAB 6.5 – Simulink. Результаты расчетов показывают, что имеется существенная связь между частотой вращения ω с одной стороны и степенью заполнения барабана γ , и углом естественного откоса η_1 с другой (рис.2).

Кроме того, достаточно значимое влияние на ω оказывает структурное зацепление между частицами C_w и сила сцепления частиц $F_{cц}$, причем влияние первого параметра в 1,7 раза больше, чем второго.

Другими словами, чем тоньше гранулируемый материал и чем больше он увлажнен, тем меньшим диаметром должен использоваться окомкователь (гранулятор) при сниженной скорости вращения.

Кроме того, параметр T , отражающий физико-механические характеристики комкуемого сырья, оказывает существенное влияние и на угол γ_0 , т.е. на начало ссыпания материала. При этом если материал переизмельчен и переувлажнен, может наступить момент, когда материал невозможно будет гранулировать. Для окомкования такого материала может быть применен режим повышенных динамических нагрузок (ПДН), который осуществляет принудительный отрыв массы от внутренней поверхности барабана. Наилучшими условиями гранулирования в режиме переката будут при $K=0,5$. Этот параметр может быть принят как один из основных при оптимизации процесса. Кроме того, для обеспечения максимальной длины скатывания рассчитанное значение соотношения H к a составляет 1 к 3. Соблюдая указанное условие, решается на ЭВМ система уравнений (8 - 18) для заданных значений влажности, физико-механических параметров комкуемого материала и отыскивается необходимая частота вращения барабана ω для заданной производительности по исходному материалу.

Расчеты также показывают, что в динамике процесса после нарушения положения равновесия, величина η_1 изменяется и для сохранения профиля сечения комкуемого материала значение ω должно быть увеличено.

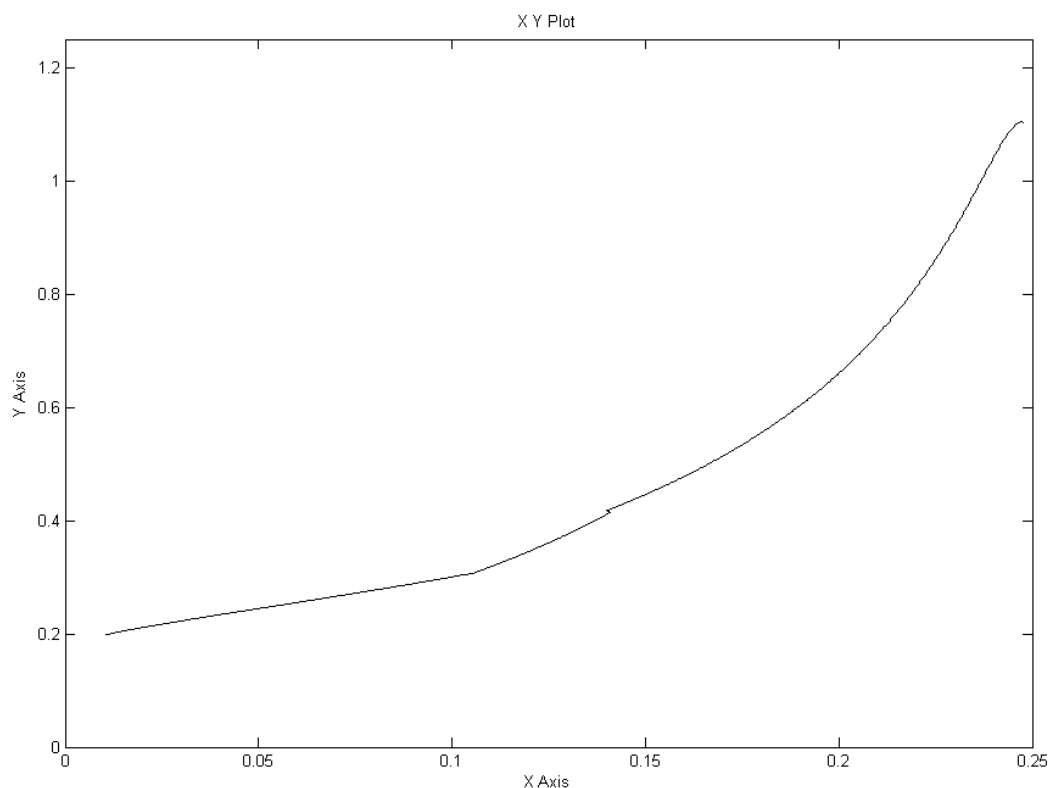


Рис. 3 Зависимость расчетных значений конструктивных параметров гранулирования (ω, γ) от свойств сырья η_1 .

Таким образом, с ростом размеров гранул (т.е. с увеличением среднего диаметра частиц материала d_{cp}) и уменьшением их сцепления $F_{сц}$, согласно, вышеприведенным формулам, целесообразно либо увеличивать частоту вращения (ω), либо увеличивать размер барабана.

В заключении отметим, что полученные результаты расчетов дают возможность принять определенные решения при оптимизации процесса гранулирования рыбной муки в барабане.

The questions decision making are considered at optimization of the process by granulating by studies of the mode by granulating clap. It is researched behaviour sacking material in the manner of trihedral prism. The founded relationship between frequency of the rotation of granulator and prism. It is installed that, than fine granulated material and than more he is moistened, that smaller diameter must be used granulator under reduced velocities of the rotation.

1. Е.А.Исаев, И.Е.Чернецкая, Л.Н.Крафт. Современная теория окомкования сыпучих материалов. Монография - Старый Оскол: Издательство "Тонкие наукоемкие технологии", 2001-244 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ НЕПОСРЕДСТВЕННОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ С ОПТИМАЛЬНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Лебедеенко Ю.А.

Постановка проблемы

Для приведения в действие механизмов машин на производствах широко применяется асинхронный электропривод в силу ряда преимуществ. Использование управляемых асинхронных приводов позволяет уменьшить потребляемую мощность, улучшить динамические характеристики привода. Одной из важнейших подсистем в таких приводах является силовой частотный преобразователь, качеством преобразования которого в значительной мере определяется эффективность управления. Поэтому в настоящее время увеличиваются требования как к самим электроприводам переменного тока с точки зрения быстродействия, так и к преобразователям частоты с целью повышения электромагнитной совместимости их как с нагрузкой, так и с питающей сетью, улучшения массогабаритных показателей, увеличения надёжности и т.п.. Решение этих проблем возможно с помощью непосредственных преобразователей частоты (НПЧ), построенных на полностью управляемых силовых полупроводниковых ключах с импульсно-модуляционными алгоритмами управления.

Анализ последних исследований и публикаций

Традиционно частотные преобразователи для электроприводов строятся по схеме со звеном постоянного тока. Такие решения просты и зарекомендовали себя с лучшей стороны. Также некоторое распространение получили непосредственные преобразователи частоты (циклоконверторы) [1, 2]. Последние выгодно отличаются высоким коэффициентом полезного действия, возможностью реализации рекуперации, низкой реактивной мощностью за счет отсутствия фильтрующих элементов. Непосредственные преобразователи, тем не менее, распространены реже, ввиду ряда недостатков: выходная частота преобразователя должна быть меньше частоты питающей сети, невозможно плавное регулирование частоты, преобразованное напряжение имеет низкое качество. Кроме того, при работе на индуктивную нагрузку такой преобразователь становится источником шумов для питающей сети, причем частота этих шумов меняется в зависимости от генерируемой частоты, т.е. отфильтровать их обычным способом (при помощи входного фильтра) не представляется возможным.. Решение этих проблем возможно с помощью непосредственных преобразователей частоты (НПЧ), построенных на полностью управляемых силовых полупроводниковых ключах с импульсно-модуляционными алгоритмами управления. Для улучшения качества преобразованного напряжения используются замкнутые системы управления преобразователем частоты [3]. Однако, подобные системы не исключают появление шума в сети, обусловленного работой НПЧ.

Цель статьи

Анализ возможностей создания непосредственного преобразователя частоты, обеспечивающего минимальный уровень ошибки управления при минимуме шума во входной цепи.

Основной материал

Сформулируем задачу. Пусть имеется обобщенный преобразователь, на вход которого поступает питающее n -фазное напряжение фиксированной частоты и амплитуды, а с выхода которого в нагрузку подается m -фазное напряжение с переменными параметрами, задаваемыми уставкой. Обозначим вектор входных напряжений \mathbf{U}_{BX} , а выходных - $\mathbf{U}_{ВЫХ}$.

Вектора входного и выходного напряжений связаны матрицей переключательных функций размерностью $m \times n$:

$$\mathbf{U}_{\text{ВЫХ}} = \mathbf{H}(t) \times \mathbf{U}_{\text{ВХ}} \quad (1)$$

Необходимо определить такую матрицу переключательных функций $\mathbf{H}(t)$, доставляющую минимум функционала

$$\varepsilon(\mathbf{H}(t)) = \int_{t_0}^{t_1} (\mathbf{H}(t) \cdot \mathbf{U}_{\text{ВХ}} - \mathbf{U}_0) \cdot dt, \quad (2)$$

где \mathbf{U}_0 - вектор необходимых преобразованных напряжений, при ограничениях:

$$\mathbf{I}(t) = \mathbf{I}^*(t). \quad (3)$$

Таким образом, поставленную задачу можно свести к задаче Лагранжа. Вводим вспомогательную функцию вида

$$\mathbf{L} = \varepsilon(\mathbf{H}(t)) + \lambda \cdot (\mathbf{I}(H) - \mathbf{I}^*(t)), \quad (4)$$

где λ - неопределенный множитель Лагранжа

$$\lambda = \frac{\partial \varepsilon}{\partial \Delta \mathbf{I}} \quad (5)$$

Для определения матрицы $H(t)$ необходимо минимизировать функционал вида

$$\varepsilon(H(t)) = \int_{t_0}^{t_1} L \cdot dt$$

В работе [4], была показана принципиальная возможность существования такого решения при отсутствии ограничения по входному току. Схема моделирования преобразователя с однофазным выходом, осуществляющего поиск минимума интегральной ошибки преобразованного напряжения, представлена на рис.1.

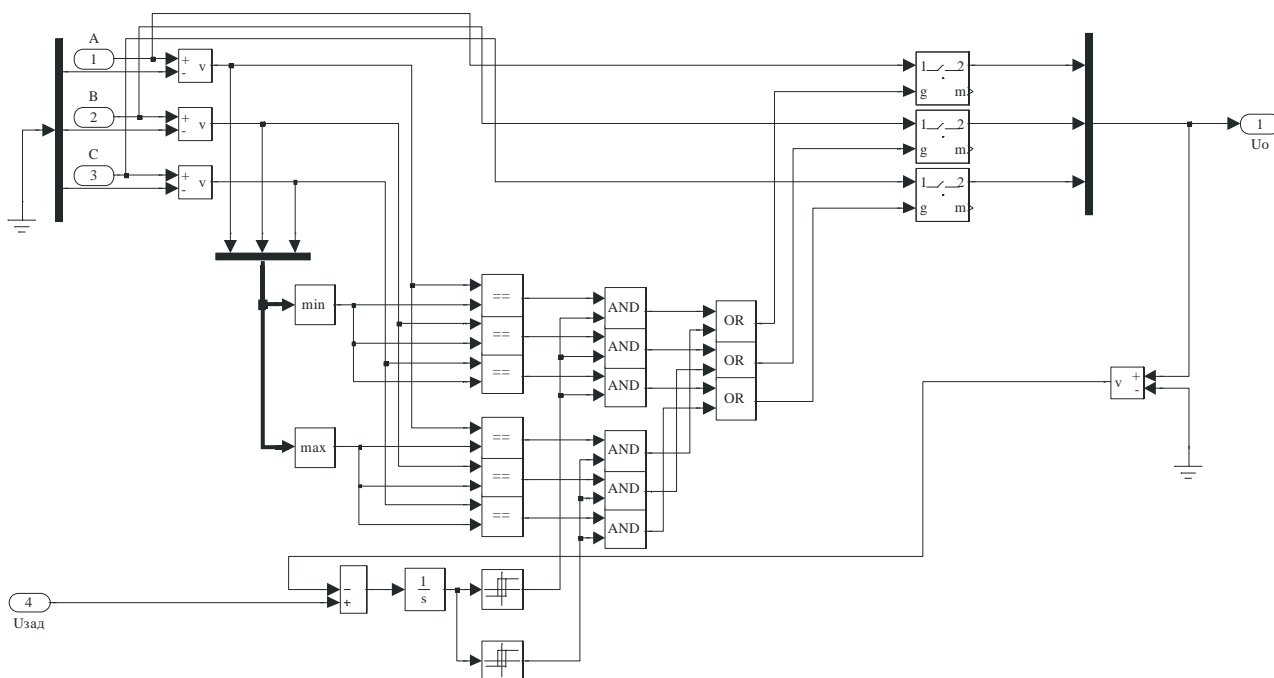


Рис. 1 Схема моделирования преобразователя частоты

Здесь высокое качество напряжения достигается путем коммутации нагрузки между двумя выбранными активными фазами, причем моменты коммутации определяются моментами превышения интегральной ошибки определенной величины. Активные фазы

(то есть те, между которым происходит коммутация) определяются, аналогично, как и в выпрямителях, как фазы с наибольшим и наименьшим значением напряжения.

Было проведено моделирование такого преобразователя при работе на асинхронный двигатель. В результате моделирования получены следующие результаты. На рис. 2. приведена осциллограмма напряжения и тока на выходной фазе, а на рис.3 – спектр мощности выходного тока.

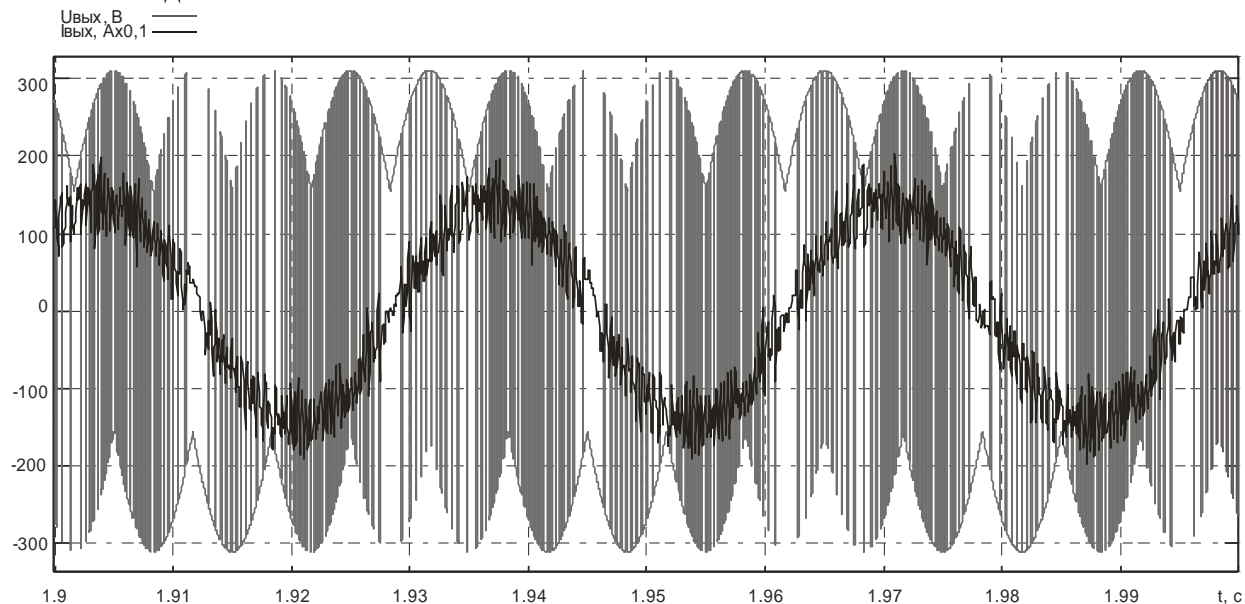


Рис. 2 Осциллограммы выходного напряжения и тока при коммутации максимального фазового значения

Как видно из рисунка, форма тока в нагрузке практически синусоидальна с незначительным уровнем шума.

Для спектрального анализа учтем то, что в силу стохастичности исходных данных, представляющих сумму полезного сигнала и шума, сами вычисленные значения спектра Фурье носят также случайный характер, и вместо них надо применять так называемые спектры мощности (или, по-другому, энергетические спектры).

На рис. 3 показан спектр мощности выходного тока.

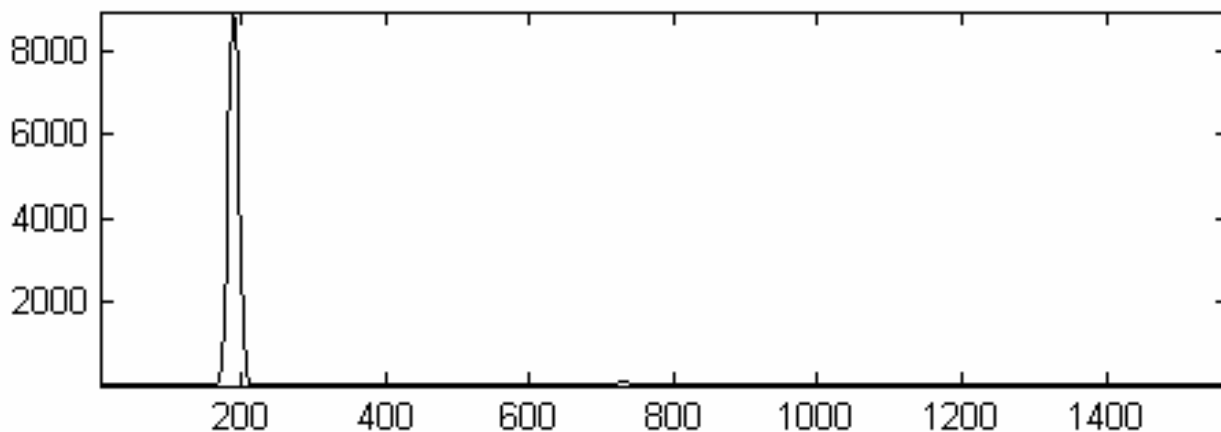


Рис. 3 Спектр мощности выходного тока при коммутации максимального фазового значения

На рис. 4 приведена осциллограмма тока одной входной фазы, а на рис. 5 – его спектр мощности.

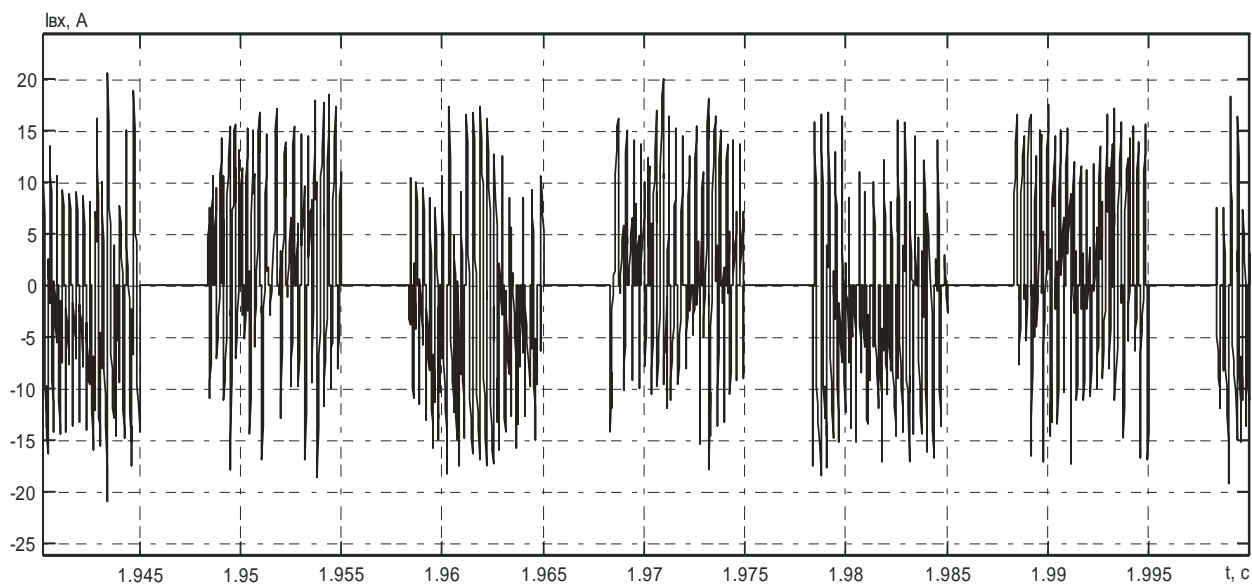


Рис. 4 Осциллограмма входного тока преобразователя при коммутации максимального фазового значения

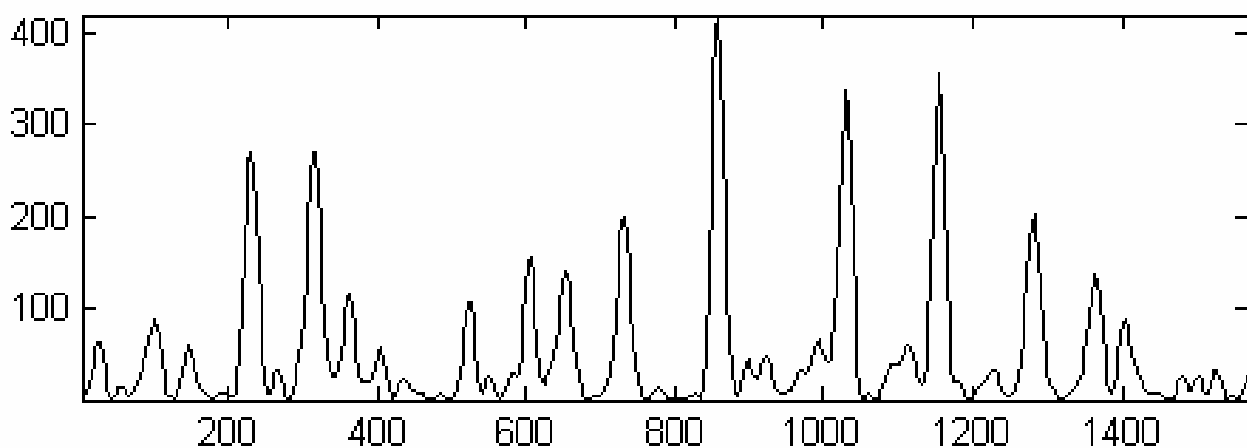


Рис. 5 Спектр мощности входного тока преобразователя при коммутации максимального фазового значения

Видно, что входной ток сильно зашумлен, в нем, кроме основной частоты питающей сети присутствует также частота преобразованного напряжения и различные высокочастотные составляющие. Как видно из осциллограммы входного тока, имеются участки, на которых фаза не нагружается вовсе, хотя, возможно, что существующего на данных участках ресурса было бы достаточно для формирования одной из выходных фаз.

Действительно, логика выбора активных фаз соответствует логике работы выпрямителя, как в преобразователях со звеном постоянного тока.

В преобразователях со звеном постоянного тока вектор входных напряжений превращается в два этапа: сначала из системы входных фаз с помощью выпрямителя (который можно рассматривать как преобразователь с матрицей переключающих функций \mathbf{H}_B размерностью $[1 \times n]$) превращается в скаляр, а потом, благодаря инвертору (который имеет матрицу \mathbf{H}_I размерностью $[m \times 1]$), формируется система исходных фаз. Таким образом,

$$\mathbf{H} = \mathbf{H}_I \cdot \mathbf{H}_B.$$

Высокое качество напряжения можно обеспечить, изменяя составляющую \mathbf{H}_U , а снижение уровня шумов на входе – за счет изменения \mathbf{H}_B , то есть алгоритма выбора фаз.

Возможность варьирования компонентов переключательной матрицы \mathbf{H}_B объясняется тем, что для формирования выходного напряжения преобразователя каждую фазу нагрузки необходимо перекоммутировать между любой фазой, напряжение на которой превышает требуемое значение и любой фазой, напряжение на которой меньше требуемого значения.

Для равномерной загрузки фаз предлагается следующая стратегия формирования выходного напряжения: выходное напряжение формируется из отрезков входного напряжения путем коммутации на соответствующую выходную фазу входной фазы с напряжением, значение которого является ближайшим большим по сравнению с заданным напряжением уставки при достаточном ресурсе управления. При недостатке ресурса выходное напряжение формируется за счет модуляции абсолютного большего из фазных напряжений.

Согласно предлагаемой стратегии, коммутатор фаз работает следующим образом:

- Анализируются мгновенные амплитуды фазных напряжений;
- Если имеется несколько фаз, напряжение на которых превышает заданное, то выбирается наименьшее из них (то есть ближайшее большее);
- Если напряжение превышает заданное только на одной фазе, то в коммутации участвует только она;
- Если нет ни одного фазного напряжения, превышающего по амплитуде заданное значение, то выбирается максимальное из фазных напряжений (случай нехватки ресурса управления).

Результаты моделирования приведены на рис.6-9

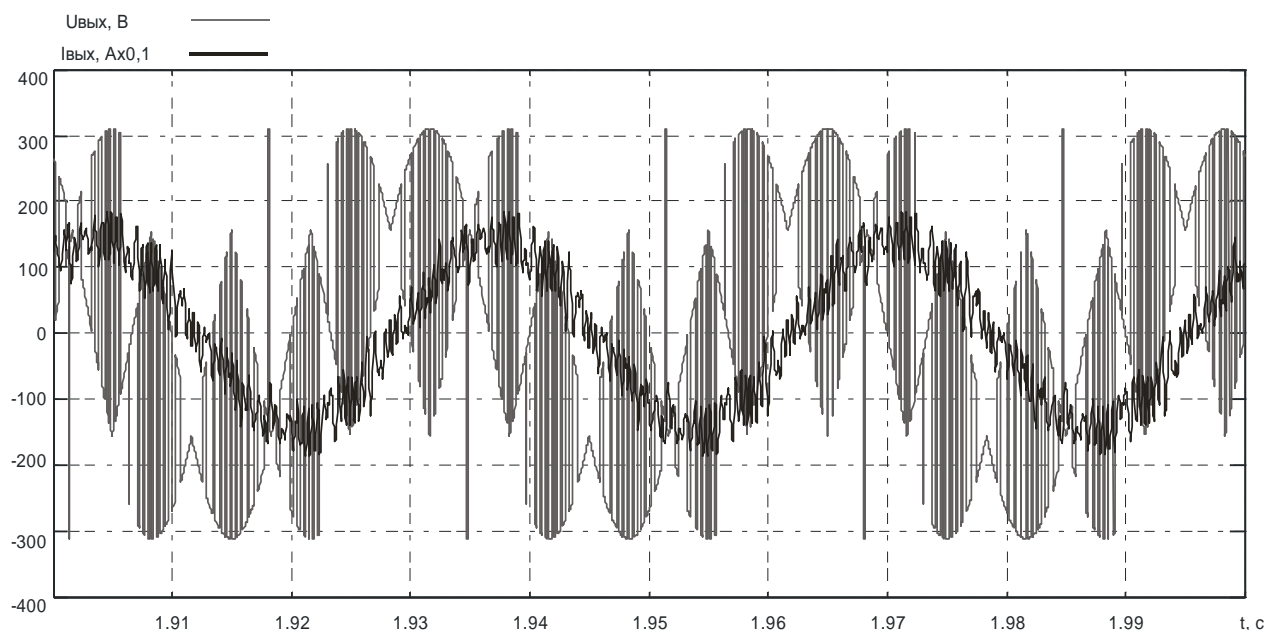


Рис. 6 Оциллограммы выходного напряжения и тока при коммутации ближайшего фазового значения

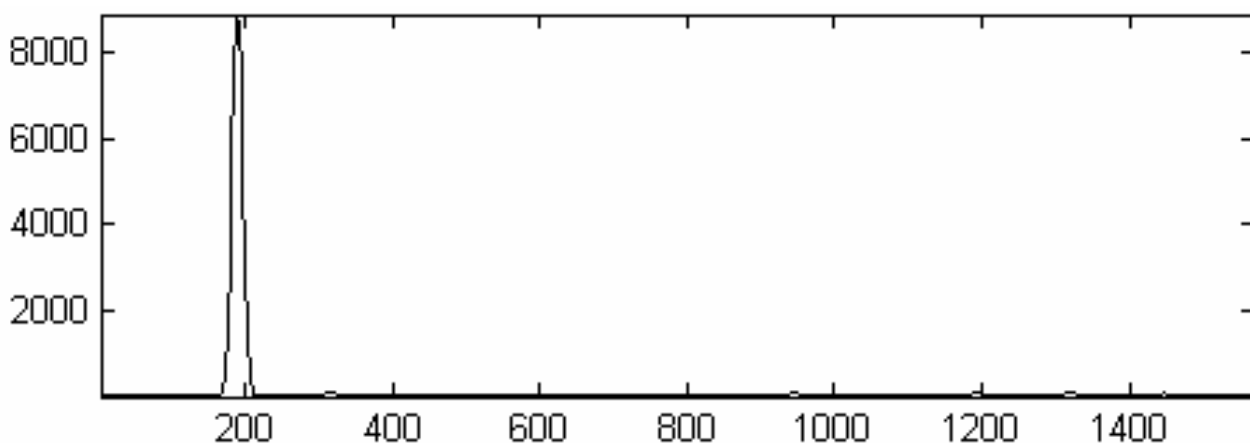


Рис. 7 Спектр мощности выходного тока при коммутации ближайшего фазового значения

На рис. 8 показана временная диаграмма загрузки одной из входных фаз. Как видно из рисунка, фаза является востребованной, то есть участвует в формировании выходного напряжения почти постоянно, что обеспечивает снижение шума со входа преобразователя на источник питания, что подтверждается спектром на рис. 9.

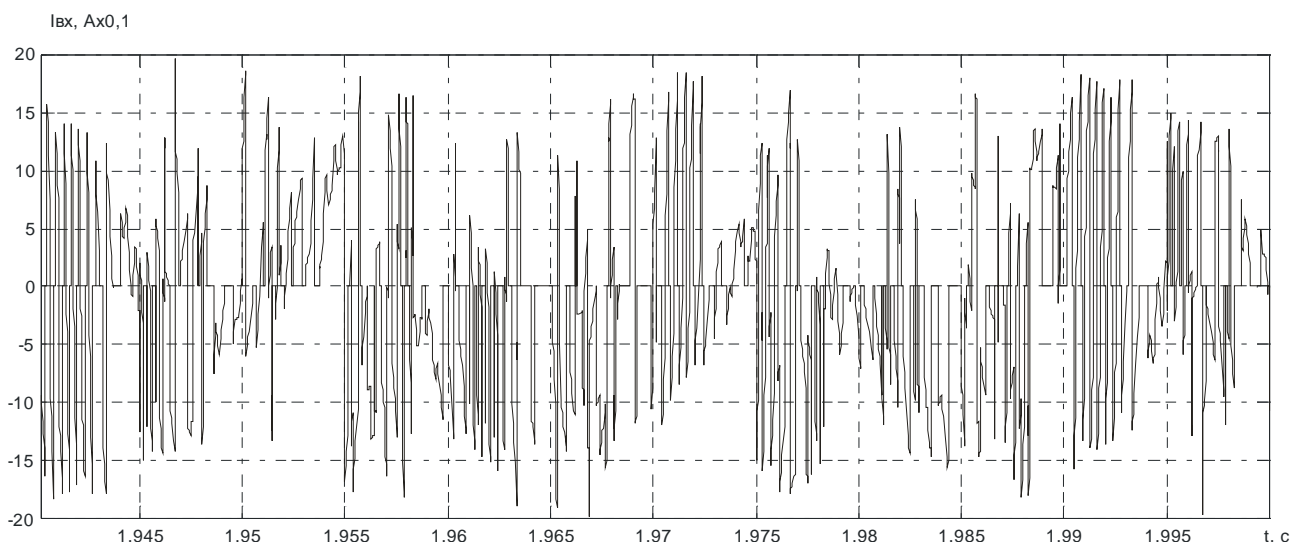


Рис. 8 Осциллограмма входного тока преобразователя при коммутации ближайшего фазового значения

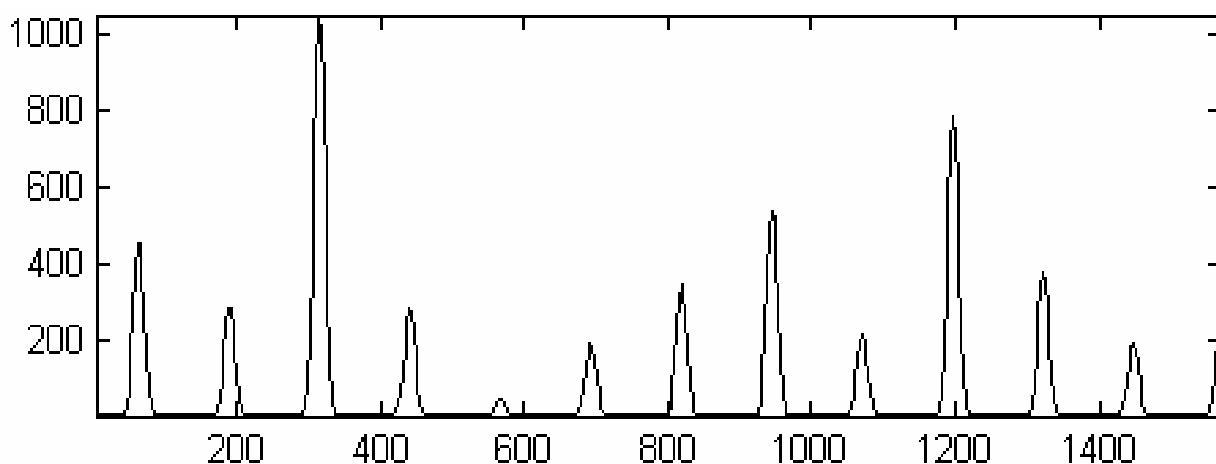


Рис. 9 Спектр мощности входного тока преобразователя при коммутации ближайшего фазового значения

Выводы:

1. Разработан алгоритм оптимального управления высокочастотным непосредственным преобразователем частоты, обеспечивающий формирование выходного напряжения, минимально отличающегося от напряжения задания, при заданном токе и частоте.

2. Как видно из сравнения результатов моделирования (рис. 5 и 9), применение предлагаемой стратегии коммутации силовых вентилях непосредственного преобразователя частоты позволяет значительно снизить уровень высоких гармоник в преобразованном напряжении и шумов со входа преобразователя на источник питания. По сравнению с коммутацией максимального значения напряжения, спектр мощности основной гармоники входного тока преобразователя увеличивается в 4 раза. Высокий уровень во входном токе имеют также гармонические составляющие, лежащие в области более высоких частот, однако их фильтрация не является сложной задачей.

3. При реализации управления необходимо учитывать характер и параметры нагрузки, поскольку они оказывают влияние на качество работы преобразователя. В наибольшей степени это касается фазового сдвига между током и напряжением на нагрузке. Это несколько не ограничивает возможности применения данного метода, поскольку определение фазового сдвига не является сложной задачей.

4. Данный метод может применяться в различных областях, для питания частотно-регулируемых асинхронных приводов технологических установок, где необходимо регулирование в широких пределах скорости вращения или момента на валу, и в то же время недопустимы биения ротора и влияние преобразователя на сеть.

The questions of development of optimal commutation strategy in cycloconverters are discussed.

1. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода / Чехет Э.М., Мордач В.В., Соболев В.Н. – К.: Наукова думка, 1988. – 222 с.

2. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 400 с.

3. Замкнутые системы преобразования электрической энергии / В.Я. Жуйков, И.Е. Коротеев, В.М. Рябенский и др.; под ред. В.Я. Жуйкова. – К.: Техника; Братислава: Альфа, 1989. – 320 с.

4. Лебеденко Ю.О. Оптимальне управління безпосереднім перетворювачем частоти // Матеріали 10-ої міжнародної конференції по автоматичному управлінню „Автоматика-2003” м. Севастополь, 15-19 вересня 2003 р. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2003. – Т.3 - С. 18.

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ АДАПТИВНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 62-50

КОРРЕКЦИЯ НЕЛИНЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТИПА «РЕЛЕ С ЗОНОЙ НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ»

Бобриков С.А., Пичугин Е.Д.

В [1] описан метод коррекции характеристик элементов системы управления, позволяющий улучшить как статические, так и динамические свойства элементов системы. Однако, как показано ниже, скорректировать указанным методом характеристику типа «насыщение», охватывая корректирующей связью элемент с подобной характеристикой, невозможно. На рис.1а приведена статическая характеристика реле, на рис.1б - схема системы коррекции элемента с релейной характеристикой.

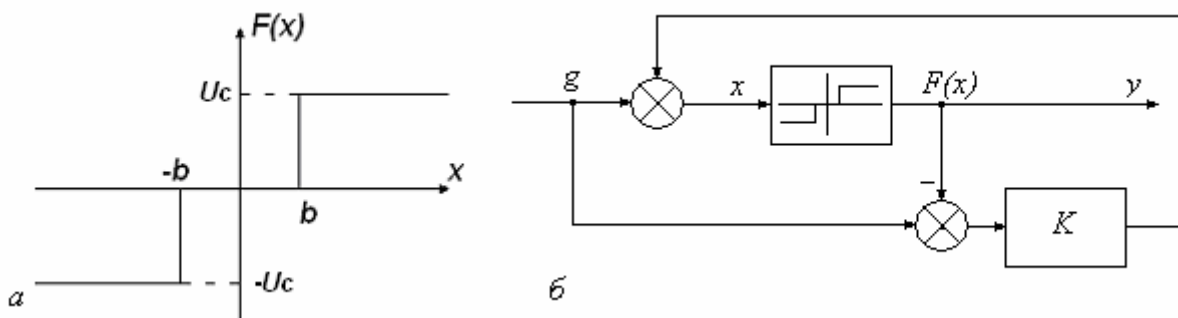


Рис.1. а – статическая характеристика реле; б – схема коррекции

Как указано в [1] величина коэффициента K должна быть как можно больше (например, $K=100$). Определим входную величину реле x (рис.1б):

$$x = g + K[g - F(x)] = g(K+1) - KF(x).$$

При подаче на вход системы ступенчатого сигнала реле включится, если будет выполнено условие: $x < -b$, либо $x > b$. Пусть $x > b$ и реле включилось, при этом $F(x) = Uc$. Если $KUc > g(K+1)$, то входная величина реле x меняет свой знак и реле переключится в противоположном направлении. Теперь $F(x) = -Uc$, $x > 0$ и реле вновь включится в положительном направлении и т.д. В системе устанавливаются колебания, система не работоспособна.

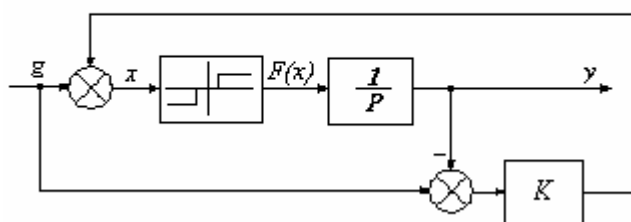


Рис.2. Схема коррекции реле с интегратором

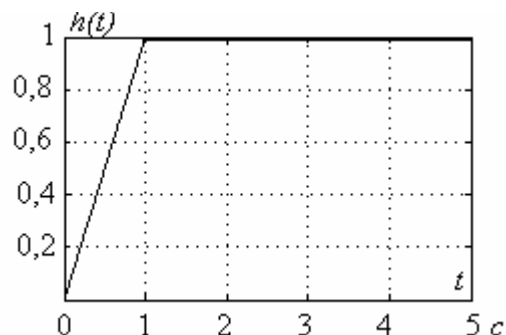


Рис.3. Переходная характеристика системы коррекции по рис.2

Покажем, что скорректировать релейную характеристику можно, если последовательно с реле включить интегратор. Схема подобной коррекции показана на рис.2. При

подаче на вход системы ступенчатого сигнала (например, положительного) реле включается в положительном направлении. Выходная величина y начинает изменяться следующим образом:

$$y = U_c \int_0^t dt = U_c t. \text{ Входная величина реле } x \text{ при этом равна}$$

$$x = g + K(g - y) = g(K + 1) - KU_c t.$$

С течением времени x уменьшается и при условии, что $x < b$ реле отключится. При этом $g(K + 1) - yK < b$. Так как $K \gg 1$, то можно записать: $gK - yK < b$, откуда следует:

$$g - y < \frac{b}{K}, \quad y \approx g.$$

На рис.3 показана переходная характеристика, полученная для схемы рис.2 при следующих численных значениях параметров схемы: $b=2$, $U_c=1$, $g=1$, $K=100$.

В качестве примера рассмотрим систему управления, в которой роль исполнительного механизма выполняет двигатель, управляемый трехпозиционным реле. При наличии зоны нечувствительности (в некоторых случаях она необходима для устранения возможных автоколебаний) система управления становится нечувствительной к малым изменениям ошибки управления, точность регулирования при этом не может быть высокой. Примером может служить система регулирования температуры газовой печи. В таких системах для коррекции нелинейной характеристики реле может быть использован метод, описанный выше.

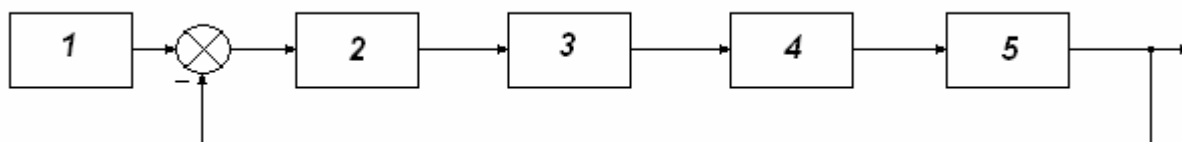


Рис.4. Функциональная схема системы управления

Функциональная схема системы приведена на рис.4. На схеме приняты следующие обозначения:

- 1 – задающее устройство;
- 2 – предварительный усилитель-преобразователь;
- 3 – усилитель мощности с релейной характеристикой;
- 4 – исполнительный двигатель с регулирующим органом;
- 5 – объект управления с измерительным устройством.

Структурная схема системы представлена на рис.5.

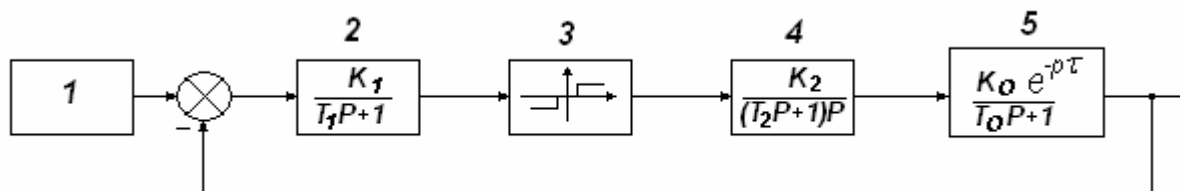


Рис.5. Структурная схема системы регулирования температуры

Структурная схема системы с корректирующей связью показана на рис.6. Сигнал, подаваемый на вход корректирующей цепи, снимается с выхода регулирующего органа, что физически может быть реализовано.

Путем моделирования установлено, что в качестве звена с «желаемой» передаточной функцией (звено 6 на рис.6) наилучший результат получается при условии, что передаточная функция звена 6 равна

$$K_{ж}(P) = \frac{K_3 P + K_4}{P}.$$

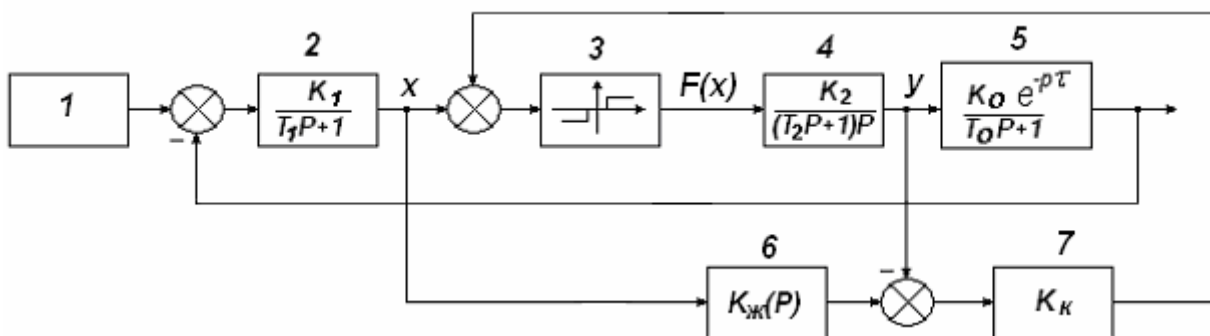


Рис.6. Структурная схема системы с коррекцией участка цепи с нелинейной характеристикой

Звено 7 – пропорциональное - $K_K=(50 - 100)$.

На рис.7 приведена переходная характеристика, полученная при следующих значениях параметров системы: $K_1=1$; $T_1=0,1$; $K_2=1$; $T_2=0,2$; $K_0=1$; $T_0=5с$; $\tau=2с$; $K_3=1$; $K_4=0,18$. Статическая характеристика релейного звена показана на рис.1а. Изменение зоны нечувствительности b в пределах от нуля до ± 5 практически не влияет на вид переходной характеристики. На рис.8 приведена статическая характеристика участка цепи, охваченного компенсирующей связью - от точки x до точки y (рис.6).

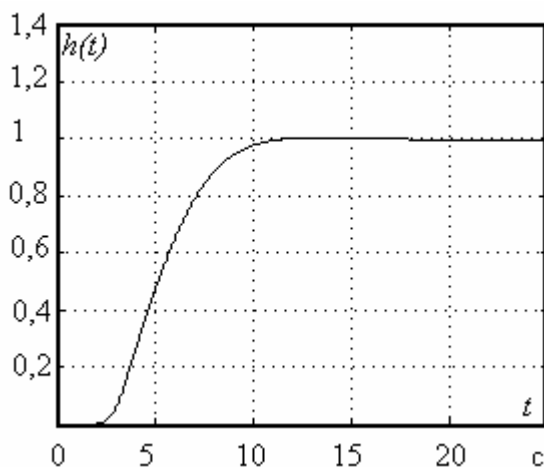


Рис.7. Переходная характеристика системы с коррекцией реле

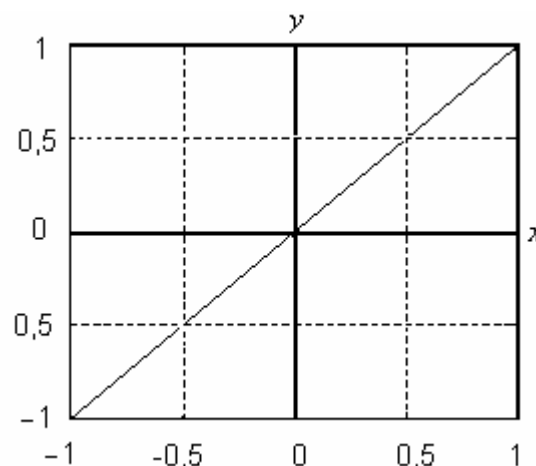


Рис.8. Статическая характеристика участка цепи, охваченного компенсирующей связью

The methods of corrections of object's characteristics are discussed

1. Бобриков С.А., Пичугин Е.Д. Коррекция характеристик элементов системы управления // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы.-2003.- №1(11).-С.10-14.

ЦИФРОВЫЕ И ДИСКРЕТНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

УДК 681.5.01

АНАЛИЗ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПЕРЕСТРАИВАЕМОГО ЦИФРОВОГО
ФИЛЬТРА НИЖНИХ ЧАСТОТ ВТОРОГО ПОРЯДКА

Ситников В.С., Брус А.А.

При построении систем управления, которые работают в сложной помехо-сигнальной обстановке, большое внимание уделяется качеству управления. В этих условиях один из путей повышения качества управления состоит в применении фильтрации сигналов, поступающих от датчиков. Однако фильтрация дает существенный результат, когда спектры сигнала и помехи разнесены.

В системах автоматического управления информация составляющая полезного сигнала обычно находится в низкочастотной части спектра, а помеха в высокочастотной части. Такое соотношение между сигналом и помехой позволяет использовать фильтры нижних частот для выделения полезной составляющей. Однако в производственных условиях уровень зашумленности сигнала может изменяться в широком диапазоне. Для фильтрации в таких условиях на практике используют банки фильтров [1].

Сложная и громоздкая организация банков фильтров не всегда целесообразна и удобна для реализации, поэтому можно рекомендовать перестраиваемые фильтры, которые могут быть построены на основе фильтров первого и второго порядков [2].

Широкое применение фильтров второго порядка обуславливает необходимость проведения анализа влияния изменения коэффициентов передаточной функции на свойства фильтра.

Для построения перестраиваемого цифрового фильтра нижних частот (ЦФНЧ) второго порядка воспользуемся передаточной функцией аналогового ФНЧ второго порядка [3]

$$T(p) = \frac{B_{10}(y)}{p^2 + A_{11}(y)p + A_{10}(y)}. \quad (1)$$

Перестройка фильтра при постоянстве плоского уровня затухания в полосе пропускания осуществляется за счет регулирования коэффициентов $A_{11}(y) = a_{11}y$, $A_{10}(y) = a_{10}y^2$ и $B_{10}(y) = b_{10}y^2$, где y - параметр управления.

Применяя билинейное z -преобразование к передаточной функции (1), получаем передаточную функцию цифрового фильтра

$$T(z) = k \frac{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}{1 + 2a_1z^{-1} + a_2z^{-2}}, \quad (2)$$

где введены следующие обозначения:

$$k = \frac{b_{10}}{a_{10f} + a_{11f} + 1}, \quad a_1 = \frac{a_{10f} - 1}{a_{10f} + a_{11f} + 1}, \quad a_2 = \frac{a_{10f} - a_{11f} + 1}{a_{10f} + a_{11f} + 1}, \quad (3)$$

$$a_{10f} = \frac{a_{10}}{(2f_g)^2}, \quad a_{11f} = \frac{a_{11}}{2f_g}, \quad f_g - \text{частота дискретизации.}$$

Устойчивость полученного фильтра (2) определяется коэффициентами a_1 и a_2 знаменателя из системы неравенств треугольника устойчивости [4]

$$\begin{cases} |a_1| < a_2 + 1, \\ |a_2| < 1. \end{cases} \quad (4)$$

Подставляя вместо a_1 и a_2 выражения из (3) и решая полученную систему неравенств, получим ограничения на коэффициенты, которые определяются неравенствами $a_{11f} > 0$ и $a_{10f} > 0$. Учитывая, что частота дискретизации f_g всегда больше нуля, можно сказать, что для обеспечения устойчивости цифрового фильтра (2) необходимо, чтобы коэффициенты a_{11} и a_{10} знаменателя передаточной функции исходного аналогового фильтра (1) были положительными, что совпадает с критерием устойчивости Гурвица для передаточной функции (1) [5].

Используя передаточную функцию исходного фильтра (1) и свойства билинейного z-преобразования найдем АЧХ цифрового фильтра (2)

$$A(\omega) = \frac{b_{10}}{\sqrt{(a_{10} - \omega^2)^2 + a_{11}^2 \omega^2}}. \quad (5)$$

Заменяя в (5) аналоговую частоту ω на цифровую частоту $\bar{\omega}$ [6]

$$\omega = 2f_g \operatorname{tg} \frac{\bar{\omega}}{2},$$

получим АЧХ цифрового фильтра, рис.1.

$$A(\bar{\omega}) = \frac{b_{10}}{\sqrt{\left[a_{10} - \left(2f_g \operatorname{tg} \frac{\bar{\omega}}{2} \right)^2 \right]^2 + a_{11}^2 \left(2f_g \operatorname{tg} \frac{\bar{\omega}}{2} \right)^2}}, \quad (6)$$

где $\bar{\omega} = \Omega T$, $\bar{\omega} \in [0, \pi]$; Ω - текущая частота, T - период дискретизации, $T = 1/f_g$.

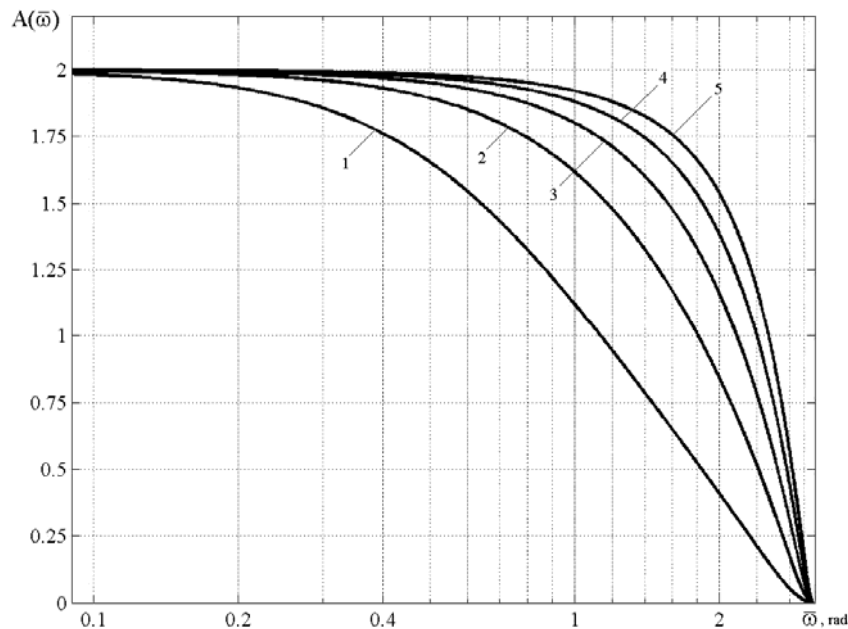


Рис.1 АЧХ перестраиваемого ЦФНЧ второго порядка при управляющих коэффициентах u равных 1 (кривая 1), 2 (2), 3 (3), 4 (4), 5 (кривая 5)

Передаточная функция (1) описывает колебательное звено, если корни характеристического уравнения являются комплексными числами. При этом АЧХ может иметь резонансный пик, который для передаточной функции

$$W(p) = \frac{k}{T^2 p^2 + 2\xi T p + 1} \quad (7)$$

будет существовать при $\xi < 1/\sqrt{2}$ [5].

Определяя условия колебательности и возникновения резонансного пика для цифрового фильтра, получим, что между коэффициентами передаточных функций (1) и (7) выполняются соотношения

$$a_{11} = 2\xi/T \text{ и } a_{10} = 1/T^2,$$

или

$$\xi = \frac{a_{11}}{2\sqrt{a_{10}}} \text{ и } T = \frac{1}{\sqrt{a_{10}}}. \quad (8)$$

Из анализа характеристического уравнения передаточной функции (1), получим условие отсутствия колебательности при

$$a_{11} \geq 2\sqrt{a_{10}}, \quad (9)$$

или, что тоже самое, $\xi > 1$, рис. 2.

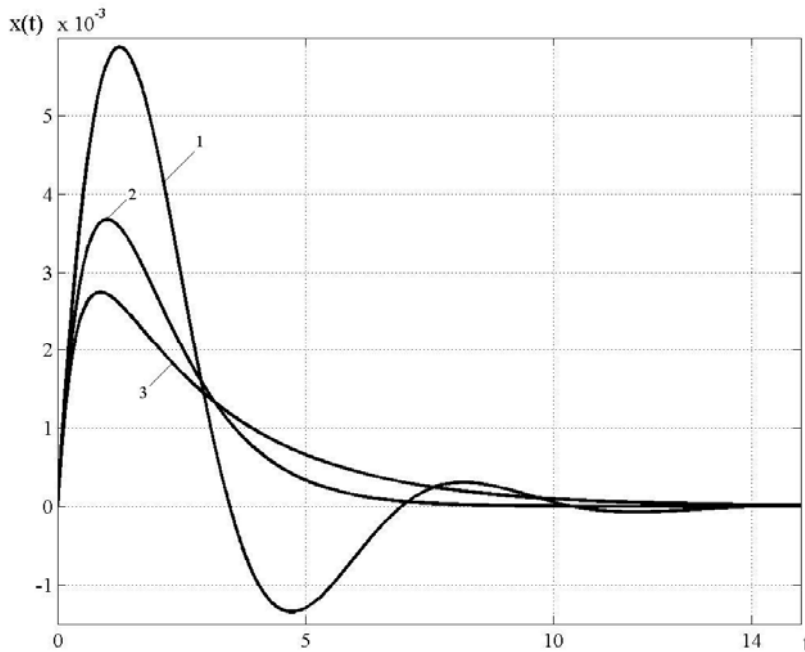


Рис.2 Импульсные характеристики ЦФНЧ второго порядка при значениях коэффициентов: $b_{10} = 2$, $a_{10} = 1$ и $a_{11} = 3$ ($\xi = 1.5$, кривая 1), $a_{11} = 2$ ($\xi = 1$, кривая 2), $a_{11} = 0.85$ ($\xi = 0.425$, кривая 3).

Резонансный пик АЧХ передаточной функции (1) будет отсутствовать, если $\xi \geq 1/\sqrt{2}$, или, при условии (8), получим, рис.3

$$a_{11} \geq \sqrt{2a_{10}} \quad (10)$$

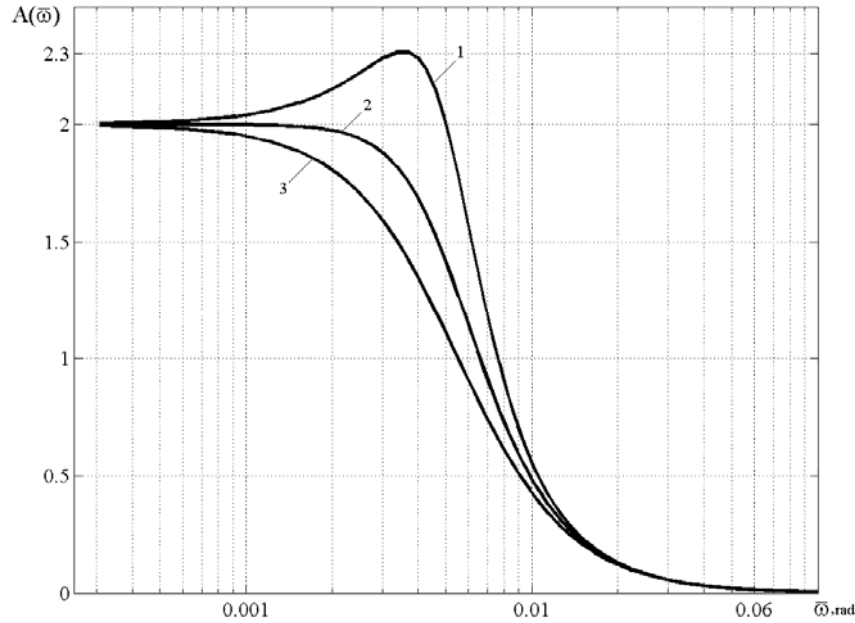


Рис.3 АЧХ перестраиваемого ЦФНЧ второго порядка при значениях коэффициентов: $b_{10} = 2$, $a_{10} = 1$ и $a_{11} = 1$ ($\xi = 0.5$, кривая 1), $a_{11} = \sqrt{2}$ ($\xi = 1/\sqrt{2}$, кривая 2), $a_{11} = 1.8$ ($\xi = 0.9$, кривая 3).

Частоту среза $\bar{\omega}_s$ полученного ЦФНЧ второго порядка определим на уровне -3 dB от значения на нулевой частоте. Значение АЧХ на нулевой частоте, как и для ЦФНЧ первого порядка, равно [2]

$$A(\bar{\omega})|_{\bar{\omega}=0} = A(0) = \frac{b_{10}}{a_{10}}. \quad (11)$$

Из соотношения $A(\bar{\omega}_s) = \frac{A(0)}{\sqrt{2}} = \frac{b_{10}}{a_{10}\sqrt{2}}$ запишем

$$\frac{b_{10}}{\sqrt{\left[a_{10} - \left(2f_g \operatorname{tg} \frac{\bar{\omega}_s}{2} \right)^2 \right]^2 + a_{11}^2 \left(2f_g \operatorname{tg} \frac{\bar{\omega}_s}{2} \right)^2}} = \frac{b_{10}}{a_{10}\sqrt{2}}. \quad (12)$$

Используя обозначения (3) из (12) получим уравнение

$$\operatorname{tg}^4 \frac{\bar{\omega}_s}{2} + \operatorname{tg}^2 \frac{\bar{\omega}_s}{2} (a_{11f}^2 - 2a_{10f}) - a_{10f}^2 = 0, \quad (13)$$

решая которое относительно $\bar{\omega}_s$ получим, что частота среза равна

$$\bar{\omega}_s = 2 \operatorname{arctg} \left[\sqrt{-\frac{p}{2} + \sqrt{\frac{p^2}{4} - q}} \right], \quad (14)$$

где $p = a_{11f}^2 - 2a_{10f}$ и $q = -a_{10f}^2$.

При $a_{11} = \sqrt{2a_{10}}$ частота среза имеет максимальное значение, равное

$$\bar{\omega}_{s \max} = 2 \operatorname{arctg} \left(\frac{\sqrt{a_{10}}}{2f_g} \right) \quad (15)$$

Из (14) и (15) видно, что частоту среза перестраиваемого ЦФНЧ второго порядка можно регулировать, изменяя либо коэффициенты a_{11} и a_{10} , либо частоту дискретизации, рис. 4-6. Так при увеличении коэффициента a_{10f} частота среза уменьшается, а при увеличении a_{11f} она возрастает.

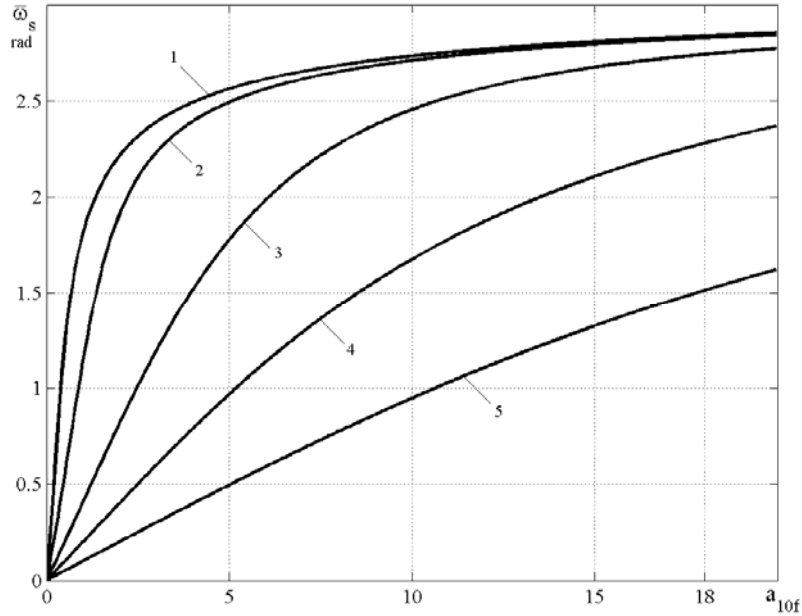


Рис.4 Зависимость частоты среза $\bar{\omega}_s$ от a_{10f} при a_{11f} равных 1 (кривая 1), 2 (2), 5 (3), 10 (4) и 20 (кривая 5)

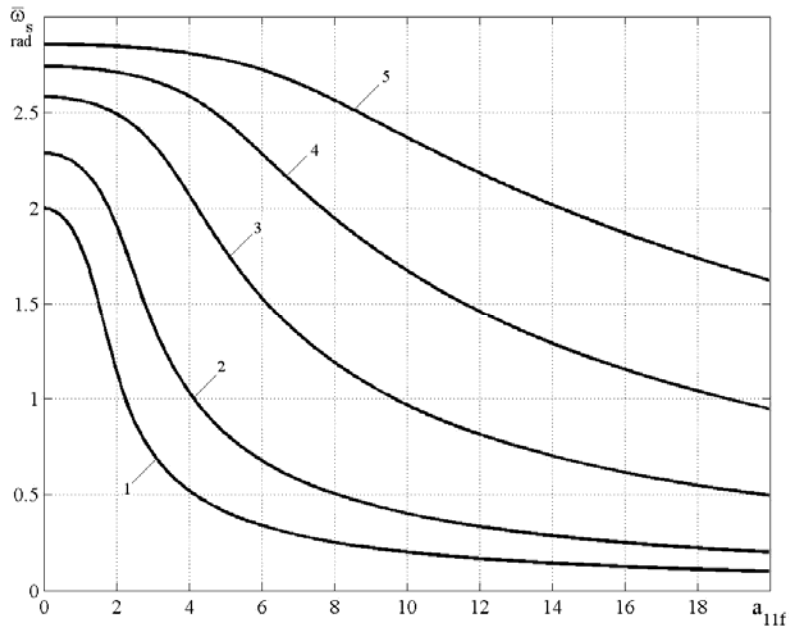


Рис.5 Зависимость частоты среза $\bar{\omega}_s$ от a_{11f} при a_{10f} равных 1 (кривая 1), 2 (2), 5 (3), 10 (4) и 20 (кривая 5)

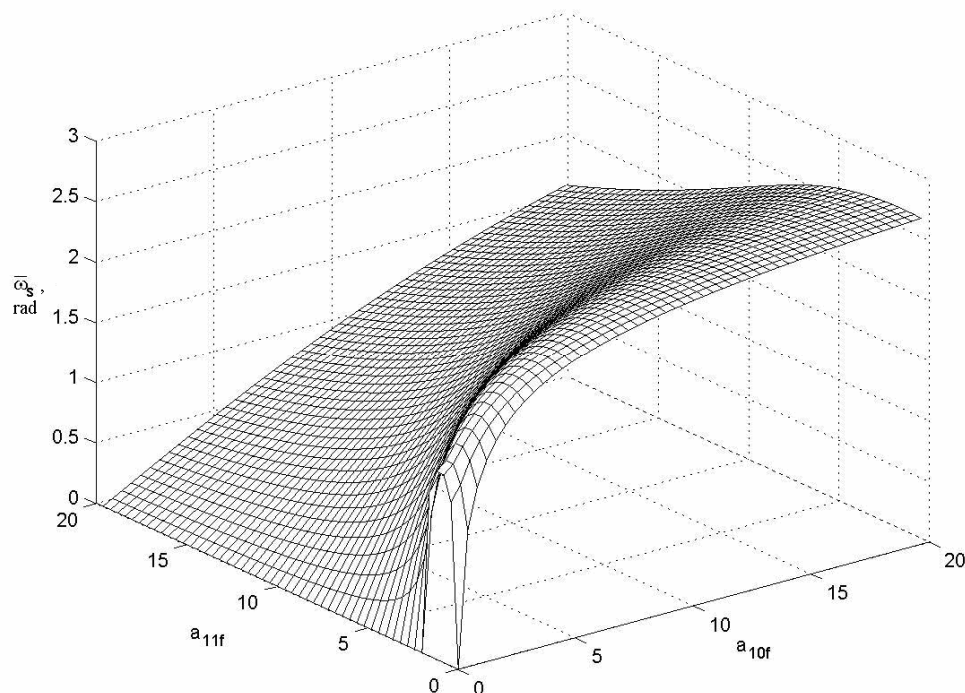


Рис. 6 Зависимость частоты среза $\bar{\omega}_s$ перестраиваемого ЦФНЧ второго порядка от коэффициентов a_{11f} и a_{10f}

Таким образом, проведенный анализ позволил определить требования к коэффициентам передаточной функции фильтра для обеспечения устойчивости, отсутствия колебательности и резонансного пика, а также подходы к регулированию значения АЧХ на нулевой частоте и перестройке частоты среза.

The synthesis of digital reconstructing filter and the analysis of its coefficients are considered. The possibility of standard reconstruction because of sampling frequency and filter coefficients is analyzed. The conditions of AFC oscillations and resonance peak absence are shown.

1. Петровский А.А. Методы и микропроцессорные средства обработки широкополосных и быстропротекающих процессов в реальном времени / Под ред. Г.В. Римского. – Минск: Наука и техника, 1988. – 272 с.
2. Ситников В.С., Брус А.А. Анализ коэффициентов перестраиваемого цифрового фильтра в контуре управления // Электромашинобуд. та електрооблад. – 2005. – Вып. 65. – С. 80 – 84.
3. Справочник по расчету и проектированию ARC-схем / Букашкин С.А., Власов В.П., Змий Б.Ф. и др.; Под ред. А.А. Ланнэ. – М.: Радио и связь, 1984. – 368 с.
4. Малахов В.П., Ситников В.С., Бевз А.С., Полякова Д.А. Ограничения коэффициентов знаменателя цифрового фильтра для систем обработки сейсмосигналов // Тр. Одес. политех. ун-та. – 2002. – Спецвып. – С. 5 – 8.
5. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического регулирования. – М.: Наука, 1975. – 767 с.
6. Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 848 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА, КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

УДК 579.6:62 – 52

СИСТЕМНА ЗАДАЧА УПРАВЛІННЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ

Ладанюк А.П., Кишенько В.Д., Ладанюк О.А.

Біотехнологічні процеси (БТП) широко використовуються в харчовій та переробній промисловості, зокрема промислове вирощування мікроорганізмів, рослинних та тваринних клітин застосовують для отримання багатьох цінних сполук – ферментів, гормонів, амінокислот, вітамінів, антибіотиків, метанола, органічних кислот (оцтової, лимонної, молочної). БТП різного призначення (культивування, біосинтез, біокаталізація, утилізація) можна виділити у багатьох галузях: хлібопекарському виробництві (бродиння і визрівання тіста); дріжджевому (вирощування дріжджів); спиртовому (вирощування дріжджів і бродиння); пивоварному (вирощування пивних дріжджів і бродиння сусла); виноробстві, виробництві молочних продуктів та інш. Перспективи розвитку ряду харчових технологій безпосередньо пов'язані з досягненнями в галузі застосування саме біотехнологічних процесів.

Задача управління БТП має два взаємозв'язаних аспекти. Перший полягає у вивченні динаміки систем при постійних значеннях параметрів управління. При цьому досліджується стійкість стаціонарних станів, аналіз процесів на втрату стійкості та народження автоколивань, виникнення хаотичних структур, вивчення параметричних меж, тобто досліджується поведінка системи при різних значеннях параметрів порядку. Другий аспект задачі управління полягає у вивченні реакцій БТП на змінювання управляючих параметрів в процесі руху системи. Тут вирішуються питання керованості біотехнологічних систем і проблема вирішення задачі оптимального управління. Вибір оптимального технологічного режиму БТП тільки шляхом дослідного вивчення процесу практично неможливий. Лише сучасні технологічні методи дослідження складних динамічних систем дозволяють враховувати вплив багатьох факторів і здійснити оптимізацію процесу з уточненням при виробничих випробуваннях.

Для забезпечення високої ефективності БТП необхідно визначити формування такого управління, яке враховує особливості об'єкта, зовнішнього середовища та наявність суттєвих невизначеностей, які відповідають природі цих процесів як складних хіміко-технологічних систем з характерними причинно-наслідковими ознаками. Системний аналіз БТП приводить до визначення їх ієрархічної структури за рівнями:

- функціонування окремих клітин з урахуванням внутрішньоклітинних явищ та локальних характеристик середовища;
- сукупності ефектів на рівні агрегатів, що враховує різний розвиток клітин, розподілених у просторі;
- переносу маси, енергії та імпульсу в гетерогенному середовищі через границю фаз. При цьому враховуються нерівноважності гетерогенної системи за складом, температурою, розбіжності швидкостей фаз;
- ефектів руху дисперсної фази в обмеженому об'ємі середовища, зокрема турбулізації суцільної фази, змінювання траєкторії руху, перерозподілу полів концентрацій, температур та тисків в елементах дисперсної фази, гасіння турбулентних пульсацій суцільної фази за рахунок дисипації їх енергії в теплоту. На цьому рівні визначається гідродинамічна ситуація в локальному об'ємі апарата (локальна гідродинаміка);

- гідродинамічної ситуації на макрорівні в апараті з урахуванням гідродинамічної структури потоків.

Моделювання БТП є складною задачею. Таким виробництвам властиве протікання ряду нестационарних процесів; велике число розподілених в часі і просторі параметрів і складність зв'язків між ними; неперервне змінювання технологічних параметрів і властивостей популяцій, що характеризують поведінку біотехнологічних систем (наприклад, народжуваність, смертність, наявність сторонньої мікрофлори і т.п.), а також інші фактори, що визначають якість продукції.

Таким чином, побудова системи управління БТП як складною хіміко-технологічною системою є системною задачею, для розв'язання якої необхідно виконати процедури: розробка математичних моделей об'єкта; урахування факторів невизначеності; розробка спостерігачів стану об'єкта; знаходження ефективного управління (синтез регуляторів); оцінювання якості системи управління на основі обраних критеріїв. Системи управління повинні мати властивості самоорганізації, адаптації, робастності та оптимальності. При цьому необхідно враховувати колективну поведінку взаємодіючих часток, рух яких визначається законами збереження енергії та речовини. Це дає можливість отримати ймовірнісні властивості частинок як результат колективного руху та взаємодії, а стан системи знаходиться шляхом осереднення динамічних змінних кооперативних процесів. БТП мають особливі властивості щодо нелінійності, нестійкості, нерівноважності, їх розвиток характеризується різноманітними флуктуаціями, в ході яких виникають точки біфуркацій, які визначають розвиток процесів (напрямків змінювання станів системи). Крім цього, часто визначальну роль відіграють явища самоорганізації, можливість їх спонтанного виникнення із безпорядку та хаосу в дисипативних структурах [1].

Системний аналіз БТП приводить до необхідності застосування методів нерівноважної термодинаміки відкритих систем та нелінійної динаміки, що дозволяє виявити нові процеси, пов'язані з явищами самоорганізації та структуроутворення, які необхідно враховувати при створенні ефективної системи автоматизації. Це стосується синергетичного підходу, який приводить до таких висновків [1,2]:

- в математичних моделях БТП використовуються стохастичні диференціальні рівняння, які відображують єдність та взаємодію детермінованих і випадкових складових;
- за умов біфуркаційної нестійкості та відсутності зовнішніх випадкових збурень в нелінійних динамічних процесах можуть виникати хаотичні процеси як тимчасові впорядковані структури;
- при нерівноважних фазових переходах в нові структурні стани динамічної системи нестійкі компоненти (моди) використовуються як параметри порядку;
- в нерівноважних процесах в результаті взаємодії між компонентами структури, наприклад, при просторово-часових кореляціях, виникають дисипативні структури;
- різні процеси обміну, взаємодії та самоорганізації визначаються залежностями між компонентами системи.

Вивчення БТП ставить складну задачу опису їх фазових портретів, які відображують широке різноманіття інваріантів різнорідних структур, що відповідають складній ієрархії регуляцій. Створюючи різні умови нерівноважності, шляхом комп'ютерного моделювання можна описати різні сценарії розвитку об'єктів. При цьому виділяються зовнішні та внутрішні регуляції. Зовнішні регуляції являють собою накачки та дисипацію речовин, наприклад, за рахунок гідролізу. Внутрішні регуляції приводять до самоорганізації підсистем в єдину систему, тобто в цьому випадку виявляються кооперативні властивості, які приводять до виникнення синергетичного ефекту. Моделі біотехнологічної системи у вигляді систем кінетичних рівнянь мають інваріанти, які виникають у фазовому портреті системи, зображують її адаптацію і мають складну ієрархію послідовного ускладнення розвитку об'єкта.

Використання синергетичного підходу при управлінні БТП дозволяє конструювати такі структури, в яких динамічні процеси базуються на організації та самоорганізації і повною мірою відповідають природі об'єкта та його динамічним властивостям. При цьому в системі управління узгоджено розв'язують принаймні дві взаємозв'язані задачі: знаходження таких дій, які переводять систему в новий стан у відповідності з поставленими вимогами, наприклад, швидкодії або витрат ресурсів; забезпечення самоорганізації, тобто знаходження такої структури, при якій система в процесі біфуркаційної нестійкості переходить в новий стан (стійкий) з мінімальним рівнем вільної енергії. Особливість синергетичного підходу полягає в тому, що оптимальною є така структура системи управління, в якій реалізуються процедури самоорганізації, а потрібний стан системи буде одним із стійких. Крім того, організовується рух у фазовому просторі в напрямку необхідної точки, а застосування самоорганізації та взаємодії в системах управління співпадає з адаптивним підходом до параметричного та структурного синтезу оптимальних систем.

БТП можна віднести до детермінованих систем з нерегулярною, хаотичною поведінкою, тобто це динамічні системи, математичні моделі яких характеризуються "надчутливістю" до початкових умов: навіть як завгодно близькі траєкторії з часом розходяться на кінцеву відстань, тобто прогноз траєкторії руху системи на тривалий час неможливий, але кожна траєкторія залишається обмеженою, що не відповідає уявленням щодо стійкості лінійних систем. Хаотичні системи мають суттєву особливість, пов'язану з можливостями значного змінювання їх властивостей за допомогою як завгодно малих змінювань параметрів, що може супроводжуватись перетворенням хаотичної траєкторії в періодичну і навпаки. Таким чином, при управлінні БТП виникає можливість уникнути інтенсивних змінювань матеріальних чи енергетичних потоків, тобто необхідно знайти і реалізувати цілеспрямовані впливи у вигляді малих змінювань параметрів.

Загальна задача синергетичного управління і самоорганізації формалізується так: для об'єкта, який описується рівнянням

$$\dot{X} = F(X, U, E, t) \quad (1)$$

необхідно знайти управління

$$\dot{U} = G(U, X, Z, C, S), \quad (2)$$

де: X - вектор станів об'єкта; $F(\cdot), G(\cdot)$ - нелінійні функції; C - параметр управління; S - параметр порядку; E - вектор випадкових збурень.

Для опису нелінійних динамічних систем, які функціонують в умовах випадкових збурень, можна використати дисипативне рівняння Ланжевена виду:

$$\dot{X}(t) = f(x, t) + g(x, t)E(t), \quad (3)$$

де: $f(\cdot), g(\cdot)$ - векторні детерміновані функції, причому $f(x, t)$ описує топологію фазового простору і визначає динамічні властивості системи. Друга складова характеризує характер взаємодії між детермінованою та стохастичною компонентами системи і відіграє важливу роль в нерівноважних та нестійких процесах, коли флуктуації допомагають системі знаходити стійкий стан рівноваги в нових умовах. Випадковий характер процесу проявляється в тому, що траєкторії руху системи є множинними, а взаємодія між детермінованими та стохастичними складовими в різних умовах (нерівноважність, нестійкість, неузгодженість) визначає процеси самоорганізації. Механізми самоорганізації і взаємодії, характерні для БТП, проявляються у виді: цілеспрямованого узгодження і координації дій елементів у колективній системі; упорядкування колективної поведінки за рахунок використання параметрів порядку, відношень та полів середовищ; введення вибіркової нестійкості в нерівноважних фазових переходах за схемою: біфуркація – нестійкість – хаос – впорядкована структура; конкуренція, конфлікти, конфронтація і

компроміси, консолідація; просторова та часова кореляція, синхронність і когерентність; флуктуація, мутація та відбір; семантичний зв'язок та асоціативна дія; генерація структур.

Компоненти управління повинні так взаємодіяти з компонентами об'єкта, щоб забезпечити рівноважний стан в заданій точці Z_0 . В умовах біфуркаційної нестійкості можуть виникати тимчасові структури у вигляді хаотичних процесів з областю притягування типу "дивного" атратора, який має дробову розмірність фракталу у фазовому просторі. В цьому випадку в динамічних нелінійних детермінованих системах вище другого порядку можуть виникати випадкові процеси, і тоді системи управління повинні мати можливість обирати співвідношення між сприяннями та протидіями в колективних процесах, підсилюючи або зменшуючи ефекти впливу різних частин. При цьому існує принципова можливість організувати контури не лише структурного, а і параметричного та координатного управління з компенсацією основних збурень.

Системи автоматизації біотехнологічних процесів, побудовані на сучасних технічних засобах, дозволяють забезпечувати ефективність роботи об'єктів в різних режимах, але при цьому необхідно враховувати, що, наприклад, задача стабілізації технологічного режиму передбачає подавлення хаотичних коливань або приведення їх до регулярних. Якщо об'єкт задано у формі:

$$\dot{X}(t) = F(X, U), \quad (4)$$

де: X - координати стану; U - сигнал управління, то задача стабілізації формулюється так:

$$\lim_{t \leftarrow -\infty} (X(t) - X^*(t)) = 0, \quad (5)$$

або:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (Y(t) - Y^*(t)) = 0, \quad (6)$$

де: Y - вихід системи; а X^*, Y^* - задані значення координат стану або виходу, в тому числі періодичний рух. При повній спостережності системи $Y(t) \equiv X(t)$, задача стабілізації реалізується в розімкненій системі за оптимальною програмою або в замкненій за координатами стану чи вихідним сигналом.

Для БТП часто доцільним є генерування та підтримання хаотичних коливань як фактора інтенсифікації процесу, тоді траєкторія руху не визначається, а ставиться вимога відповідності формальному критерію хаотичності:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} G(X(t)) = G^*, \quad (7)$$

де: G^* - граничний показник функції мети $G(X)$.

При управлінні БТП може виникати також задача синхронізації як узгодженого змінювання станів та характеристик двох або більше систем. Якщо синхронізація не може виникнути без управління ($U = 0$), то необхідно обрати відповідний регулятор, а формально синхронний рух двох підсистем з координатами станів $X_1 \in R^n, X_2 \in R^n$ характеризується повним або частковим співпадінням векторів $X_1 = X_2$, а асимптотична синхронізація станів двох систем оцінюється так:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (X_1(t) - X_2(t)) = 0 \quad (8)$$

В задачах генерування та синхронізації коливань бажана поведінка систем однозначно не фіксована, а оцінки та характеристики задаються лише частково, наприклад амплітуда, а частота та форма можуть змінюватися в певних межах.

Управління БТП здійснюється, виходячи з вимог техніко-економічного характеру, тому застосовуються різні критерії оптимальності, які можна поділити на дві групи. До першої відносяться критерії, які безпосередньо оцінюють кількість отриманої біомаси та неутілізованого субстрату, собівартості біомаси та інш.

До другої групи відносяться критерії оптимальності, які характеризують якість управління БТП, а саме:

- максимальной швидкодії:

$$I_1 = \int_0^{t_n} 1 \cdot dt = t_n, \quad (9)$$

тобто мінімізації часу переходу t_n в область оптимального режиму;

- інтегрально-квадратичний:

$$I_2 = \Delta x^T(t_k)G\Delta x(t_k) + \int_{t_0}^{t_k} (\Delta x^T(t)P\Delta x(t) + \Delta U^T(t)D\Delta U(t))dt, \quad (10)$$

де: $\Delta x(t), U(t)$ - відповідно змінювання регульованої координати та сигналу управління; G, P, D - вагові матриці відповідних розмірностей; t_0, t_k - інтервал управління. Цей критерій враховує відхилення реального стану від бажаного (перша складова) в кінцевий момент часу, на інтервалі $t_k - t_0$ (друга складова), мінімізацією енергетичних витрат (третя складова). Критерій використовується в задачі аналітичного конструювання регуляторів;

- H_2 -оптимального синтезу з нормою:

$$\|H\|_2 = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \text{tr}[H^T(-jw)H(jw)]dw}, \quad (11)$$

де: $H(s), s = jw$ - передаточна функція системи за каналом "вхід - вихід", аналітична в правій півплощині ($\text{Re } s > 0$); $\text{tr}(\cdot)$ - слід матриці;

- H_∞ -оптимального синтезу з нормою:

$$\|H\|_\infty = \max_{w \in [0, \infty]} \overline{\sigma(w)}, \quad (12)$$

де: $\overline{\sigma(w)}$ - максимальне сингулярне число матриці $H(jw)$ (корінь квадратний з максимального власного значення ермітової матриці $H(jw)^T H(jw)$).

Використання критеріїв (11), (12) орієнтовано на забезпечення мінімуму енергії похибки регулювання для складного об'єкта шляхом створення єдиного регулятора, який забезпечить робастне управління за умови, що властивості об'єкта постійно змінюються за рахунок внутрішніх процесів та взаємодії із зовнішнім середовищем.

Системна задача управління БТП орієнтована на реалізацію в рамках ієрархічної системи автоматизації.

The brought results of the system analysis biotechnological process as complex system, in which possible select the row a level with corresponding to detalization of the interaction separate component. It is shown that when making managerial system by main approach is an use principle of organization and adaptation (synergetic approach). Such systems use minimum in size signals of management, which translate the process in desired point.

1. Колесников А.А. Синергетическая теория управления. – М.: Энергоатомиздат, 1994. – 343 с.

2. Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л. Управление хаосом: методы и приложения // Автоматика и телемеханика. – 2003, №5. – с. 3-45.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ

УДК 621.3.016.45

ОБЛІК ЕНЕРГІЇ З УРАХУВАННЯМ ВИЩИХ ГАРМОНІК

Ковальов В.М., Білоха Д.О.

В умовах постійного зростання цін на енергоресурси великого значення набувають питання адекватного, точного і достовірного обліку електроенергії. Для здійснення взаєморозрахунків між споживачем та енергопостачальником підприємства зазвичай використовують індукційні або електронні лічильники активної і реактивної енергії.

Застосування цих приладів дозволяє проводити комерційні розрахунки при синусоїдальній напрузі і струмі в точці реалізації електроенергії. Проте, як зазначено в [1] використання лічильників при несинусоїдальному режимі призводить до неадекватності їх показів, а отже і сумнівної можливості їх використання для комерційних розрахунків.

Неадекватність показів реактивної потужності електронних лічильників обумовлена не лише апаратними похибками реалізації алгоритму, побудованого на формулі

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}, \quad (1)$$

а і неоднозначністю фізичного змісту отриманого з (1) значення Q в несинусоїдальному режимі, щодо чого існує велика кількість робіт вітчизняних та іноземних авторів (наприклад [2]).

Стосовно активної потужності автори дослідження [1] зазначають: "... покази лічильників визначаються алгебраїчною сумою активної потужності першої гармоніки і всіх активних потужностей вищих гармонік з урахуванням їх знаку. Виходячи з отриманих результатів, можна зробити наступний висновок: за неякісну електричну енергію, що споживається з мережі, споживач, який не вносить викривлень, платить більше, а споживач, який сам вносить викривлення, – платить менше, ніж за споживану електроенергію без викривлень. Ця різниця ... може бути досить суттєвою" (переклад з російської).

Відсутність теорії, придатної для комерційного обліку електричної енергії в мережах з відхиленням форми кривих струму та напруги від синусоїдальної в умовах зростання долі нелінійних навантажень (дугові сталеплавильні печі, зварювальні агрегати, потужні тиристорні випрямлячі, статичні перетворювачі напруги і частоти для живлення регульованих електроприводів постійного і змінного струму і т.д.) викликала розробку різних авторами альтернативних методик обліку реактивної енергії [3-4].

Слід зазначити, що ці методики не дають змоги визначити винуватця відхилення форми кривої напруги від синусоїдальної. Тобто, і у випадку коли несинусоїдальність напруги обумовлена нелінійністю електроприймача, і у випадку коли несинусоїдальність присутня з вини енергосистеми, за додаткові складові потужності, поява яких викликана несинусоїдальністю напруги, платитимуть усі споживачі, а не лише винуватець.

Існують роботи присвячені питанню визначення винуватця зниження якості електроенергії [5-7]. Методики, викладені в цих роботах, пропонують оцінювати ступінь внеску споживача в погіршення якості електроенергії "коефіцієнтом дольового внеску в погіршення якості електроенергії". Розрахунок цього коефіцієнта базується на понятті вторинної потужності, яка є частиною споживаної нелінійним електроприймачем потужності, що перетворюється в потужність вищих гармонік і спотворює напругу мережі. Ця потужність споживається іншими споживачами і елементами електромережі. Судити про споживання чи генерацію вторинної потужності електроприймачем дозволяє її знак (або кут між відповідними векторами струму та напруги). Розрахований коефіцієнт внеску споживача в

погіршення якості електроенергії має використовуватися для встановлення знижок чи надбавок до тарифу.

Спільним недоліком методик, що викладені в [5-7] є відсутність врахування залежності негативного впливу вищих гармонік від їх частоти. Крім того, у розрахунках [7] використовується значення опору системи, яке може змінюватися або бути невідомим.

Метою статті є висвітлення нової методики обліку електроенергії в несинусоїдальних режимах, яка дозволяє не лише адекватно оцінити активну і реактивну енергію споживану електроприймачем, а і визначити ступінь внеску споживача та енергосистеми в погіршення синусоїдальності напруги в точці реалізації електроенергії. Запропонована методика, як і вже відомі, ґрунтується на понятті вторинних потужностей. При цьому її характерними відмінностями є:

- відмова від визначення знижок і надбавок до тарифу, а використання для комерційних розрахунків за неякісну електроенергію значень вторинних енергій;
- визначення вторинних потужностей для кожної гармоніки окремо, що дозволяє встановити окремі тарифи для кожної гармоніки, залежно від її негативного впливу на електрообладнання споживача та енергосистеми, підвищити точність обліку і внести ясність в ситуаціях, коли споживач генерує в мережу гармоніку однієї частоти і одночасно споживає потужність гармоніки іншої частоти;
- використання при розрахунках лише миттєвих значень струму та напруги без використання значень опорів мережі, опорів навантаження і т.ін.

Основою методу є визначення вторинних потужностей вищих гармонік навантаження. З цією метою над струмом і напругою споживача приладом обліку проводиться перетворення Фур'є, в результаті якого для струму та напруги отримуємо матриці – вектори максимальних значень складових гармонік U_V та I_V виду

$$X = \begin{bmatrix} X_{1S} + jX_{1C} \\ X_{2S} + jX_{2C} \\ X_{3S} + jX_{3C} \\ \dots \end{bmatrix}, \quad (2)$$

де X_{1C} та X_{1S} – амплітуди косинусної і синусної складових першої гармоніки відповідно (наявність постійної складової тут і далі не враховується).

З курсу ТОЕ відомо, що якщо максимальні значення струму та напруги однієї частоти представлені у вигляді

$$\dot{U}_m = U_s + jU_c; \quad \dot{I}_m = I_s + jI_c,$$

то активна і реактивна потужність даної гармоніки виражаються формулою

$$\begin{aligned} P + jQ &= \dot{U}\dot{I} = \left(\frac{U_s}{\sqrt{2}} + j \frac{U_c}{\sqrt{2}} \right) \left(\frac{I_s}{\sqrt{2}} - j \frac{I_c}{\sqrt{2}} \right) = \\ &= \frac{U_c I_c + U_s I_s}{2} + j \frac{U_c I_s - U_s I_c}{2}. \end{aligned} \quad (3)$$

Тобто

$$P_i = \frac{U_{iC} I_{iC} + U_{iS} I_{iS}}{2}, \quad (4)$$

$$Q_i = \frac{U_{iC} I_{iS} - U_{iS} I_{iC}}{2}, \quad (5)$$

де P_i та Q_i – активна і реактивна потужності i -тої гармоніки;

U_{iS} та U_{iC} – дійсна і уявна (синусна і косинусна) частина максимального значення напруги i -тої гармоніки відповідно;

I_{iS} та I_{iC} – дійсна і уявна частина максимального значення струму i -тої гармоніки відповідно.

Формули (4) і (5) є основою для визначення вторинних потужностей навантаження, які з врахуванням (2) в матричній формі запису набувають виду

$$P_V = \frac{1}{2}(\operatorname{Re} U_V \cdot * \operatorname{Re} I_V + \operatorname{Im} U_V \cdot * \operatorname{Im} I_V), \quad (6)$$

$$Q_V = \frac{1}{2}(\operatorname{Im} U_V \cdot * \operatorname{Re} I_V - \operatorname{Re} U_V \cdot * \operatorname{Im} I_V), \quad (7)$$

де P_V та Q_V – шукані вектори значень вторинних активних та реактивних потужностей навантаження відповідно;

U_V та I_V – отримані в результаті перетворення Фур'є вектори напруги і струму виду (2);

Re та Im – оператори, що служать для виділення дійсної і уявної частини комплексного числа;

“*” – оператор поелементного множення матриць (результатом дії цього оператора є матриця, кожен елемент якої дорівнює добутку відповідних елементів матриць, що стоять ліворуч і праворуч від оператора).

Після проведення описаних вище дій (перетворення Фур'є над миттєвими значеннями струму та напруги, виконання дій (4)-(5) або (6)-(7), що те саме) отримуємо вектор значень активної потужності навантаження та вектор значень реактивної потужності навантаження, що мають вигляд

$$P_V = \begin{bmatrix} P_1 \\ P_2 \\ P_3 \\ \dots \end{bmatrix}, Q_V = \begin{bmatrix} Q_1 \\ Q_2 \\ Q_3 \\ \dots \end{bmatrix} \quad (8)$$

За знаком кожного елемента вектора активної потужності P_V , можна визначити генерує (якщо “-”) чи споживає (якщо “+”) активну потужність цієї частоти електроприймач.

Знаки елементів вектора реактивної потужності Q_V , дозволяють визначити характер процесів обміну енергією на даній частоті: індуктивний (якщо “+”) чи ємнісний (якщо “-”).

Ідеальним споживачем прийнято вважати електроприймач, схема заміщення якого являє собою активний опір. У такого споживача всі елементи вектора Q_V завжди дорівнюватимуть нулю, так як при будь-якій формі прикладеної напруги гармоніки струму через активний опір співпадають по фазі з відповідними гармоніками напруги. Значення елементів вектора P_V цього споживача при синусоїдальній напрузі будуть дорівнювати нулю крім P_1 , який дорівнюватиме потужності, що споживається навантаженням по першій гармоніці. При несинусоїдальній напрузі мережі деякі елементи вектора активної потужності крім першого матимуть додатні значення, рівні потужностям, що споживаються навантаженням на відповідних частотах.

Тобто модулі і знаки елементів векторів потужності навантаження (8) дозволяють визначити на даній момент величину внеску вищих гармонік споживача або енергосистеми в погіршення якості електроенергії в точці її реалізації для кожної гармоніки окремо. Величина цього внеску за розрахунковий період може бути отримана шляхом інтегрування значень векторів (8), причому додатні значення слід інтегрувати окремо від ‘ємних.

Здійснивши інтегрування отримаємо чотири вектори. Назвемо їх W_+ , W_- , V_+ , V_- . Вектор W_+ складається з проінтегрованих додатних значень вектора P_V і має вигляд

$$W_+ = \begin{bmatrix} W_{+1} \\ W_{+2} \\ W_{+3} \\ \dots \end{bmatrix}. \quad (9)$$

Кожний його елемент, дорівнює енергії, що була спожита електроприймачем з мережі за розрахунковий період. За енергію, споживану на основній частоті (W_{+1}) підприємство має платити енергопостачальнику, а за всі інші складові вектора W_+ енергопостачаюча організація має платити споживачеві компенсацію. Тобто, розмір плати підприємства за спожиту електроенергію (вектор W_+) можна визначити за формулою

$$\Pi_{W_+} = k_1 W_{+1} - k_2 W_{+2} - k_3 W_{+3} - \dots, \quad (10)$$

де k_1 – вартість однієї кіловат-години спожитої електроенергії для підприємства, грн/кВт·год;

k_2 та k_3 – вартість компенсації, яку має сплатити енергосистема підприємству за збитки, обумовлені споживанням ним однієї кіловат-години електроенергії на частоті другої та третьої гармонік відповідно, грн/кВт·год.

Аналогічно обчислюється частина оплати, обумовлена вектором генерованої активної потужності W_- , з тією різницею, що за генеровану на основній частоті активну енергію енергосистема має платити підприємству (звичайно, якщо це передбачено угодою), а за всі інші складові W_- підприємство має компенсувати системі збитки від погіршення якості електроенергії, що обумовлене його діяльністю.

Розрахунок плати за реактивну енергію (вектори V_+ , V_-) проводиться за тією ж методикою, що і за активну енергію, з тією різницею, що зазвичай енергосистема не потребує генерації чи споживання реактивної потужності на вищих гармоніках, тому за всі елементи цих векторів з індексами більше одиниці, ймовірно, платитиме споживач.

Величини коефіцієнтів для споживаної і генерованої активної та реактивної енергії кожної гармоніки (k_2 , k_3 і т.д.) мають визначатися виходячи з величини її негативного впливу на енергосистему і підприємства-споживача. Визначення цих коефіцієнтів є окремою науковою задачею.

Приклад. Практичне використання пропонованої методики проілюструємо на прикладі оцінки вторинних потужностей підключеного до системи енергопостачання тиристорного регулятора, навантаження якого носить індуктивно-активний характер. Схема заміщення мережі зображена на рисунку 1.

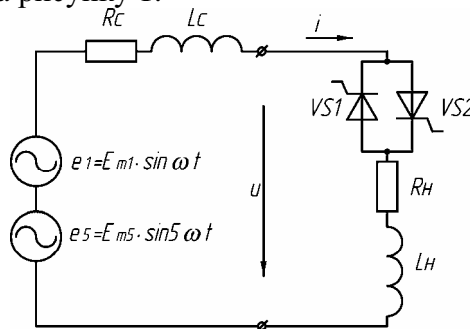


Рисунок 1 – Схема мережі

Для даної мережі був проведений розрахунок миттєвих значень струму та напруги при куті відкриття тиристорів 2,2 радіан*. Розрахунки проводились для двох випадків:

1. ЕРС системи є синусоїдальною ($E_{m5}=0$) – в такому випадку винуватцем погіршення якості електроенергії є споживач.

2. ЕРС системи є несинусоїдальною, присутня п'ята гармоніка ($E_{m5}=0,1E_{m1}$) – в цьому випадку винними в погіршенні якості електроенергії є і система і споживач.

З отриманими миттєвими значеннями струму та напруги були проведені розрахунки, за описаною вище методикою, обчислені значення елементів векторів потужності P_V та Q_V для обох випадків наведені у таблиці 1 (всі значення вказані відносно активної потужності першої гармоніки при синусоїдальній ЕРС системи).

З таблиці видно, що при синусоїдальній ЕРС мережі винуватцем погіршення якості електроенергії є лише споживач, причому найбільша вторинна потужність генерується

* програма для розрахунку миттєвих значень струму та напруги була надана проф. Ягупом В.Г.

ним на третій гармоніці, також має місце генерація реактивної потужності на сьомій гармоніці. При несинусоїдальній ЕРС мережі споживач одночасно сприяє погіршенню якості електроенергії по третій і сьомій гармоніках та сам потерпає від наявності в ЕРС мережі п'ятої гармоніки.

Таблиця 1

Результати розрахунків

Номер гармоніки	ЕРС системи синусоїдальна		ЕРС системи несинусоїдальна	
	P_{Vi} , в.о.	Q_{Vi} , в.о.	P_{Vi} , в.о.	Q_{Vi} , в.о.
1	1	31,32	0,99181	30,933
2	0	0	0	0
3	-0,08015	-0,86538	-0,08914	-0,95604
4	0	0	0	0
5	0	0	0,01827	0,13532
6	0	0	0	0
7	0	-0,0505	0	-0,02745

Висновок. Таким чином, основна відмінність запропонованої методики полягає у визначенні активної і реактивної потужностей споживача у формі векторів, аналіз елементів яких за їх величиною і знаком дозволяє визначити споживану чи генеровану на кожній частоті електроенергію, знайти винуватця погіршення якості електроенергії і, отже, вирішити конфліктну ситуацію між споживачем та енергопостачальником при несинусоїдальному режимі.

Accounting electrical energy in non-sinusoidal mode methods are treated. New method is presented. The method allows evaluate contribution of the customer and energy system into power quality reduction. Paper can be useful to a wide circle of the scientists and engineers which elucidate energy saving and power quality issues.

1. Киселев В.В., Пономаренко И.С. Влияние несинусоидальности напряжения и тока на показания электронных счетчиков электроэнергии // Промышленная энергетика. – 2004, №2.
2. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л. Реактивная мощность в системах электроснабжения. – Киев, УМК ВО, 1989.
3. Агунов М.В., Агунов А.В., Вербова Н.М. Новый подход к измерению электрической мощности // Промышленная энергетика. – 2004, №2.
4. Кизиллов В.У., Светелик А.Д., Иванов В.В., Гваришвили А.И. К вопросу об алгоритме функционирования реактивного счетчика // Промышленная энергетика. – 1995, №12.
5. Зыкин Ф.А. Оценка степени участия искажающих нагрузок в снижении качества энергии // Известия ВУЗов. Энергетика. – 1987, №10.
6. Зыкин Ф.А. Определение степени участия нагрузок в снижении качества электроэнергии // Электричество. – 1992, №11.
7. Майер В.Я., Борисенко А.М., Пономаренко В.П. Методика определения источников высших гармоник и величин, вносимых ими в ухудшение синусоидальности напряжений на границе раздела балансовой принадлежности электрических сетей // Известия ВУЗов. Энергетика. – 1989, №7.

ЕНЕРГОСИСТЕМА ЯК ОБ'ЄКТ УПРАВЛІННЯ З ФРАКТАЛЬНОЮ СТРУКТУРОЮ.

Головащенко Н.В., Рудакова Г.В., Саратовцева І.В.

Постановка проблеми. Найважливіший клас сучасних технологій пов'язаний із прогнозом небезпечних і катастрофічних подій, пошуку адекватної відповіді і методів попередження и відбиття виникаючих загроз. Основну роль при цьому відіграє моделювання катастрофічних подій, оцінювання ризиків, створення технологій моніторингу і прогнозу небезпек, які виникають у різних сферах.

На цей час тенденція утворилася така, що кількість природних катастроф з великим економічним збитком за останні двадцять років збільшилася вчетверо. Не винятком стали і катастрофи в енергомережах, які призводять до відключення енергії на тривалий час і які мають велике територіальне розповсюдження. В якості прикладів можна наводити відомі катастрофи в енергомережах Москви, Далекого Сходу і північного узбережжя США.

Катастрофи в енергомережа відносять до розряду техногенних, які можна передбачити і запобігти якщо своєчасно їх спрогнозувати, швидко оцінити ситуацію й використати необхідний закон управління системою, який дозволяє запобігти переродженню аварійної ситуації в катастрофу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій В сучасній науці теорія катастроф розглядається в двох напрямках: в теорії особливостей гладких відображень і в теорії стійкості і біфуркації динамічних систем [1]. Предметом теорії катастроф є вивчення залежності якісної природи рішень рівнянь від значень параметрів, які присутні в заданих рівняннях. Що передбачає наявність відповідного математичного апарату.

При розбиранні різноманітних функцій катастроф визначено, що основою їх вивчення є теорія особливостей гладких стійких відображень і теорія біфуркацій. Зміна якісної картини фазових траєкторій при наявності біфуркацій іноді призводить до виникнення нового типу рухів, які здобули назву «хаос». Зовсім нещодавно було виявлено, що рух деяких дуже простих динамічних систем не завжди можна передбачити на великий проміжок часу. Такі явища називають хаотичними. Так як катастрофа – це зміна у вигляді стрибка, яка виникла у вигляді раптової відповіді системи на плавну зміну зовнішніх умов, і її не можна передбачити наперед, то можна вважати, що катастрофа – це і є перехід від упорядкованого до хаотичного руху системи при зміні її параметрів. Хаотична ланка має нову геометричну властивість, яку називають фрактальною структурою.

Прогнозування розвитку катастрофи повинно базувати на аналізі моделі системи. Для опису енергосистем прийнято використовувати дискретні моделі, які описують всю структуру. Відомі моделі побудовані за допомогою апарату теорії графів, модель системи утворена клітинним автоматом, модель у вигляді перкаляційної решітки яку застосовують для аналізу розвитку катастроф [2]. Такі моделі мають нескінченну розмірність. Для розрахунку прогнозу катастроф при використанні таких моделей звичайно необхідні великі обчислювальні потужності. Операція обчислювання займає тривалий час, що в аварійних випадках не припустимо. Також в літературі описана характерна логарифмічна залежність одного з параметрів системи в просторі часу, яка характеризує перехід системи від упорядкованого «ламінарного» руху до хаотичного «турбулентного» [3]. Така залежність розкрита при зміні параметрів системи які виникають перед катастрофами в різних складних системах незалежно від їх фізичної природи. Відзначено, що нестійкість всієї системи розвивається не у відповідності з «інтуїтивно очевидною» експоненціальною залежністю, а набагато швидше. Збільшення частоти коливань по мірі наближення до моменту катастрофи може бути одною з ознак, які можуть бути використані при прогнозі моменту катастрофи.

В енергосистемах таких коливальних переходів параметрів системи не спостерігається. Мережам енергетики більше притаманна синусоїдальна динаміка зміни параметрів в системі. Більшість фрактальних об'єктів краще всього моделюються випадковими фракталами, які породженні стохастичними процесами. Такими є розповсюдження епідемій, лісових пожег, катастроф в енергосистемах та ін.

Очевидно, щоб запобігти катастрофі енергосистеми необхідно спрогнозувати можливість виникнення катастрофи, область зародження можливої катастрофи і застосувати необхідні дії, які б не допустили розповсюдження області локалізації катастрофи.

Постановка задачі. Для оптимального управління системою і можливості передбачити точку катастрофи и напрямку її розповсюдження необхідно структурувати територіально розповсюджену енергосистему не частково, а розглянути її як цілий складний об'єкт. Так як розрахунків закону управління системою в аварійних ситуаціях є визначаючим фактором, то й структура системи повинна бути максимально простою. Одночасно доцільно підвищити швидкість і надійність апаратури зв'язку диспетчерських пунктів. Необхідно підібрати потрібний математичний апарат, для можливості реалізації оптимального автоматичного управління блокуванням переростання аварії в катастрофу в енергомережах.

Основна частина. При моделюванні складних систем виникає необхідність їх упорядкованого опису. Аналізую всю систему енергопостачання можна зауважити, що енергосистема за своєю структурою належить до складних ієрархічних систем. Розглянувши систему можна виділити декілька рівнів розповсюдження енергії. Розподіл на рівні виконується умовно і зображено на рисунку 1.

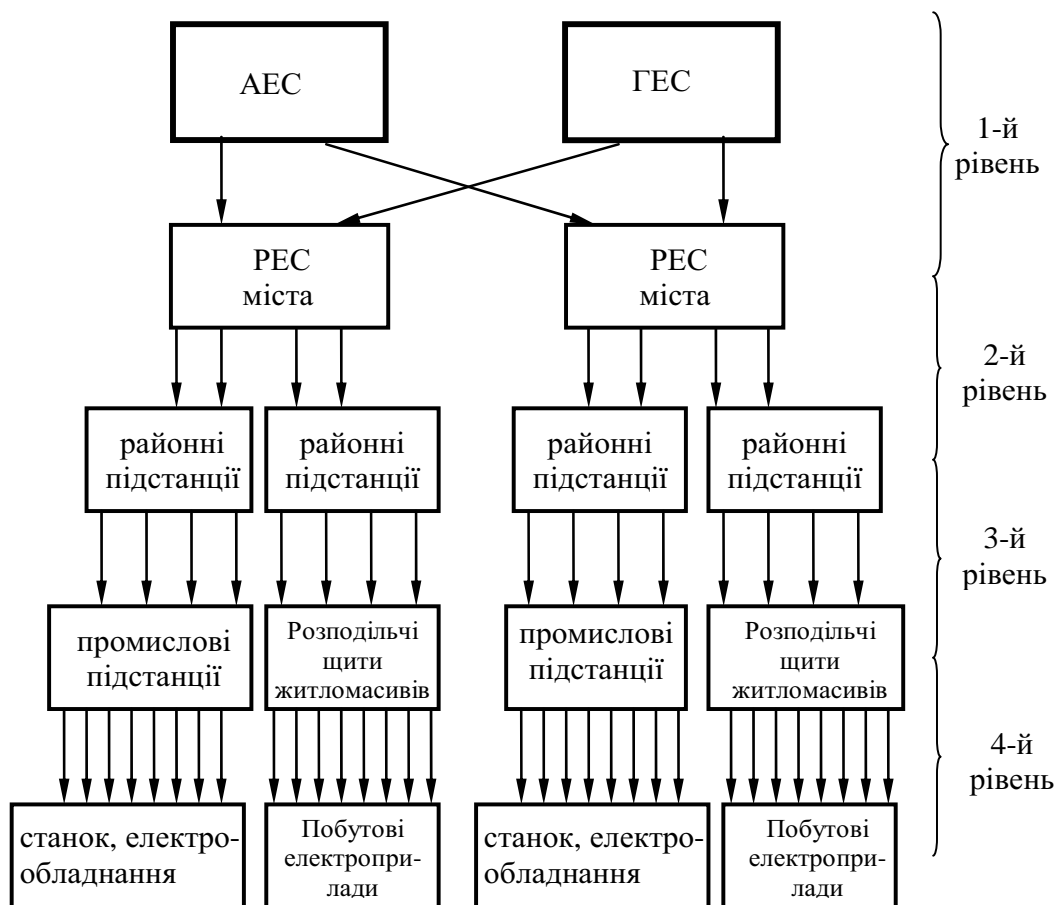


Рис.1 Ієрархічна структура розподілу енергії.

Кожен рівень характеризується певним рівнем напруги електроенергії і складається з так названої пари: джерело і споживач енергії. До цього ж споживач попереднього рівня

на наступному рівні стає джерелом енергії. Зі зростанням номера рівня кількість споживачів, які живляться від джерела, зростає, а величина напруги розподіляється по віткам. Таку структуру системи можна характеризувати як структурний фрактал. Властивість фрактальності міститься в тому, що мала частина системи поводить себе так само, як і вся ціла система. Така властивість ще має назву самоподібності

По зовнішньому виду енергосистема є випадковим деревовидним конструктивним фракталом.

Для побудови конструктивних фракталів характерно задати «основу» і «фрагмент», який повторюється при кожному зменшенні масштабу. В енергосистемі зі зменшенням масштабу зменшується і величина енергії, що розподіляється від джерела до споживача. Для побудови фрактала енергосистеми буде характерним фрагмент у вигляді дерева, який ще називають квіткою [1], така квітка має вигляд, що показаний на рисунку 2.



Рис.2 Сегмент фрактала, яким можна описати енергосистему.

Тут віти квітки зображують лінії електропередач, кожна з яких відображує свій рівень напруги, а два вузли однієї віти квітки розглядаються як пара: джерело – споживач. Для фрактального описання енергосистеми найбільше підходить безперервна модель енергопостачання і енергоспоживання [4]. Опис Ваня рівнів відбувається в категоріях джерело споживач, і співвідношення що використовується є однотипним. Рівні ідентичні, що відповідає визначенню фрактальності

В результаті розвитку фракталу енергосистема підпадає під категорію фракталів, які називають «деревом Піфагора», або фрактал квітка після декількох ітерацій [5].

Існуючі енергосистеми мають топологію сітки, через це між вузлами різних сегментів фракталу можуть існувати зв'язки. Таким чином фрактальний опис енергосистем в просторі часу може змінювати свою структуру. Подібна структура зображена на рис. 3.

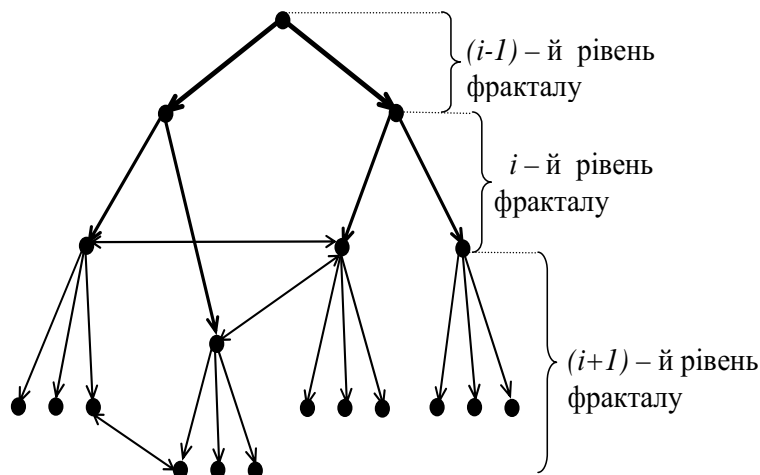


Рис.3 Можливість виникнення додаткових зв'язків у фракталі.

Але так як завжди зберігається співвідношення постачальник споживач –

властивість фрактальності не зникає, вона виявляється не у фізичному зв'язку вузлів лініями електропередач а в динаміці процесів енергорозподілу, які відбуваються.

Щоб дотримати мінімально коротких строків розрахунку прогнозування і пошуку доцільно звернутися до моделювання енергосистеми в безперервному вигляді. Щоб визначити можливу точку катастрофи можна за допомогою моделювання поверхонь енергопостачання та енергоспоживання і розрахунку поверхні рівноваги енергорозподілу, тобто розрахувати поверхню запасу енергії що розподілена [3].

Для цього споживання енергії i -м споживачем задамо у вигляді безперервної функції $f_i(x, y, t)$, потужність енергії що генерує j -те джерело задамо у вигляді $F_j(x, y, t)$, і побудуємо поверхню енергопостачання (1):

$$P(x, y, t) = \sum_i F_i(x, y, t), \quad (1)$$

і поверхню енергоспоживання:

$$C(x, y, t) = \sum_j f_j(x, y, t). \quad (2)$$

Поверхня запасу енергії визначається як різниця між поверхнями енергопостачання і енергоспоживання:

$$Z(x, y, t) = P(x, y, t) - C(x, y, t). \quad (3)$$

Моделювання проводилося за допомогою програмного пакета MathCAD [6]. Отримані таким чином поверхні енергопостачання, енергоспоживання та запасу електроенергії для фіксованого моменту часу t показані на рисунку 4 відповідно.

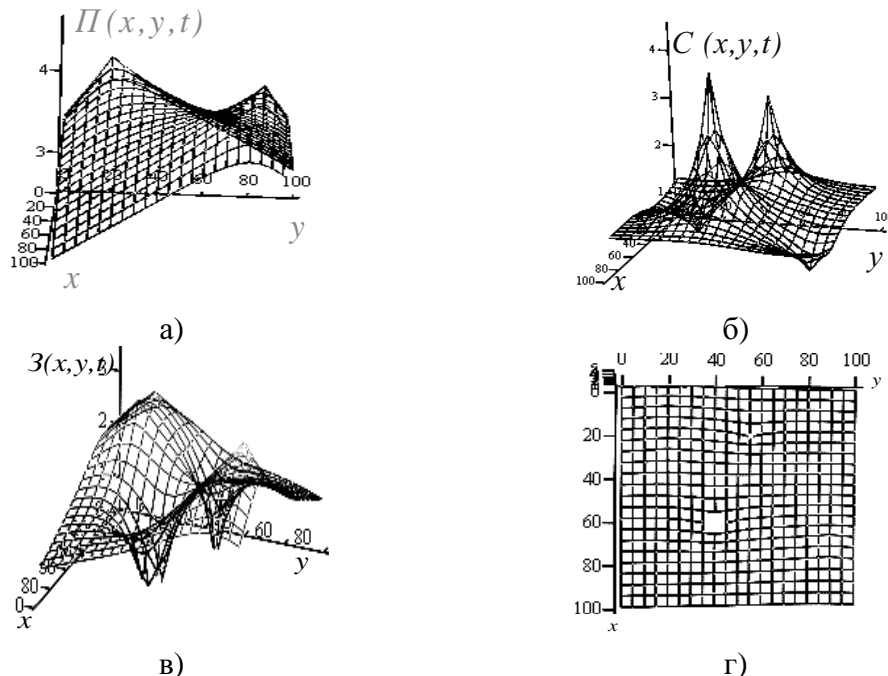


Рис. 4. Результати моделювання:.

а) - поверхня енергопостачання; б) – поверхня енергоспоживання;

в) - поверхня запасу енергії; г) - поверхня запасу енергії (вид зверху)

Наведена на рис.4-а поверхня енергопостачання має вигляд характерний для облас-

тей з щільним розподілом споживачів, наприклад для міських систем енергопостачання.

Різниця поверхонь енергопостачання і енергоспоживання характеризує забезпеченість електрикою заданого району. Якщо в деякій області запас енергії менший допустимого, то такі області виявляються пустими ділянками (рис. 4-г) необхідно вживати заходів по підвищенню рівня енергопостачання в цьому вузлі. Через недолік енергії в цьому фрактальному сегменті, що містить в собі цей вузол, може розвинутися катастрофа.

Після того як визначена точка катастрофи необхідно здійснювати заходи за для попередження розвитку катастрофи, тобто необхідно підняти рівень поверхні запасу енергії в тій точці, де він менший допустимого значення. Підняти рівень поверхні запасу енергії можна за рахунок наступних заходів:

- 1) підвищити потужність джерела на попередньому рівні фракталу;
- 2) підключення аварійного вузла до автономного джерела енергії (АДЕ), (рис. 5-а);
- 3) змінити топологію сітки способом повного або часткового відключення деяких споживачів, для яких це можливо (рис.5-б);
- 4) змінити топологію сітки за рахунок підключення аварійного вузла сегмента до вузла другого сегмента фракталу (рис.5-в).

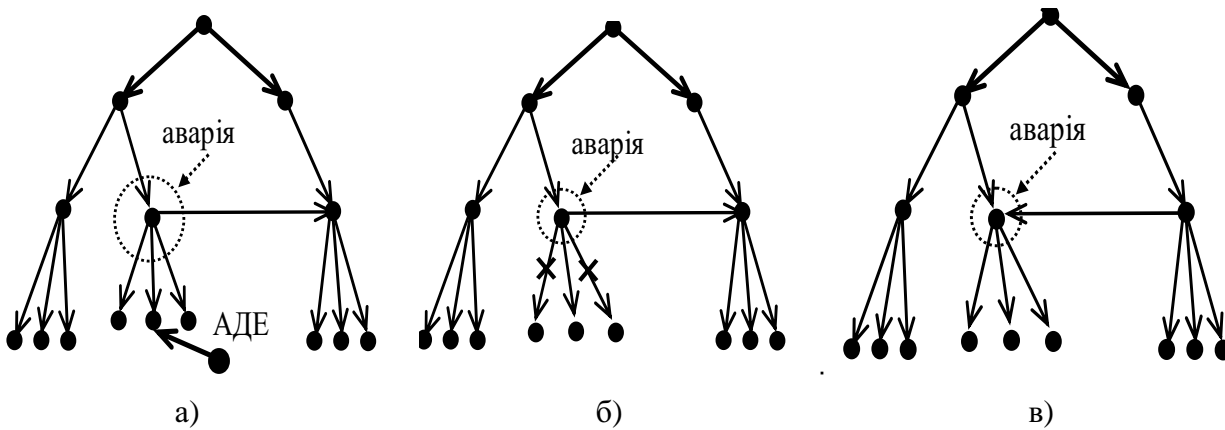


Рис.5 Способи підвищення рівня поверхні запасу енергії.

Кожен із заходів можливо перевірити за допомогою моделювання поверхонь енергопостачання, енергоспоживання та запасу енергії у фіксований момент часу. Результати моделювання енергосистеми зведені у таб. 1.

Результати моделювання енергосистеми при підключенні АДЕ еквівалентні результатам моделювання енергосистеми у випадку зміни топології сітки за рахунок підключення аварійного вузла другого сегмента фракталу.

З аналізу результатів моделювання можна відзначити ефективність позначених заходів що до запобігання можливих причин виникнення аварій, яка відображується відсутністю пустих ділянок на поверхні запасу енергії.

Наведені заходи запобігання енергетичної катастрофи можна застосовувати окремо по одинці або в комплексі. Для цього необхідно:

- 1) Мати повну інформацію про кожного споживача: графік споживання, отриманий на основі аналізу статистичних даних за декілька років.
- 2) Мати інформацію о наявності автономних джерел живлення кожного вузла енергоспоживання, їх потужності та працездатності.
- 3) Визначити перелік заходів по стабілізації ситуації що склалася за допомогою моделювання змін структури енергосистеми.
- 4) Організувати екстрене повідомлення групи вузлів, які знаходяться в сегменті аварійного фракталу, про заходи що обрані для вживання.

Результаты моделирования энергосистемы.

	Підвищення потужності джерела	Підключення АДЕ	Відключення деяких споживачів
Поверхні енергопостачання			
Поверхні енергоспоживання			
Поверхні запасу енергії			
Поверхні запасу енергії (вид зверху)			

Висновки: Попередження катастрофи є задачею комплексною. Вона містить в собі прогноз ситуації, визначення найбільш ймовірного місця, визначення меж розповсюдження і грамотну організацію запобігання катастрофи.

Дослідження показали, що:

1. Енергосистема є складною великою системою.
2. Оптимальне управління в режимах катастрофи передбачає набуття рішень що до заходів по запобігання аварії в мінімальний час.
3. Зону розповсюдження енергетичної катастрофи можливо обмежити фракталом аварійного вузла.
4. Пошук оптимального рішення по запобігання аварійних ситуацій буде відбуватися на безперервній гладкій поверхні з використанням апарату варіаційного числення.
5. Необхідно використання сучасних засобів зв'язку, здатних функціонувати в аварійних умовах.

Катастрофі можна запобігти якщо до неї бути готовими.

The article deals with the question prevention of disaster in energy system. As the title implies the article describes the energy system as object control with fractal structure. It is spoken in detail about the fractality of the system structure. of system. Much attention is given to design of system continuously. Such design lets to find the point of catastrophe appearance. The shortest time of catastrophe origin is a specially noted. The results of the design are presented in the article. Means of catastrophe prevention are also presented.

1. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; Т.5: Методы современной теории автоматического управления/ Под ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова .- М.: Издательство МПУ им. Н.Э. Баумана, 2004. – 784с.
2. Шредер М. Фракталы, хаос, степенные законы. Миниатюры из бесконечно-го рая. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. - 528 с.
3. Малинецкий Г.Г. Хаос. Структуры. Вычислительный эксперимент. Введение в нелинейную динамику. - М.: Наука, 1997. - 256с.
4. Головащенко Н.В., Рудакова Г.В. Моделювання енергосистеми як об'єкта управління. //Муниципальная энергетика: проблемы, решения: Материалы международной научно-технической конференции. 21-22 грудня 2005р. Миколаїв. – С.130-134.
5. Морозов А.Д. Введение в теорию фракталов. – Москва-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. - 160 с.
6. Дьяконов В.П. Энциклопедия MathCAD 2001i и MathCAD11. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 832с.

ЭКОНОМИКА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ПРОГРЕССА

УДК 620.91

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС И ВОЗОБНОВЛЯЕМЫЕ
ИСТОЧНИКИ ЭНЕРГИИ**

Купцова Е.Е., Деменский А.Н., Быря А.П.

Общеизвестно, что приоритет номер один Украины во внешней политике – это вступление в ЕС. Для его осуществления необходим стабильный рост экономики нашей страны. Согласно последним статистическим данным, на производство валового внутреннего продукта на сумму в 1000 долларов в Украине тратится в среднем в шесть раз больше энергии, чем в странах ЕС. Причем, энергоресурсы страна покупает за рубежом и их стоимость с каждым годом возрастает.

Как показывает исторический опыт, бизнесмены и руководители стран Западной Европы и США не будут вкладывать средства в развитие неперспективных проектов. Сейчас в этих странах получение энергии из возобновляемых источников (ветер, солнце, биомасса (органические отходы любого происхождения) и т. д.) с каждым годом получает все большее развитие. Так в 1995 году из возобновляемых источников в странах Европейского Союза было произведено 74.3 млн. тонн нефтяного эквивалента или 41.9 МДж/кг, то есть около 6% общего потребления первичных энергоносителей. Среди возобновляемых источников используемых в странах Европейского Союза первое место уверенно занимает биомасса, так как на ее долю приходится более 60% произведенной энергии из возобновляемых источников или почти 3% от общего потребления первичных энергоносителей. На данный момент в Европейском Союзе осуществляется программа развития получения энергии из возобновляемых источников в соответствии с которой уже только за один 2010 год только из одной биомассы будет получено 135 млн. тонн нефтяного эквивалента или 9% общего потребления первичных энергоносителей всех стран ЕС.

Рассмотрим главные причины развития получения энергии из возобновляемых источников в развитых странах. Первая причина - ежегодное уменьшение мировых запасов нефти и природного газа и стабильный рост стоимости этих ресурсов.

Другой фактор – экологический, который связан с концепцией устойчивого развития. Производство энергии из возобновляемых источников экологически безопасней, чем ее производство из нефти или газа. Например, получение энергии из биомассы позволяет:

- решить проблему переработки органических отходов;
- улучшить положение с парниковым эффектом, так как в отличие от нефти и газа при получении энергии из биомассы намного ниже выбросы в атмосферу CH_4 ;

Например в странах ЕС к 2010 году путем производства энергии из биомассы планируют добиться показателя снижения выбросов CO_2 - эквивалента 255 млн. тонн/год.

На территории Украины ситуация с развитием получения энергии из возобновляемых источников очень перспективна. Верховная Рада Украины в 1996 году утвердила Национальную энергетическую программу на период до 2010 года, которой предусматривается покрытие 10% нужд народного хозяйства в энергии из нетрадиционных источников энергии.

Но, несмотря на Национальную энергетическую программу, в Украине до сих пор не было ни одной большой биогазовой установки, которая бы работала. И только в декабре 2003 года была запущена большая биогазовая установка на территории компании

“Агро-овен” в селе Еленовка Днепропетровской области. Например, в 2003 году в Германии действовало 800 фермерских установок, в Австрии - 100. В том же году работали биогазовые установки, которые используют в виде сырья коммунальные сточные воды: Германия - более 4000, Франция – 150, Швеция – 134 биогазовые установки. Всего в Европе в 2003 году производило энергию 6400 биогазовых установок разного типа. В таблице 1. можно увидеть по ведущим в сфере биогазовых технологиям странам количество в них одного из типов биогазовых установок использующих в качестве сырья для получения энергии твердые бытовые отходы с полигонов.

Таблица 1.

Количество биогазовых установок в передовых странах использующих в качестве сырья твердые бытовые отходы.

Страна	Количество установок	Мощность (МВт)
Австралия	18	76
Австрия	15	22
Бразилия	7	11
Канада	15	106
Дания	23	22
Финляндия	14	12
Франция	26	30
Германия	182	270
Италия	135	362
Нидерланды	47	62
Швеция	61	55
Великобритания	151	320
США	354	2378
Всего	1048	3726

Проект в Еленовке – демонстрационный: компания “Агро-овен” выиграла тендер, проведенный в Украине правительством Нидерландов, нацеленный на предоставление технической помощи странам с переходной экономикой в сфере использования новых технологий в сельском хозяйстве. За счет работы этой биогазовой установки компания “Агро-овен” теперь может получать до 160 кВт/час электроэнергии в час, тепловую энергию (которая будет направлена на обогрев зданий компании в зимний период). Также при максимальной мощности работы установки компания сможет ежедневно перерабатывать 80 м³ жидкого гноя и получать 10-12 тонн относительно сухого зброженного остатка, который на протяжении года будет вывозиться автотранспортом и складироваться на специальном участке, а весной будет использоваться на полях компании как высококачественное удобрение.

Технический потенциал биомассы в Украине составляет примерно 20 млн тонн условного топлива. В качестве ресурса для производства энергии можно использовать органические отходы любого происхождения: многолетние свалки органических отходов (свалочный газ), органические отходы животноводства, коммунальных канализационных стоков, стоки предприятий перерабатывающей промышленности, несущие органические остатки, органические отходы сельского хозяйства и т. д.

Украина имеет большой сельскохозяйственный потенциал. Наша Херсонская область является аграрной и имеет большие перспективы. Поэтому в нашей стране

экономически целесообразно внедрять биогазовые установки для переработки органических отходов сельского хозяйства. В Таблице №2 можно увидеть энергетический потенциал биомассы разных областей Украины за 1999 год и некоторых видов продуктов сельского хозяйства.

Таблица 2

Энергетический потенциал биомассы некоторых продуктов сельского хозяйства в 1999 году.

Области Украины	Солома			Навоз			
	Валовый сбор, тыс. т	Количество тыс. т*	ЭП* тыс.т у. т.	Свиньи тыс. шт.	Птица тыс. шт.	Количество**, млн т/год.	ЭП* тыс. т у. т.
Херсонская	974	194.8	100	165	848	1.7	50.9
Луганская	736	147.2	70	75	1984	1.5	47.6
Львовская	617	123.4	60	27	1964	1.1	36.1
Николаевская	894	178.8	90	138	716	1.4	43.3
Одесская	1278	255.6	130	257	2628	2.3	74.6
Закарпатская	215	43	20	15	968	0.3	12.0
Запорожская	874	174.8	90	263	1056	2.2	67.1
Ивано-Франковская	254	50.8	20	18	944	0.5	17.3
Киевская	1344	268.8	130	270	3468	3.1	99.0

Заметка: ЭП- экономический потенциал; *-доступное для получения энергии; **- доступное для анаэробного сбраживания.

Почему же в Украине не имеющей достаточных для собственных нужд залежей нефти и природного газа не развивается так же прогрессивно как в США или Европейском Союзе добыча энергии из возобновляемых источников (особенно биомассы), хотя в том же сельском хозяйстве в каждой области нашей страны есть потенциальные ресурсы - различные органические отходы?

Ответ на этот вопрос можно найти в результатах технико – экономического обоснования биогазовой установки компании “Агро-овен” (Таблица№3).

Две основные причины из – за которых в Украине слабо развивается на практике технология получения энергии из биомассы – высокая стоимость биогазовой установки и долгий период ее окупаемости. Например, срок окупаемости биогазовой установки компании “Агро-овен” – 8,1 лет. Естественно, что украинские бизнесмены не заинтересованы вкладывать деньги в подобные проекты, потому что если учитывать еще и налоги – то прибыль от такой установки они смогут получить не скоро. В местном бюджете не планируется в ближайшее время выделять деньги на строительство таких установок.

Руководствуясь современным положением экономики нашей страны, а также тем, что у нас фактически отсутствуют биогазовые установки - правительству можно предпринять следующие шаги:

1. Мораторий по налогообложению биогазовых установок до срока окупаемости. После того как биогазовая установка окупится, налог на прибыль устанавливать не более 15%. Этот шаг позволит заинтересовать не только украинских бизнесменов, но и зарубежных инвесторов вкладывать деньги в создание в нашей стране разных типов биогазовых установок. Также рост числа биогазовых установок увеличит количество рабочих мест, что должно помочь осуществлению государственной программе по созданию в Украине 5 миллионов новых рабочих мест за пять лет. Сделав этот шаг Украина сможет развивать новый сектор рынка и получит возможность уменьшить расходы на закупку энергоносителей.

2. Предельно снизить налоги на прибыль от производства и продажи украинских комплектующих к биогазовым установкам, что позволит существенно снизить себестоимость биогазовой установки, а значит и время ее окупаемости.

3. Установить пошлину на ввоз комплектующих к биогазовым установкам из-за рубежа, для того, чтобы было выгодней их покупать в Украине и тем самым стимулировать отечественного производителя.

Таблица 3

Результаты технико – экономического обоснования биогазовой установки компании “Агро-овен”.

наименование	показатель
Капитальные затраты, тыс. \$	413,3
Эксплуатационные затраты, тыс. \$ в год	21,2
Прибыль, тыс. \$ в год	
- электроэнергия	41,4
- теплота	5,6
- минеральные удобрения (N, P, K)	25,0
Всего	72,0
Время окупаемости, лет	8,1

Article describes the modern level of development the production of energy from biomass in Ukraine. On an example of biogas installation of the company “Agro – oven” you can see the main problems which is stopped wide practical using of this clean ecological technology for production of energy in our country and given the possible way of their decision.

1. Научно - технический журнал “Экотехнологии и ресурсосбережение” №3 за 2002 год. Редактор: Е. Н. Светная. Издательский дом “Академперіодика”. Киев. Стр 3 - 11.

2. Научно - технический журнал “Экотехнологии и ресурсосбережение” №5 за 2004 год. Редактор: Е. Н. Светная. Издательский дом “Академперіодика”. Киев. Стр 3-9.

3. Журнал “Зеленая энергетика” №4 за 2004 год. Стр 11 - 13 ;17 – 19. Киев.

4. Журнал “Зеленая энергетика” №1 за 2004 год. Стр 4 – 6. Киев.

5. Статистический ежегодник Украины за 1999 год. – Киев: Техника, 2000. – 517 с.

6. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор технологий сжигания соломы с целью выработки тепла и электроэнергии // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. - № 6. – С. 3 – 11.

7. Гелетуха Г.Г., Железная Т.А. Обзор современных технологий сжигания древесины с целью выработки тепла и электроэнергии. Часть 2 //Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1998. . - № 6. – С. 3 – 13.

8. Гелетуха Г.Г., Марценюк З.А. Обзор технологий добычи и использования биогаза на свалках и полигонах твердых бытовых отходов и перспективы их развития в Украине // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 1999. - № 4. – С. 6 – 14.

ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕІНЖІНІРИНГУ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ ХАРЧОВИХ ВИРОБНИЦТВ

Лошак Т.В., Ладанюк А.П.

Перехід від адміністративної системи управління до ринкового механізму функціонування економіки об'єктивно викликає необхідність реформування фінансово-господарської діяльності харчових підприємств. Щоб вижити в сучасних умовах, підприємство повинно адаптуватись і постійно пристосовуватись до змінюваного оточення. Для цього недостатньо просто видавати керуючі накази з вершини багаторівневої ієрархії сучасного підприємства. Тут необхідний інжиніринг бізнесу. Виробництво повинно бути організовано таким чином, щоб відслідковувати постійні зміни у зовнішньому світі.

Підприємство заробляє більше грошей, якщо випускає свою продукцію настільки ефективно, наскільки це можливо. В кінцевому рахунку це означає, що треба знижувати вартість своїх бізнес-процесів, скорочувати надлишкові роботи всередині виробництва, робити труд працівників більш продуктивним шляхом покращення їх професійної підготовки та підвищення відповідальності. Підприємство підвищує свій прибуток за рахунок збільшення об'єму проданих товарів та (або) послуг. Харчове підприємство не може бути стабільним, воно повинно змінюватися постійно, щоб задовольняти запити споживачів, не поступатися конкуренту, вдосконалювати свої внутрішні процеси, розвивати діапазон запропонованих товарів та послуг і ставити перед персоналом реальні цілі, надавши для їх досягнення творчу свободу дій в певних рамках.

Отже, *інжиніринг* бізнесу направлений на організацію комерційного підприємництва на конкурентноздатній основі. Проте лише *реінжиніринг* передбачає новий спосіб мислення — погляд на побудову компанії як на інженерну діяльність [1].

Призначення кожного бізнес-процесу, що представляє собою множину внутрішніх кроків (видів) діяльності, які починаються з одного і більше входів і закінчуються створенням продукції, що необхідна клієнту, полягає в тому, щоб запропонувати клієнту товар або послугу, тобто продукцію, що задовольняє його у вартості, довговічності, сервісі та якості. Необхідність проведення *інжинірингу*, що представляє собою набір прийомів та методів, які підприємство використовує для проектування бізнесу у відповідності зі своїми цілями, можна пояснити таким чином. Найбільш фундаментальна рушійна сила кожного виробництва — потреба покращення свого фінансового положення. Іншими словами, підприємство повинно робити гроші.

Одним з ефективних підходів до реструктуризації підприємства є реінжиніринг бізнес-процесів на основі сучасних інформаційних технологій. Об'єктом реінжинірингу є процеси, а не підприємство. Підприємство проводить реінжиніринг не відділень виробництва або продажу, а здійснює реінжиніринг роботи, яку виконують люди в цих підрозділах. Тобто, *реінжиніринг* передбачає фундаментальне переосмислення та радикальне перепроєктування ділових процесів для досягнення різких, стрибкоподібних покращень у вирішальних, сучасних показниках діяльності компанії, таких, як вартість, якість, сервіс і темпи. Це визначення містить чотири ключових слова: фундаментальний, радикальний, різкий (стрибкоподібний) і процес. *Задача реінжинірингу* — фундаментальне переосмислення і радикальне перепроєктування існуючої роботи (процесів) для отримання різких (стрибкоподібних) змін (покращення в діапазоні 500-1000 і більше відсотків).

Спеціалісти розглядають інжиніринг бізнесу як загальне поняття, що включає реінжиніринг бізнес-процесів та вдосконалення бізнесу. Різниця між вдосконаленням та реінжинірингом бізнесу наведена в таблиці 1.

Таблиця 1.

Різниця між вдосконаленням та реінжинірингом бізнесу.

Назва параметру	Вдосконалення	Реінжиніринг
Рівень змін	Нарощуваний	Радикальний
Початкова точка	Існуючий процес	„Чиста дошка”
Частота змін	Неперервно/одноразово	Одноразово
Необхідний час	Короткочасний	Довгостроковий
Напрямок	Знизу-вверх	Зверху-вниз
Охоплення	Вузьке, на рівні функцій	Широке, міжфункціональне
Ризик	Помірний	Високий
Основні заходи	Статистичне управління	Інформаційні технології
Тип змін	Культурний	Культурний/структурний

Реалізація принципів реінжинірингу бізнес-процесів неможлива без використання сучасних інформаційних технологій, які, з одного боку, прискорюють зв'язки учасників бізнес-процесів, а, з другого боку, підвищують якість прийнятих рішень в ході виконання бізнес-процесів.

Стратегічна ціль інформаційних технологій — сприяти менеджменту, реагувати на динаміку ринку, створювати, підтримувати та поглиблювати конкурентну перевагу.

Яким чином нові сучасні інформаційні технології змінюють старі правила роботи компанії, наведено в таблиці 2.

Таблиця 2.

Нові ІТ, що змінюють правила роботи компанії.

Старе правило	Технологія	Нове правило
Інформація може з'являтися в один час в одному місті	Розподілені бази даних	Інформація може з'являтися одночасно в різних місцях тоді, коли вона необхідна
Складну роботу можуть виконувати лише експерти	Експертні системи	Роботу експерта може виконувати спеціаліст із загальних питань
Необхідно обирати між централізацією і децентралізацією	Телекомунікаційні мережі	Можна одночасно отримувати переваги від централізації та децентралізації
Всі рішення приймають менеджери	Засоби підтримки прийняття рішень, доступ до БД, засоби моделювання	Прийняття рішень стає частиною роботи кожного співробітника (ієрархічне прийняття рішень)
Спеціалістам для отримання, зберігання і передачі інформації необхідний офіс	Безпроводний зв'язок та переносні комп'ютери	Спеціалісти можуть посилати та отримувати інформацію з того місця, де вони знаходяться
Найкращий контакт з потенційним покупцем — особистий контакт	Інтерактивний відеодиск	Найкращий контакт з потенційним покупцем — ефективний контакт
Для того, щоб знайти деяку сутність, необхідно знати, де вона знаходиться	Технологія автоматичного індексування та відслідковування	Сутності говорять вам, де вони знаходяться
План переглядається періодично	Високопродуктивні ЕОМ	План переглядається оперативно, по мірі необхідності

У визначенні реінжинірингу підкреслюється вирішальна роль перепроєктування бізнес-процесів. Фундаментальна зміна бізнес-процесів впливає майже на всі аспекти компанії.

Підприємство може бути представлено у вигляді ромбу (рис.1) з вершинами: бізнес-процеси; роботи і структури; системи управління та оцінок; переконання та цінності. Вершина 1 ромбу відповідає бізнес-процесам підприємства, тобто способу, яким робота виконується. Вершина 2 визначає вершину 1, яка характеризує природу виконуваних робіт і то, як люди організовані для виконання робіт. В традиційній компанії процеси розбиті на прості роботи, що виконуються функціональними підрозділами. В новій компанії процес розбивається на складні (багатопланові) роботи, що виконуються командами процесів.

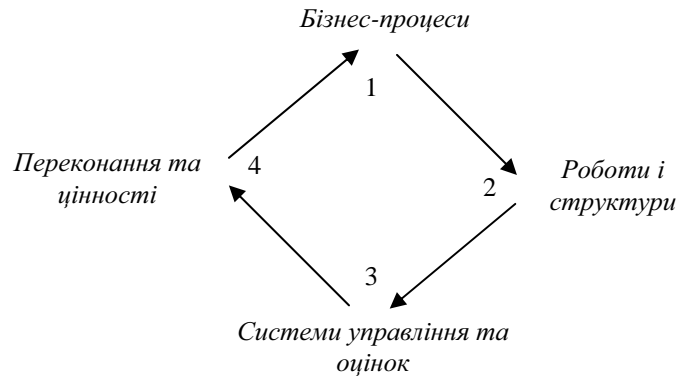


Рис.1. Компоненти бізнес-системи

Для того, щоб люди, що виконують роботу, були зацікавлені у задоволенні потреб клієнтів у товарах або послугах, необхідні продумані системи управління та оцінок (вершина 3), а також механізми формування системи цінностей та переконань співробітників (вершина 4). Системи управління та оцінок визначають, як оцінюється ефективність роботи і як оплачується робота. Цінності та переконання співробітників повинні сприяти ефективному виконанню процесів. В свою чергу, система переконань і цінностей впливає на процеси компанії (вершина 1).

Отже, для успішного функціонування харчового підприємства всі чотири аспекти бізнес-системи повинні бути узгоджені. З урахуванням вище викладеного, можна виділити такі наслідки реінжинірингу.

1. Перехід від функціональних підрозділів до команд процесів.

Реінжиніринг пропонує альтернативний підхід, що полягає не в розділенні людей по підрозділам, а в об'єднанні людей в команди процесів, тобто в групи людей, що виконують спільно закінчену частину роботи — процес.

2. Робота виконавця змінюється від простої до багатопланової.

Член команди на відміну від співробітника традиційного підрозділу, що відповідає за окремі завдання (частини процесу), несе разом з іншими членами команди відповідальність за весь процес, що вимагає умінь не лише виконувати своє завдання, але і розуміти весь процес в цілому і вміти при необхідності виконувати не одне, а декілька завдань.

3. Вимоги до працівників змінюються: від контрольованого виконання підписаних завдань до прийняття самостійних рішень.

Підприємство, що завершило реінжиніринг, вимагає, щоб його співробітники не виконували написані правила, а пропонували свої, тобто члени команди мають право приймати свої рішення.

4. Змінюються вимоги до підготовки співробітників: від курсів навчання до освіти.

5. Змінюється оцінка ефективності роботи та оплата праці: від оцінки діяльності до оцінки результату.

Оплата праці співробітника визначається не стільки часом, проведеним на роботі та посадою, скільки ефективністю його роботи, що оцінюється за кінцевим результатом. Базова зарплата співробітника змінюється мало, нагороду за високу ефективність він отримує у вигляді премій.

6. Критерій просування за посадою змінюється: від ефективності виконання роботи до здатності (вміння) виконувати роботу.

Принцип компанії повинен бути таким: „платимо за ефективність, просуваємо за здібності”.

7. Змінюється ціль виконавця: від задоволення потреб начальника до задоволення потреб клієнтів.

8. Функції менеджерів змінюються від контрольованих до тренерських.

В результаті реінжинірингу бізнес-процеси стають простішими, а окремі завдання (кроки) процесу, стають складнішими для виконавця. Оскільки команда повністю відповідає за виконання свого процесу, усувається управлінський вплив на виконавців з боку менеджерів, вони допомагають лише членам команди вирішувати проблеми, що виникають під час виконання процесу, тобто виконують функцію тренера.

9. Організаційна структура підприємства змінюється від ієрархічної (багаторівневої) до більш „плоскої”.

Після проведення реінжинірингу значно скорочується робота, що виконується менеджерами, змінюється характер. В традиційній компанії менеджер працює не більш ніж з 7-ю підлеглими менеджерами або виконавцями. Менеджер, що виконує тренерські функції, може працювати з 30-ма людьми, що скорочує кількість управлінських рівнів.

10. Адміністративні функції змінюються від секретарських до лідируючих.

Зменшення кількості управлінських рівнів в ієрархічній структурі наближає адміністрацію до безпосередніх виконавців і клієнтів. Адміністрація повинна виконувати функції лідера, що словом та діями сприяє укріпленню переконань і цінностей.

Традиційне ієрархічне функціональне підприємство має менеджерів декількох рівнів (наприклад, верхній, середній, лінійний). В основі ієрархії, там, де виконується майже вся робота, знаходяться виконавці, що обслуговують клієнтів. Клієнти виявляються практично „на дні” структури (рис.2). В новому підприємстві клієнти знаходяться не знизу, а збоку від виробництва, якщо б вони були рівноправними партнерами; безпосередні виконавці, що взаємодіють з клієнтами, є операторами процесів; менеджери середнього рівня є керівниками груп, що відповідають за відповідні процеси (керівники процесів).

Для оцінки фінансово-господарської діяльності харчового підприємства в якості інтегрального критерію обирається максимізація сумарного прибутку підприємства в результаті оптимального розподілу об’ємів виробництва за видами діяльності при заданих обмеженнях на виробничі потужності та фінансові ресурси [2]:

$$Mrg = \sum_i (P_i - C_i) \cdot V_i \rightarrow \max, \quad (1)$$

де Mrg — прибуток підприємства;
 P_i — ціна одиниці i -го виду продукції;
 C_i — собівартість i -го виду продукції;
 V_i — об’єм виробництва i -го виду продукції.

$$\sum_i V_i \leq V^*, \quad (2)$$

де V^* — виробнича потужність підприємства.

$$\sum_i C_i \cdot V_i \leq F^*, \quad (3)$$

де F^* — сумарні фінансові ресурси підприємства.

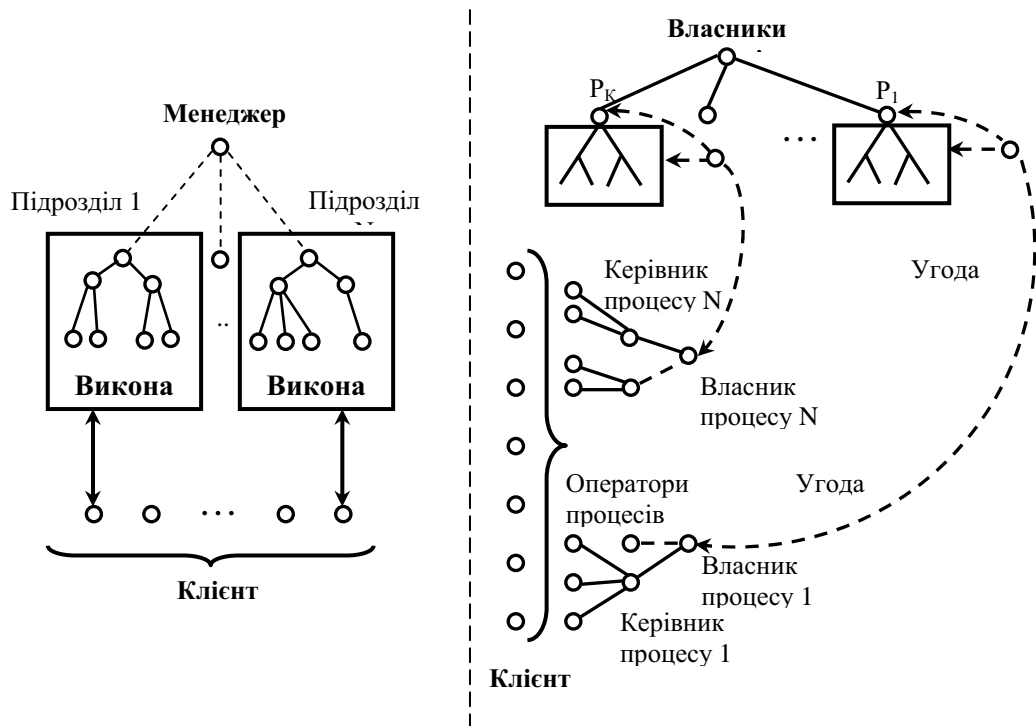


Рис.2. Структура старого (зліва) і нового (справа) підприємства

Таким чином, для значного покращення показників фінансово-господарської діяльності харчових підприємств необхідно проведення комплексу організаційно-технічних заходів по вдосконаленню технологічної, інвестиційної політики і моделей управління бізнесом, який складає процес реструктуризації підприємств. В зв'язку з цим зростає значення розробки науково обґрунтованої методології реструктуризації підприємств, що базуються на використанні математичних та інструментальних методів моделювання фінансово-господарської діяльності.

The concepts "business process", "engineering" and "reengineering" are considered. The conducted analysis of influence of information technologies on business processes reengineering. The consequences of realization reengineering on production are analysed.

1. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Реинжиниринг бизнеса: Реинжиниринг организаций и информационные технологии. — М.: Финансы и статистика, 1997. — 336 с.: ил.
2. Тельнов Ю.Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов. Компонентная методология. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2004. — 320 с.: ил.
3. Алексейчук А.Е., Гребенюк Е.А., Ицкович Э.Л. Современные интегрированные АСУП: их выбор для конкретных предприятий. // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2003. — № 6. — С.14-18.
4. Никитин В.А. Особенности систем менеджмента качества инжиниринговых фирм, соответствующих Международным стандартам ISO сер. 9000:2000. // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2003. — № 5. — С.5-8.
5. Плескач Н.В., Блохинцев Е.А. Средства, системы, инжиниринг для АСУТП. // Промышленные АСУ и контроллеры. — 2001. — № 12. — С.7-9.

РЕФЕРАТЫ

Астионенко И.А., Гучек П.И., Литвиненко Е.И., Хомченко А.Н. Моделирование физических полей с распределенными параметрами в многоугольных областях. – С. 5 - 11.

На дискретном элементе в форме правильного пятиугольника показано существование альтернативных базисов: построено две системы полиномиальных функций алгебраическим и геометрическим методами и дробно-рациональный базис. Проведена проверка базисных функций на гармоничность согласно дифференциального критерия и интегральных критериев, дана вероятностная формулировка критерия гармоничности на пентагоне. Полученные результаты представляют интерес в задачах теории граничных потенциалов.

Марасанов В.В., Корень Е.В. Применение законов Кирхгофа для расчета тепло-массообменных процессов в электрических машинах. – С. 12 - 19.

Рассмотрена возможность сведения электрической машины к схеме замещения и использования для расчетов тепловых потоков законов Кирхгофа. Учтены два способа представления: с помощью тепловых сопротивлений и с помощью тепловых проводимостей.

Становский А.Л., Кухаренко С.В., Колчин Р.В. Оценка адекватности аналитической модели управления запасами материальных ресурсов в многоуровневой логистической системе. – С. 20 - 25.

В статье представлен один из возможных подходов к оценке адекватности аналитической модели управления запасами материальных ресурсов в многоуровневой логистической системе.

Завальнюк И.П., Бражник А.М., Завальнюк О.П. Моделирование динамики выхода технологического аппарата из критического режима эксплуатации. – С. 26 - 31.

Рассматривается поведение динамической системы с малой диссипацией энергии при различном характере снятия нагрузки. Установлено, что в системе может произойти мощный удар из-за резкого снятия управления. Определен закон изменения управления, гарантирующий отсутствие ударных нагрузок в системе при выходе её из критического режима.

Русанов С., Луняка К., Карманов В. Математичне моделювання процесу віброкипіння сипких середовищ. – С. 32 - 40.

Розглянемо апарати з віброкиплячим шаром як об'єктів управління. На математичній моделі показано, що необхідна ретельна перевірка режимів роботи по визначенню можливої наявності недопустимих зон віброзрідження, відкликів на зміну вхідних параметрів та можливого виходу системи за межі гранично припустимих режимів роботи.

Бражник Д.А. Использование проективного преобразования для автоматизации обнаружения объектов. – С. 41 - 46.

Рассмотрена формализация задачи фрагментации при анализе изображения сцены. Обоснована целесообразность формирования матрицы проекций как инструмента решения задачи выделения фрагментов и их позиционирования. Приведена процедура фрагментирования сцены и результаты моделирования системы.

Рожков С.О., Федотова О.М. Алгоритм розпізнавання дефектів тканин для автоматичної системи контролю якості. – С. 47 - 59.

Розроблено алгоритм розпізнавання дефектів тканин для автоматичної системи контролю якості. Показано, що відмова від довгих операцій в алгоритмі розпізнавання забезпечує достатню швидкодію системи розпізнавання дефектів в умовах виробництва при роботі в режимі реального часу.

Полякова М.В., Крылов В.Н. Мультифрактальный метод автоматизированного распознавания помех на изображении. – С. 60 - 69.

Предложен мультифрактальный метод распознавания помех на изображениях.

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В. Модель измерителя емкости с линейной шкалой измерений. – С. 70 - 74.

В данной статье рассматриваются возможность и аспекты построения измерителей емкости, предложены принцип построения цифровых измерителей с линейной шкалой измерений, алгоритм управления и схема резонансного измерителя емкости.

Корниенко-Мифтахова И.К., Филоненко С.Ф. Информационно-измерительная система для анализа характеристик динамического поведения конструкций. – С. 75 - 83.

Рассмотрены принципы построения и структура системы для исследования динамических характеристик конструкций, а так же результаты ее применения при испытаниях мостов. Показано, что разработанная система и методика анализа динамических характеристик конструкций позволяет обрабатывать параметры, как форм, так и спектров возникающих колебаний с использованием датчиков ускорения, скорости и смещения.

Тищенко И.А., Лубяный В.З. Управление коммутационными процессами в интегрированных сетях связи. – С. 84 - 89.

В статье анализируются методы выполнения коммутации в мини-АТС. Рассмотрена математическая модель работы мини-АТС, представляющая из себя систему массового обслуживания с отказами. Найдена связь между вероятностью отказа $P_{отк}$ и количеством портов для мини-АТС, которая как показано значительно отличается от классической задачи Эрланга. Кривые данной зависимости приведены на графике. Рассмотрены возможности реализации цифровой коммутации сигналов на микросхемах для реализации конференций и DSP. Предложена структурная схема программного модуля организации конференций на DSP.

Сидорук М.В., Сидорук В.В. Информационные системы управления корпорацией в решении задач разработки бюджета. – С. 90 - 98.

Рассмотрены вопросы информационной поддержки принятия решений в системе управления корпорацией. Сформулированы основные положения построения ИСУ корпорацией через бюджетирование структурных подразделений и дочерних предприятий. Предложены элементы соответствующей информационной технологии.

Ходаков В.Е., Граб М.В., Ляшенко Е.Н. Структура и принципы функционирования системы поддержки принятия решений при ликвидации лесных пожаров на базе новых геоинформационных технологий. – С. 99 - 104.

В статье предлагается описание структуры и принципов функционирования системы поддержки принятия решений во время ликвидации лесных пожаров. Система состоит из двух подсистем: подсистемы мониторинга лесных пожаров и подсистемы формирования оптимальных планов тушения. При разработке этой системы были использованы новые геоинформационные технологии.

Петрушенко А.М., Хохлов В.А., Петрушенко І.А. Про підключення до мови САА/Д деяких засобів паралельного програмування пакету МРІСН. – С. 105 - 113.

У роботі мова САА/Д – вхідна мова діалогової трансформаційної машини (ДТМ) – розширюється деякими засобами паралельних обчислень модифікованих алгебр Глушкова, до яких (засобів) підключені відповідні їм засоби паралельного програмування пакету МРІСН. Можливості ДТМ по синтезу розподілених додатків для кластерів демонструються на прикладі.

Водічев В.А. Порівняльний аналіз швидкодії алгоритмів керування у системі оптимізації технологічного процесу металообробки. – С. 114 - 119.

Проведено порівняльний аналіз тривалості пошуку швидкості подачі, що відповідає екстремуму показника енергетичної ефективності у системі оптимізації процесу силового шліфування на верстаті з круглим столом і вертикальним шпинделем. Наведені результати дослідження системи керування на математичній моделі.

Кириллов О.Л., Якимчук Г.С. Оптимальное управление технологическим процессом заполнения слабопроводящими заряжающимися жидкостями (СПЗЖ) замкнутых объемов. – С. 120 - 131.

В работе рассмотрена взаимосвязь балансов электростатического поля (ЭСП) при накопления зарядов на поверхности и внутри СПЗЖ и гидродинамического процесса заполнения замкнутого объема.

Исаев Е.А., Чернецкая И.Е., Завальнюк О.П. К вопросу принятия решений при оптимизации гранулирования рыбной муки в барабане. – С. 132 - 137.

Рассматриваются вопросы принятия решений при оптимизации процесса окомкования путем изучения режима перемещения материала в окомкователе. Исследуется поведение сыпавшегося материала в виде трехгранной призмы. Найдена связь между частотой вращения гранулятора и параметрами комкуемого материала.

Лебеденко Ю.А. Исследование непосредственного преобразователя частоты с оптимальным управлением. – С. 138 - 144.

Разработан алгоритм оптимального управления высокочастотным непосредственным преобразователем частоты, обеспечивающий формирование выходного напряжения, минимально отличающегося от напряжения задания, при заданном токе и частоте.

Бобриков С.А., Пичугин Е.Д. Коррекция нелинейной характеристики типа «реле с зоной нечувствительности». – С. 145 - 147.

Рассмотрены вопросы обеспечения коррекции характеристик систем с нелинейными элементами.

Ситников В.С., Брус А.А. Анализ коэффициентов перестраиваемого цифрового фильтра нижних частот второго порядка. – С. 148 - 153.

Освещен синтез цифрового перестраиваемого фильтра и анализ его коэффициентов. Рассмотрена возможность масштабной перестройки за счет частоты дискретизации и коэффициентов фильтра. Указаны условия отсутствия колебательности и резонансного пика АЧХ фильтра.

Ладанюк А.П., Кишенько В.Д., Ладанюк О.А. Системна задача управління біотехнологічними процесами. – С. 154 - 158.

Наведено результати системного аналізу біотехнологічного процесу як складної системи, в якій можна виділити ряд рівнів з відповідною деталізацією взаємодії окремих

складових. Показано, що при створенні системи керування основним підходом є використання принципів самоорганізації та адаптації (синергетичний підхід). Такі системи використовують мінімальні за величиною сигнали керування, які переводять процес у бажану точку.

Ковальов В.М., Білоха Д.О. Облік енергії з урахуванням вищих гармонік. – С. 159 - 163.

В статті проведений аналіз існуючих методик обліку електроенергії в несинусоїдальному режимі. Запропонована нова методика, яка ґрунтується на понятті вторинної потужності і дозволяє оцінити внесок споживача і енергосистеми в погіршення якості електроенергії. Стаття може бути корисною широкому колу вчених та інженерів, які займаються питаннями енергозбереження і якості електричної енергії.

Головащенко Н.В., Рудакова Г.В., Саратовцева І.В. Енергосистема як об'єкт управління з фрактальною структурою.. – С. 164 - 170.

Ета стаття кається вопросу предотвращения катастроф в энергосетях. Согласно названию в статье описывается энергосистема как объект управления с фрактальной структурой. Подробно описывается фрактальность структуры системы. Большое внимание уделяется моделированию системы в непрерывном виде. Такое моделирование позволяет определять точку возникновения катастрофы. Особенно отмечается минимально короткое время поиска зарождения катастрофы. Результаты моделирования представлены в статье. Также представлены меры по предотвращению энергетической катастрофы.

Купцова Е.Е., Деменский А.Н., Быря А.П. Научно-технический прогресс и возобновляемые источники энергии. – С. 171 - 174.

В статье раскрывается современный уровень развития получения энергии из биомассы в Украине. На примере биогазовой установки компании “Агро-Овен” показаны основные проблемы тормозящие широкое практическое применение данной экологически чистой технологии получения энергии в нашей стране и приведен возможный путь их решения.

Лошак Т.В., Ладанюк А.П. Ефективність реінжинірингу бізнес-процесів харчових виробництв. – С. 175 - 179.

Розглянуто поняття „бізнес-процес”, „інжиніринг” та „реінжиніринг”. Проведений аналіз впливу інформаційних технологій на реінжиніринг бізнес-процесів. Проаналізовано наслідки проведення реінжинірингу на виробництві.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Астионенко И.А. - старший преподаватель кафедры высшей математики, аспирант кафедры прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета

Бараненко Р.В. - аспирант, ассистент кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета

Билоха Д.А. - аспирант, Харьковская национальная академия городского хозяйства

Бобриков С.А. - Одесский национальный политехнический университет

Бражник А.М. - кандидат техн. наук, доцент, зав. каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Бражник Д.А. - ассистент кафедры «Техническая кибернетика», Херсонский национальный Технический Университет

Брус А.А. - Аспирант кафедры "Компьютерные системы", Одесский национальный политехнический университет

Водичев В.А. - заведующий кафедрой электромеханических систем с компьютерным управлением Одесского национального политехнического университета, доктор техн. наук

Головащенко Н.В. - аспирант каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Граб М.В. - старший преподаватель кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета, кандидат техн. наук

Гучек П.И. - кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой социально-гуманитарных и фундаментальных дисциплин Херсонского филиала Европейского университета

Деменский А.Н. - студент, Херсонский национальный технический университет

Завальнюк И.П. - аспирант кафедры «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Завальнюк О.П. - ассистент кафедры «Судовые электрические системы и автоматика судов», Херсонский морской институт

Исаев Е.А. - доктор технических наук, профессор кафедры «Техническая кибернетика» Херсонского национального технического университета

Карманов В. - кандидат техн. наук, доцент кафедры “Сельскохозяйственного машиностроения”

Кириллов О.Л. - преподаватель Херсонского политехнического колледжа, Одесского национального технического университета, соискатель кафедры электротехники Херсонского государственного технического университета

Кишенько В.Д. - Национальный университет пищевой промышленности

Ковалёв В.Н. - кандидат техн. наук, доцент, Харьковская национальная академия городского хозяйства

Колчин Р.В. - преподаватель кафедры военной кибернетики и информатики Одесского ордена Ленина института Сухопутных войск

Корень Е.В. - аспирант кафедры экономической кибернетики, Херсонский государственный аграрный университет

Корниенко-Мифтахова И.К. - Национальный авиационный университет г. Киев

Крылов В.Н. - доктор техн. наук, профессор кафедры прикладной математики и информационных технологий в бизнесе, Институт бизнеса, экономики и информационных технологий, Одесский национальный политехнический университет

Купцова Е.Е. - кандидат экон. наук, доцент Межрегиональной академии управления персоналом

Кухаренко С.В. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового и химического машиностроения Одесского национального политехнического университета

Ладанюк А.П. - зав. кафедрой автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевой промышленности, профессор, доктор техн. наук

Ладанюк О.А. - Национальный университет пищевой промышленности

Лебеденко Ю.А. - старший преподаватель каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Литвиненко Е.И. - кандидат технических наук, доцент кафедры прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета

Лошак Т.В. - доцент кафедры автоматизации и компьютерно-интегрированных технологий Национального университета пищевых технологий, кандидат техн. наук

Лубяный В.З. - доктор техн. наук, профессор, зав. каф. Электронного машиностроения Херсонского национального технического университета

Луняка К. - доктор технических наук, зав. кафедрой “Оборудования химических производств и предприятий строительных материалов”

Ляшенко Е.Н. - младший научный сотрудник кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета, магистр

Марасанов В.В. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой экономической кибернетики, Херсонский государственный аграрный университет

Петрушенко А.М. - кандидат физ. мат. наук, доцент кафедры информационных технологий Херсонский национальный технический университет

Петрушенко И.А. - студент, Херсонский национальный технический университет

Пичугин Е.Д. - Одесский национальный политехнический университет

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

Рожков С.А. - кандидат техн. наук, доцент каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Рудакова А.В. - кандидат техн. наук, доцент каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Русанов С. - аспирант кафедры “Оборудования химических производств и предприятий строительных материалов”

Саратовцева И.В. - студент каф. «Техническая кибернетика», Херсонский национальный технический Университет

Сидорук В.В. - Херсонский национальный технический университет

Сидорук М.В. - доцент кафедры экономической кибернетики Херсонского национального технического университета

Ситников В.С. - доктор технических наук, доцент, профессор кафедры "Компьютерные системы", Одесский национальный политехнический университет

Становский А.Л. - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой нефтегазового и химического машиностроения Одесского национального политехнического университета

Тверезовский В.С. - кандидат технических наук, доцент кафедры Информационных технологий Херсонского национального технического университета

Тищенко И.А. - Херсонский национальный технический университет

Федотова О.Н. - кандидат техн. наук, доцент каф. «Техническая кибернетика», Херсонский Национальный Технический Университет

Филоненко С.Ф. - Национальный авиационный университет г. Киев

Ходаков В.Е. - заслуженный деятель науки и техники, заведующий кафедрой Информационных технологий Херсонского национального технического университета, доктор техн. наук, профессор

Хомченко А.Н. - заслуженный деятель науки и техники, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и математического моделирования Херсонского национального технического университета

Хохлов В.А. - старший преподаватель кафедры информационных технологий Херсонский национальный технический университет

Чернецкая И.Е. - кандидат технических наук, доцент кафедры «Информационная вычислительная техника» Курского государственного технического университета

Якимчук Г.С. - кандидат технических наук, доцент кафедры технической кибернетики Херсонского государственного технического университета

ВНИМАНИЮ АВТОРОВ ЖУРНАЛА!

ТРЕБОВАНИЯ К РУКОПИСЯМ СТАТЕЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ЖУРНАЛА «АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦИЯ. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ»:

1. Тексты статей (до 10 стр.) представляются в электронном и печатном виде. Аннотации - на украинском, русском и английском языках, экспертное заключение о возможности опубликования, рецензия. Сведения об авторах должны включать: Ф.И.О., адрес, телефон (домашний и служебный), место работы, научные степень и звание, должность.

2. Статьи должны отражать (Постановление ВАК Украины № 7-06/1 от 15 января 2003г.): постановку проблемы в общем виде и ее связь с важными научными практическими заданиями; анализ последних исследований и публикаций; выделение нерешенных ранее частей общей проблемы, которым посвящается данная статья; формулировку целей статьи; изложение основного материала исследования с обоснованием полученных научных результатов; выводы и перспективы дальнейших исследований в данном направлении.

3. Материалы, полученные некомплектно, оформленные небрежно и не в соответствии с настоящими правилами, редколлегией не рассматриваются.

4. Авторы представляют в редакцию текст статьи и аннотации в виде файла формата Microsoft Word на дискете 3,5 дюйма.

ТРЕБОВАНИЯ К ТЕКСТОВОМУ ФАЙЛУ.

Страницы: размер бумаги - 210 x 297 мм (A4), без нумерации, переносы не допускаются.

Поля: верхнее – 2 см, нижнее – 2 см, правое – 2 см, левое – 2,5 см.

Шрифт – Times New Roman. Интервал – одинарный.

Материалы представляются в следующем порядке:

- **УДК.** Шрифт – 12 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по левому краю, интервал после – 12 пт.
- **Название статьи.** Шрифт – 14 пт., прописные. Абзац – без отступов, выравнивание по центру.
- **Фамилии и инициалы авторов.** Шрифт – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 12 пт.
- **Текст статьи.** Шрифт – 12 пт. Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине.
- **Литература.** Слово «ЛИТЕРАТУРА»: шрифт – 12 пт, прописные; абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до -12 пт., после – 6 пт. Список источников: нумерованный список, шрифт – 12 пт.; абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине. Список источников оформляется в соответствии с требованиями ВАК Украины.
- **Рисунки.** Формат – Рисунок Microsoft Word, объект Corel Draw (версия не старше 10, текст должен быть преобразован в кривые) или точечный рисунок. Положение рисунка – в тексте. Под рисунком располагается надпись вида: «Рис. 1 Название рисунка». Абзац – без отступов, выравнивание по центру, интервал до и после – 6 пт.
- **Формулы.** Набираются в редакторе формул Microsoft Equation 3.0. параметры настройки редактора: обычный – 12 пт., крупный индекс – 7 пт., мелкий индекс – 5 пт., крупный символ – 18 пт., мелкий символ – 12 пт. Абзац – без отступов, выравнивание по центру. Справа от формулы в скобках указывается её порядковый номер.
- **Таблицы.** Формат – Microsoft Word или Excel. Над таблицей справа указывается номер таблицы вида: «Таблица 1». Ниже, по центру, размещается её название. Интервал до и после – 6 пт.
- **Аннотации.** Абзац – 1,25 см, выравнивание по ширине, интервал до и после – 6 пт. Аннотации представляются на украинском, русском и английском языках. Шаблон документа для оформления материалов можно взять в редакции.

Научно-технический журнал для публикации принимает работы по следующим научным направлениям:

- моделирование объектов и систем управления
- информационно-измерительные системы
- информационно-управляющие комплексы и системы
- оптимальное управление объектами и системами
- методы построения адаптивных систем управления
- цифровые и дискретные системы управления
- современные технические средства, комплексы и системы
- энергетический менеджмент
- экономика научно-технического прогресса

Научно-технический журнал "Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы" приглашает к сотрудничеству организации на взаимовыгодных условиях. Журнал имеет общегосударственную сферу распространения.

Обращаться по адресу:

73008, г. Херсон, Бериславское шоссе, 24
ХНТУ, Редакция журнала ААЭК
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, ХНТУ, Редакция журнала ААЭК
E-mail: aaecs@yandex.ru, app@kstu.edu.ua
Справки по телефонам: (0552) 552968, 326937