

ISSN 2076-2887

МИНИСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

---

**АВТОМАТИКА  
АВТОМАТИЗАЦІЯ  
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ  
КОМПЛЕКСИ ТА  
СИСТЕМИ**

**№ 2(24) 2009**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ  
УКРАЇНСЬКА АСОЦІАЦІЯ З АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ  
НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦІЯ.  
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ

*видання Херсонського національного технічного університету*

**№ 2(24)**

**ХЕРСОН**

**2009**

*Засновано в липні 1997 р.*

*Виходить два рази на рік*

Засновник: Херсонський національний технічний університет

**ПРИ ПІДТРИМЦІ**

Одеського національного політехнічного університету  
Національного технічного університету України «КПІ»  
Національного авіаційного університету  
Одеської державної академії холоду  
Дніпродзержинського державного технічного університету  
Придніпровської державної академії будівництва і архітектури  
Національного університету біоресурсів і природокористування України  
Українського державного хіміко-технологічного університету  
Національного університету харчових технологій  
Української інженерно-педагогічної академії  
Національного університету кораблебудування ім. Адм. Макарова  
Національного лісотехнічного університету  
Сумського державного університету  
Київського національного університету будівництва і архітектури  
Київського національного університету технологій і дизайну  
Тернопільського державного технічного університету ім. Івана Пулюя  
Тернопільського національного економічного університету  
Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту  
Херсонського державного аграрного університету

**РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ**

Головний редактор: Тодорцев Ю.К.

Редактор: Бражник О.М.

Заступник головного редактора: Хомченко А.Н.

Члени редколегії: Аркадьєв В.Ю., Бардачов Ю.М., Бойко В.І., Боличовцев О.Д., Гаврилук В.І., Герасімяк Р.П., Гогунський В.Д., Дубинець Л.В., Еріванцев І.М., Живица В.І., Карпінський М.П., Ковриго Ю.М., Кондратенко Ю.П., Кузнецов Б.І., Ладанюк А.П., Лубяний В.З., Лут М.Т., Максимов М.В., Марасанов В.В., Михайлик В.Д., Мішин В.І., Павлов О.А., Праховнік А.В., Радімов С.М., Рогальський Ф.Б., Садовой О.В., Сарібеков Г.С., Сис В.Б., Смолін Ю.О., Соколова Н.А., Теленик С.Ф., Тришкін В.Я., Труш В.Є., Ходаков В.Є., Червяков В.Д., Шарко О.В., Шикалов В.С., Шмат К.І., Яськів В.І.

Відповідальний секретар: Лебеденко Ю.О.

Підписано до друку згідно рішення Вченої ради ХНТУ, протокол №3 від 27.10.09 р.

Ум. друк. арк. 14,8

Наклад - 200 прим.

Формат 60x84 1/8

Офсетний друк

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 2997 від 10.12.1997 р.

© Херсонський національний технічний університет

## ЗМІСТ

### МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

<u>Кириллов О.Л., Якимчук Г.С.</u> Моделирование процесса управления системой перегрузки углеводородных жидких топлив .....	5
<u>Тодорцев Ю.К., Ларіонова О.С., Бундюк А.М.</u> Математична модель контура теплопостачання когенераційної енергетичної установки.....	8
<u>Семяков Е.Б.</u> Моделирование требований к техническим системам методами математической логики .....	12
<u>Хомченко А.Н., Литвиненко Е.И.</u> Метод барицентрического усреднения граничных потенциалов электростатического поля.....	17
<u>Шейник С.П., Рудакова А.В.</u> Использование функций принадлежности для моделирования параметров распределенных объектов .....	20
<u>Яшина К.В., Садовой А.В.</u> Комплексная математическая модель тепловых процессов, происходящих в дуговых электросталеплавильных печах .....	26

### ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

<u>Голощанов С.С., Петровский А.В., Рожко Ж.А., Боярчук А.И.</u> Измерение добротности колебательного контура на основе метода биения частот.....	33
<u>Завгородній А.Б.</u> Порівняльне дослідження твердотільних і рідиннофазних об'єктів методом газорозрядної візуалізації .....	38
<u>Клименко А.К.</u> Обратная модель для решения задач в системах с многосвязными динамическими объектами .....	43
<u>Дидык А.А., Фефелов А.А., Литвиненко В.И., Шкурдода С.В., Синяков Ф. В.</u> Классификация масс-спектров с помощью кооперативного иммунного алгоритма.....	50
<u>Рашкевич Ю.М., Ковальчук А.М., Пелешко Д.Д.</u> Афінні перетворення в модифікаціях алгоритму RSA шифрування зображень.....	59
<u>Биленко М.С., Рожков С.А., Единович М.Б.</u> Идентификация деформаций периодических структур с использованием систем технического зрения .....	66
<u>Руднева М.С., Кочеткова О.В., Задорожній Р.О.</u> Принципи побудови оптимальної структури інформаційно-вимірювальної системи геометричних розмірів об'єктів в діапазоні від 1 нм до 1000 нм. ....	71
<u>Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.</u> Оптимизированная модель измерителя добротности варикапов .....	75

### ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ

<u>Касаткина Н.В., Таянский С.С., Филатов В.А.</u> Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем .....	80
<u>Кучеров Д.П., Копылова З.Н.</u> Принципы построения интеллектуального авторулевого .....	87
<u>Ляшенко Е.Н.</u> Анализ пожарной опасности сосновых насаждений в зоне Нижнеднепровских песков – самой большой пустыни в Европе.....	94

<b><u>Львов М.С.</u></b> Алгоритм перевірки правильності границь змінення змінних у послідовних програмах .....	99
<b><u>Еременко А.П., Передерий В.И.</u></b> Принятие решений в автоматизированных системах с учетом психофункциональных характеристик оператора на основе генетических алгоритмов .....	106
<b><u>Селякова С.М.</u></b> Структура інтелектуальної системи управління збиральною кампанією .....	115
<b><u>Теленик С.Ф., Ролік О.І., Букасов М.М., Римар Р.В., Ролік К.О.</u></b> Управління навантаженням і ресурсами центрів оброблення даних при виділених серверах.....	122
<b><u>Цмоць І. Г., Демида Б.А., Подольський М.Р.</u></b> Методи проектування спеціалізованих комп'ютерних систем управління та обробки сигналів у реальному часі .....	137

### **ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТА СИСТЕМАМИ**

<b><u>Писаренко А.В., Дробот І.Ю.</u></b> Алгоритм синтезу систем зі змінною структурою у ковзному режимі.....	147
<b><u>Ладієва Л.Р., Дубік Р.М.</u></b> Оптимальне керування процесом контактної мембранної дистиляції .....	152
<b><u>Ладанюк А.П., Кроніковський Д.О.</u></b> Екстремальна адаптивна система з непараметричною ідентифікацією та багатопараметричним регулятором.....	157
<b><u>Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В.</u></b> Модель нечіткого виводу для оптимального управління перетворювачем частоти в системах автономного живлення.....	162
<b><u>Тимченко В.Л.</u></b> Формирование динамических принципов управления подвижным объектом на основе метода структурно — переключаемых обратных связей.....	168

### **МЕТОДИ ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ**

<b><u>Михайленко В.С., Ложечников В.Ф.</u></b> Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора.....	174
---	-----

### **СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ**

<b><u>Стопакевич А.А., Тодорцев Ю.К.</u></b> Анализ современного состояния систем управления брагоректификационными установками спиртового производства .....	180
---	-----

<b><u>АНОТАЦІЇ</u></b> .....	184
------------------------------	-----

<b><u>АННОТАЦИИ</u></b> .....	191
-------------------------------	-----

<b><u>SUMMARY</u></b> .....	197
-----------------------------	-----

<b><u>ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ</u></b> .....	202
---	-----

## МОДЕЛЮВАННЯ ОБ'ЄКТІВ І СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

УДК 681.518.52:544.023.523 002.56

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ СИСТЕМОЙ ПЕРЕГРУЗКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКИХ ТОПЛИВ

Кириллов О.Л. , Якимчук Г.С.

#### Введение

После отработки технологий получения из нефти продуктов методом крекинг - перегонки столкнулся с проблемой доставки этих продуктов, складирования и распределения. Ряд неудач в вопросах перегрузки по емкостям определил проблему управления этим процессом. Исследования выявили, что характер этого физического процесса напрямую зависит от поведения генерируемого зарядами электростатического поля (ЭСП), а разрешение проблемы следует искать в изучении параметров этого поля и влиянии внешних факторов на его поведение. Результат работ в этом направлении позволил получить безопасные программы перегрузки, однако они не удовлетворяют экономическим и временным требованиям развития современных технологий.

В сложившемся противоречии скорости и безопасности транспортирования нефтепродуктов развитие вопроса оптимизации технологии систем перегрузки становится актуальным и требует современного решения в условиях глобального кризиса. Разрешение совокупности этого вопроса и других позволит ускорить выход страны на более высокий уровень развития.

#### Постановка задачи

Смоделировать процесс функционирования и исследовать адаптивную систему автоматического управления перегрузкой углеводородных жидких топлив (УЖТ) в технологическую емкость (ТЕ) при условии электростатической безопасности (ЭСБ).

#### Решение задачи

Предлагаемая адаптивная система предназначена для управления уровнем расхода при заполнении ТЕ нефтепродуктами по интегральному параметру, потенциалу  $\varphi$ . Сложность задачи перегрузки заключена в этой емкости, которая накапливает заряд при подаче СПЖ. В результате перегрузки возникают проблемы ЭСБ и гидродинамики процесса заполнения. Для решения этих и других проблем в качестве двигателя взят асинхронный двигатель (АД), управляемый от преобразователя частоты, а при регулировании подачи используется насос, а не задвижки. Подача осуществляется снизу емкости, что позволяет осуществить плавное окончание процесса при достижении равенства давлений в нагнетаемом трубопроводе и энергии встречного уровня жидкости [1].

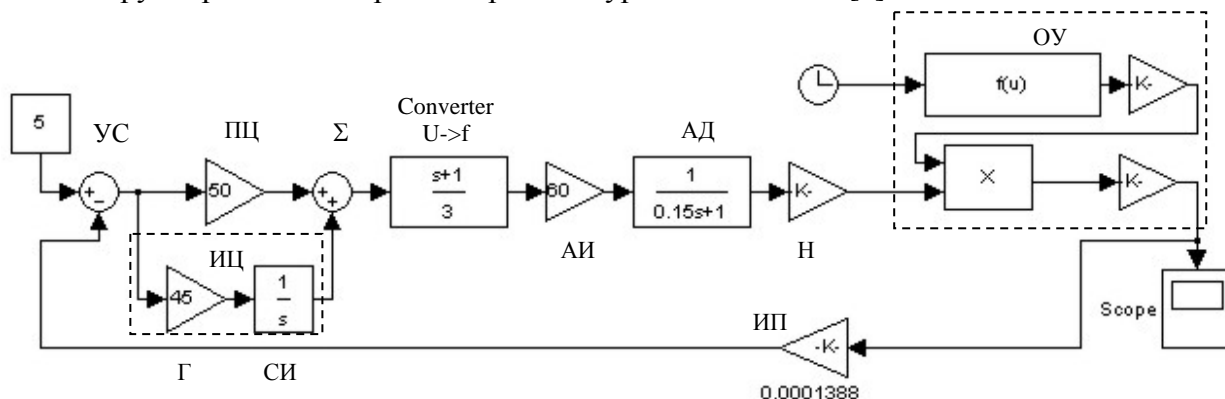


Рис.1. Структурная схема управления насосом АМ

При построении и моделировании процесса управления насосом системы перегрузки (рис.1) возникли проблемы определения конфигурации, отыскания способа замкнутости системы через регулятор, выбор регулятора, представление двигателя и насоса в общей схеме, объекта управления (ОУ) и выбора способа моделирования.

Базисом построения стала схема адаптивной системы, разработанная авторами [1]. В ее состав вошли: УС - узел сравнения напряжения задания с напряжением обратной связи  $U\phi$ ; П – пропорциональная цепочка; Г – генератор; СИ – ступенчатый интегратор (вместе – адаптивная цепочка);  $\Sigma$  - сумматор сигналов  $U_1, U_2$ ; converter  $U \rightarrow f$  – преобразователь напряжение – частота; АИ – автономный инвертор напряжения; АД – асинхронный двигатель; Н – насос; ОУ – объект управления; ИП – измеритель потенциала поверхности СПЖ.

При рассмотрении выяснилось:

- необходимо чтобы регулятор своими действиями не только пропорционально управлял АД в данный промежуток времени, но и накапливал эту информацию для обеспечения изменения расхода заполнения, компенсирующего процессы релаксации накопленного заряда в объеме  $Q_v$  СПЖ. В результате достигается рост расхода с одновременным регулированием ЭСБ по потенциалу  $\phi$  поверхности жидкости, для чего были введены параллельно пропорциональная (ПЦ) и интегральная (ИЦ) цепочки;

- звенья Converter, АИ и АД являются стандартными и описаны в литературе [2...4];

- необходимо чтобы ОУ функционировал также как при заполнении с постоянным установившемся расходом  $F=const$ . Это было достигнуто за счет анализа накопления заряда в объеме  $Q_v$  СПЖ, в результате чего была найдена функция роста потенциала  $\phi=K_\phi f(F)$  при постоянном расходе [5], где  $K_\phi$  генерировало звено насоса, а функция определяла рост величины;

- насос, ИП, УС – пропорциональные звенья. У насоса расход зависит от угловой скорости  $\omega$  его вала. ИП – измерительный прибор определяет примерно линейную характеристику, а задание напряжения (5) управления - постоянная величина.

В результате входящий расход в ОУ перемножается с функцией нарастания потенциала поверхности СПЖ  $\phi=K_\phi f(F)$ , которые сбалансированы внутренними пропорциональными звеньями  $K$ . Тогда расход  $F$  генерирует потенциал поверхности УЖТ  $\phi$ . Система замкнута жестко на УС.

Моделирование проведено в среде MatLab v.6.5. Исследование динамики процесса грузовой операции  $\phi=f(t)$ , показанное на рисунке (рис.2), проводилось при дискретизации структурной схемы управления двигателем насоса при снятии роста потенциала  $\phi$ . Это позволило:

- в разомкнутой системе и использовании только пропорциональной цепочки, была получена функция нарастания потенциала, которая соответствует результату расчета сеточным методом заполнения постоянным установившемся расходом  $F=const$  (рис.2(а.1);2(б.1)) [5,6];

- в замкнутой системе и использовании только пропорциональной цепочки, ПЦ, была получена функция изменения потенциала по стандартной методике заполнения объемов СПЖ (рис.2(а.2);2(б.2)) [5,6];

- в случае замкнутой системы и наличии ИЦ, была получена функция стабилизации потенциала поверхности при тах скорости заполнения (рис.2(а.3);2(б.3))[7].

Исследование системы при изменении величины задающего напряжения управления позволяет регулировать всем процессом на заданный уровень потенциала поверхности  $\phi$  СПЖ, т.е. регулировать ЭСБ системы перегрузки.

Результат моделирования показывает рост расхода  $F$  и существенное снижение времени  $t$  проведения грузовой операции до 30%.

#### **Основные результаты и выводы**

Полученные результаты исследования позволяют утверждать, что автоматическая система управления перегрузкой УЖТ смоделирована и исследована.

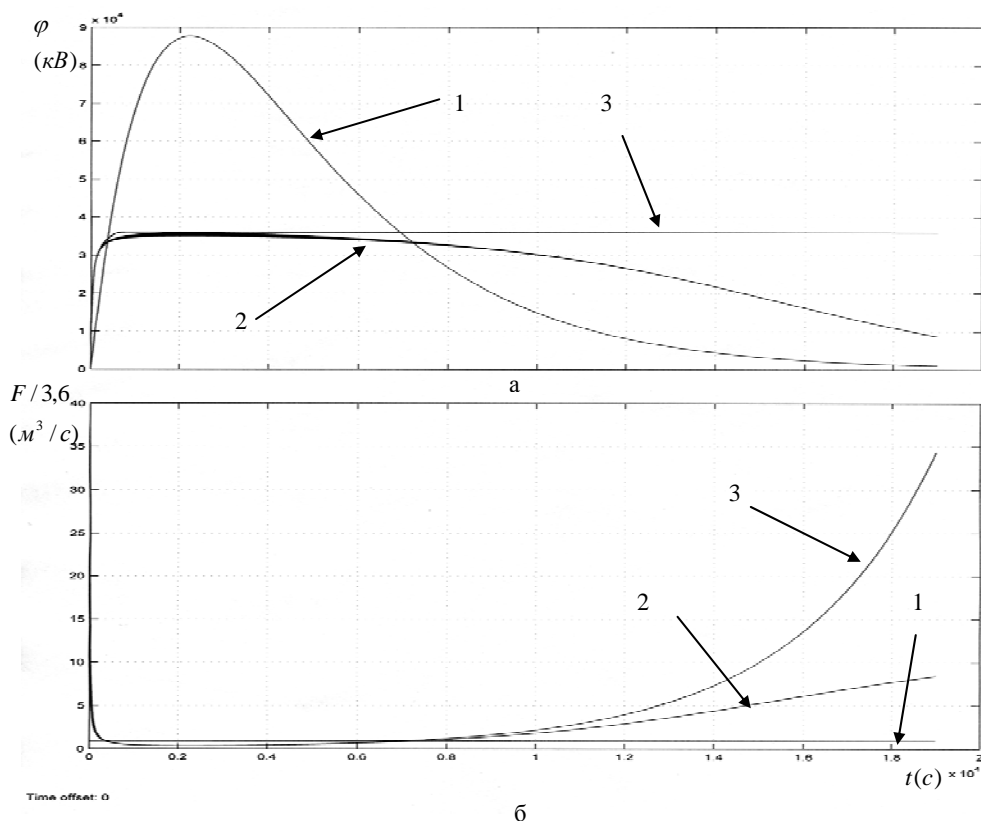


Рис.2. а,б – графики изменения потенциала и производительности во времени при моделировании грузовой операции

Результат моделирования подтвердил теоретическое обоснование [1,5...7] и показал какая конфигурация в виде автомата может использоваться для реализации необходимого режима заполнения УЖТ в ТЕ.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Якимчук Г.С., Кириллов О.Л., Якимчук С.Г. Адаптивная система управления частотно-регулируемым электроприводом объектов с медленно изменяющимися параметрами // Материалы XVI Международной научно-технической конференции «Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика». Тематический выпуск научно-технического журнала „ЭЛЕКТРОИНФОРМ” – Львів: ЕКОінформ, 2009.- 516с, - С.237-238.
2. Ключев В.И. Теория электропривода: Учебник для вузов.-М.: Энергоатомиздат, 1985г.-560с.:ил.
3. Теорія електропривода: Навч.посіб /М.Г.Попович та інш. -К.: Либідь, 1995, 494с.
4. Якимчук Г.С. Теорія автоматичного керування електромеханічними системами: Навч.посіб. К.: Вища Шк., 2009, 545с.:ил.
5. Галка В.Л. Электростатическая безопасность нефтеналивных судов и кораблей. – СПб.: Элмор. 1998. – 188с.
6. Проведение испытаний и исследований по оценке электростатической опасности при заполнении и механизированной мойке грузовых танков. Отчет по НИР (промежуточн), ЦНИИ–СЭТ, составлен на разработку ЦКБ «Изумруд» // –Херсон, –1993. –48с.
7. Кирилов О.Л., Якимчук Г.С. Оптимальное управление технологическим процессом заполнения слабопроводящими заряжающимися жидкостями (СПЗЖ) замкнутых объемов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. Херсон.- ХГТУ. – 2006. -№1(17).- С.120-131.

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ КОНТУРА ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ КОГЕНЕРАЦІЙНОЇ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ УСТАНОВКИ

Тодорцев Ю.К., Ларіонова О.С., Бундюк А.М.

У цей час в Україні простежується тенденція будівництва комбінованих джерел електро- і теплопостачання, установлюваних як в існуючих опалювальних котельнях, так і в знову споруджуваних. Це обумовлено світовою паливно-енергетичною кризою, наслідком якої є постійний ріст цін на енергоресурси.

Крім того, комунальна теплоенергетика України перебуває в критичному стані [4]. З метою підвищення ефективності функціонування комунальної теплоенергетики прийнято кілька державних програм [5]. Ефективне використання когенераційних установок на підприємствах комунальної теплоенергетики пов'язане з виконанням законів України «Про енергозбереження» й «Про теплопостачання» і обумовлено використанням електроенергії власного виробництва, що значно дешевше мережної електроенергії. Когенераційні установки так само знижують навантаження на навколишнє середовище, знижуючи викиди CO й NOx комунальних котелень на 20-30% [6].

Все це є спонукальним мотивом для розробки нових технологій, що забезпечують підвищення ефективності використання органічного палива. Одним зі шляхів ефективного використання первинного палива, є впровадження сучасних енергозберігаючих когенераційних технологій, де коефіцієнт використання теплоти палива досягає 80-90 % [1]. Структурна схема когенераційної установки представлена на рис. 1.



Рис. 1. Структурна схема когенераційної установки

Широкий розвиток одержало комбіноване виробництво електричної й теплової енергії на основі газотурбінних технологій [2]. Побудовано малі ТЕЦ (МТ) на природному газі для забезпечення електричною й тепловою енергією невеликих промислових підприємств, житлових районів міст і селищ.

Як газоподібне паливо можливе використання метану вугільного походження. Україна володіє величезними, фактично не розробленими, ресурсами метану вугільних родовищ. На території Донецького вугільного басейну запаси метану перевищують 14...22 трлн. кубометрів. Розрахунки фахівців і закордонна практика показують, що проблему ефективного використання шахтного метану вирішує застосування когенераційних технологій [3].



У наукових працях, присвячених дослідженню когенераційних енергетичних установок (КЕУ) [1,2,3,6] розглянуті деякі типи КЕУ й різні режими їхньої роботи в статичі. При створенні когенераційних установок, що працюють по нових циклах або нових схемах, з'являється необхідність у дослідженні динамічних процесів в установці при номінальному й частковому навантаженні.

Розрахунки статичі КЕУ показують високу економічність когенераційних установок при роботі в стаціонарних режимах. Але для вибору економічно оптимальної системи керування установкою при роботі на часткових навантаженнях, необхідно визначити динамічні характеристики й досліджувати перехідні процеси в системі при зовнішніх і внутрішніх збуреннях.

Для проведення досліджень динамічних властивостей КЕУ й варіантних досліджень схем регулювання потужності установки й схем стабілізації температури робочого тіла з метою вибору оптимальної системи регулювання необхідно побудувати математичну модель установки.

Аналіз досліджень і публікацій у цій області показав, що динамічні властивості подібного роду установок практично не вивчені. У роботі [7] представлена математична модель КЕУ, що може бути використана при аналізі динамічних характеристик когенераційної енергетичної установки з газовою турбіною у якості теплового двигуна.

Метою даної роботи є побудова математичної моделі водяного контуру теплопостачання когенераційної енергетичної установки, схема якої представлена на рис.2.

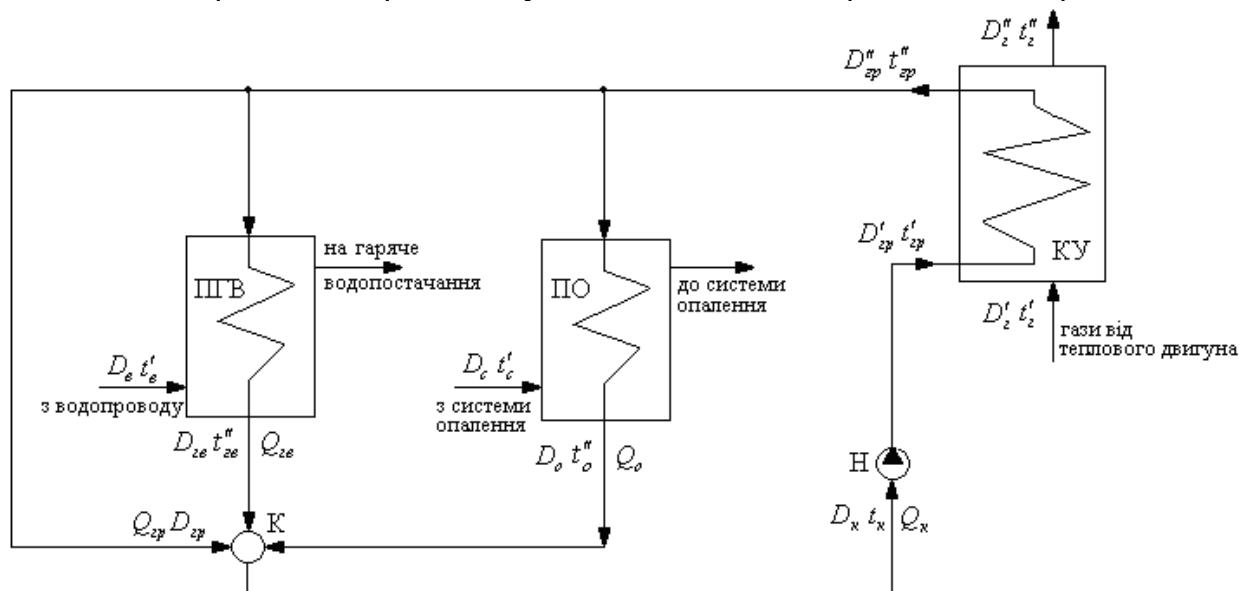


Рис. 2. Принципіальна схема контуру теплопостачання КЕУ

Основними елементами схеми є: котел-утилізатор (КУ) заданої теплової потужності. Водно-водяні підігрівачі опалення (ПО) і гарячого водопостачання (ПГВ), зворотний колектор (К) і мережний насос (Н), що підтримує постійною витрату теплоносія в контурі.

Гази від теплового двигуна з температурою  $t'_2$  й витратою  $D'_2$  надходять у котел-утилізатор і з температурою  $t''_2$  й витратою  $D''_2$  залишають його. Теплоносій після мережного насоса з температурою  $t'_x$  й витратою  $D'_x$  нагрівається в КУ до температури  $t''_zp$ , і з витратою  $D''_zp$  направляється в підігрівачі ПО і ПГВ. У підігрівачах теплоносій нагріває воду із системи опалення до температури  $t''_o$  на потреби опалення й водопровідну воду до температури  $t''_ze$  для потреб гарячого водопостачання. Після чого через зворотний колектор і мережний насос із витратою  $D'_zp$  й температурою  $t'_zp$  повертається в котел-утилізатор.

Математична модель представляє собою систему диференціальних і алгебраїчних рівнянь, які наведені нижче.

Рівняння динаміки теплообмінника опалення:

$$\left. \begin{aligned} A_{1o} \frac{d\theta''_{1o}}{dt} + \theta''_{1o} &= a_{11}\theta'_{1o} - a_{12}\theta_{cm} \\ A_{2o} \frac{d\theta''_{2o}}{dt} + \theta''_{2o} &= a_{21}\theta'_{2o} + a_{22}\theta_{cm} \\ R_o \frac{d\theta_{cm}}{dt} + \theta_{cm} &= r_{1o}\theta'_{1o} + r_{2o}\theta''_{1o} + r_{3o}\theta'_{2o} + r_{4o}\theta''_{2o} \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Рівняння динаміки теплообмінника гарячого водопостачання:

$$\left. \begin{aligned} A_{1zg} \frac{d\theta''_{1zg}}{dt} + \theta''_{1zg} &= a_{11}^{zg}\theta'_{1zg} - a_{12}\theta_{cm} \\ A_{2zg} \frac{d\theta''_{2zg}}{dt} + \theta''_{2zg} &= a_{21}^{zg}\theta'_{2zg} + a_{22}^{zg}\theta_{cm} \\ R_{zg} \frac{d\theta_{cm}}{dt} + \theta_{cm} &= r_{1zg}\theta'_{1zg} + r_{2zg}\theta''_{1zg} + r_{3zg}\theta'_{2zg} + r_{4zg}\theta''_{2zg} \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Рівняння динаміки котла-утилізатора:

$$\left. \begin{aligned} B \frac{d\theta''_{ob}}{dt} + \theta''_{ob} &= b_1\theta'_{ob} + b_2\theta_{cm} \\ C \frac{d\theta''_{zp}}{dt} + \theta''_{zp} &= c_1\theta'_{zp} - c_2\theta_{cm} \\ G \frac{d\theta_{cm}}{dt} + \theta_{cm} &= g_1\theta'_{zp} + g_2\theta''_{zp} - g_3\theta'_{ob} - g_4\theta''_{ob} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

Рівняння зв'язку отримуємо з рівнянь теплового і матеріального балансів колектора:

$$\left. \begin{aligned} Q_{zg} + Q_o + Q_{zp} &= Q_k \\ D_{zg} + D_o + D_{zp} &= D_k \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

де  $Q_{zg}$  – тепловий потік від підігрівача гарячого водопостачання, Дж/с;

$Q_o$  – тепловий потік від підігрівача опалення, Дж/с;

$Q_{zp}$  – тепловий потік з гріючим середовищем перед колектором, Дж/с;

$Q_k$  – тепловий потік після колектора, Дж/с;

$D_{zg}$  – витрата гріючої води після ПГВ, кг/с;

$D_o$  – витрата гріючої води після ПО, кг/с;

$D_{zp}$  – витрата гріючої води перед колектором, кг/с;

$D_k$  – витрата гріючої води після колектора, кг/с.

Витрата теплоносія в контурі не змінюється, тобто:

$$\left. \begin{aligned} D'_{zp} &= D_k \\ D''_{zp} &= D'_{zp} \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

З рівнянь теплового і матеріального балансів отримуємо температуру на виході колектора:

$$t_k = \frac{D_{zg} \cdot c''_{p_{zg}} \cdot t''_{zg} + D_o \cdot c''_{p_o} \cdot t''_o + D_{zp} \cdot c''_{p_{zp}} \cdot t''_{zp}}{(D_{zg} + D_o) \cdot c_{p_k}} = k_{zg} \cdot t''_{zg} + k_o \cdot t''_o + k_{zp} \cdot t''_{zp} \quad (6)$$

$$\text{де } k_{zg} = \frac{D_{zg} \cdot c_{p_{zg}}}{(D_{zg} + D_o) \cdot c_{p_k}}; \quad k_o = \frac{D_o \cdot c_{p_o}}{(D_{zg} + D_o) \cdot c_{p_k}}; \quad k_{zp} = \frac{D_{zp} \cdot c''_{p_{zp}}}{(D_{zg} + D_o) \cdot c_{p_k}}.$$

Вважаємо, що температура  $t_k$  буде на вході насоса, тобто:

$$t'_{zp} = k'_{zp} \cdot t_k \quad (7)$$

де  $k'_{zp} \cong 1$ .

Отримана таким чином математична модель контуру теплопостачання КЕУ, справедлива при малих відхиленнях від стаціонарного режиму й може бути ефективно використана для дослідження динаміки роботи контуру на часткових навантаженнях. А також, для дослідження впливу основних зовнішніх збурень: температура газів на вході до КУ  $t'_2$ , температура теплоносія на вході до КУ  $t'_{zp}$ , температура зворотної води із системи опалення  $t'_c$  на вході в ПО й температура води на вході в ПГВ  $t'_6$ .

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Анализ эффективности интегрированных систем энергосбережения на базе установок когенерации малой мощности и возобновляемых источников энергии/Г.А. Баласанян, А.С. Мазуренко// Теплоэнергетика. 2008. №1. С. 7-10.
2. Шаумов В.Ю. Опыт внедрения и эксплуатации ГТУ малой мощности.– В кн.: Малые и средние ТЭЦ. Современные решения. Тр. Конференции УМЦ «Голицино», 2005.
3. Когенерационные установки для утилизации шахтного метана / Богуслаев В.А. // Пром. теплотехника. 2009. №2, т. 31. С. 53-56.
4. Долінський А.А., Басок Б.І., Базєєв Е.Т., Пироженко І.А., колективна монографія. Комунальна теплоенергетика України: стан, проблеми, шляхи модернізації. – К.: т. 1-2. – 2007. – 828 с.
5. Програми технічної модернізації комунальної теплоенергетики регіонів України /Долінський А.А., Басок Б.І., Кучін Г.П., Базєєв Є.Т., Скрипко В.Я., Капустін В.Б., Чайка О.І.// Пром. теплотехника. 2009. № 1, Т.31. С. 5-14.
6. Энергетические и экологические показатели когенерационной установки электрической мощностью 1 МВт и тепловой мощностью 1,2 М.Вт./ Басок Б.И., Коломейко Д.А., Кужель Л.М.// Пром. теплотехника.2009. №2, т.31. С. 42-49.
7. Розробка математичної моделі динаміки когенераційної енергетичної установки.//Збірник наукових праць ОНАХТ. Одеса. 2009. С. 266-271.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТРЕБОВАНИЙ К ТЕХНИЧЕСКИМ СИСТЕМАМ  
МЕТОДАМИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛОГИКИ

Селяков Е.Б.

Любая сложная работа по проектированию вновь создаваемых систем и решений проходит этап выявления и обработки требований к решению, где *требование* — условие, которому должна удовлетворять система, или свойство, которым она должна обладать, чтобы удовлетворить потребность пользователя в решении некоторой задачи, а также удовлетворить требования контракта, стандарта или спецификации [1].

**Анализ последних исследований и публикаций.** В настоящее время существуют и развиваются теоретические и методологические основы проектирования информационных систем [1,2], особенно процессов разработки программного обеспечения. В рамках этих подходов, в частности, выделены принципы управления требованиями (*requirements management*) [3] и разработаны методики моделирования требований. Однако, в рамках этих методик не в достаточной степени развит математический подход к моделированию требований и их соотношений, что ограничивает возможность автоматизации задач управления требованиями.

**Постановка задачи исследования.** В статье предложен способ моделирования требований и их совокупностей на основе аппарата математической логики. Целью использования данного способа является упрощение решения задач управления требованиями на этапе разработки эскизных проектов вновь создаваемых технических систем за счёт алгоритмизации процесса решения.

**Изложение основного материала.**

Под *требованием* будем понимать высказывание о системе автоматизации, которое должно быть истинным для того, чтобы система функционировала согласно проекту. Все требования формулируются как отношения долженствования, например, возможно требование «Должен обеспечиваться пуск насосов сигналу от центрального управляющего устройства».

По степени абстракции выделяются *функциональные* и *нефункциональные требования*. Функциональные требования указывают на необходимое свойство или функцию системы, нефункциональные требования конкретизируют различные особенности, которыми должна обладать система либо указывают на необходимость выполнения каких-либо работ при создании системы.

Функциональные требования в общем случае могут быть исполнены посредством различных наборов нефункциональных требований первого порядка. Исследование проектов автоматизации в одной предметной области позволяет выделить устоявшиеся наборы нефункциональных требований, которые применялись для реализации соответствующих функциональных требований в проектах. Будем называть такие наборы *вариантами* исполнения функциональных требований.

Совокупность всех требований к проектам автоматизации в некоторой предметной области образует систему, причём учёт порядка требований позволяет говорить о существовании иерархической структуры в этой системе. Система требований включает в себе все ранее рассмотренные варианты исполнения функциональных требований. При этом, если накоплен достаточный опыт проектирования в данной предметной области, то вновь создаваемые проекты могут быть представлены в виде набора требований и вариантов из системы требований. Таким образом, проектирование систем автоматизации может быть представлено в виде процедуры выбора требований из системы требований.

Рассмотрим пример системы требований к проектам автоматизации объектов водоотведения и водоснабжения, фрагмент которой представлен в виде табл. 1.

Требования к АСУТП водоснабжения

1	Система управления должна обеспечивать поддержание уровня воды в приёмном резервуаре на безопасной отметке.
1.1	Поддержание уровня воды в приёмном резервуаре должно обеспечиваться за счёт автоматического включения и отключения насосов в зависимости от уровня заполнения приёмного резервуара.
1.1.1	Должен обеспечиваться останов насосов по сигналу от центрального управляющего устройства
1.1.2	Должен обеспечиваться пуск насосов сигналу от центрального управляющего устройства
1.2	Поддержание уровня воды в приёмном резервуаре должно обеспечиваться за счёт автоматического включения и отключения насосов под управлением реле времени
1.2.1	Должен обеспечиваться останов насосов по сигналу от управляющего устройства
1.2.2	Должен обеспечиваться пуск насосов по сигналу от управляющего устройства
1.2.3	Управляющее устройство должно быть настроено на выдачу сигналов на пуск и останов насосов в зависимости от таймера времени
1.3	Поддержание безопасного уровня воды в приёмном резервуаре должно обеспечиваться за счёт автоматического останова насосов при достижении предельно низкого уровня заполнения резервуара и за счёт сброса воды самотёком в приёмный канал при переливе.
1.3.1	Должен обеспечиваться останов насосов по сигналу от управляющего устройства
1.3.2	Должно обеспечиваться измерение предельно низкого уровня жидкости
1.3.3	Должно обеспечиваться измерение действительного значения заполнения резервуара

В данном примере представлен фрагмент более широкой системы требований. Номера строк соответствуют функциональным требованиям, подпункты соответствуют вариантам реализации функциональных требований, а подпункты второго уровня соответствуют нефункциональным требованиям первого порядка. Как показано в данном примере, для функционального требования может существовать несколько вариантов реализации. Функциональное требование считается исполненным, если исполнен один из соответствующих ему вариантов.

Одно и то же нефункциональное требование может входить в различные варианты исполнения одного функционального требования и даже в варианты исполнения различных функциональных требований.

Из приведенного примера видна избыточность записи вариантов исполнения требований в виде таблицы. Действительно, варианты № 1.1 и №. 1.2 зависят от одинаково сформулированных требований № 1.1.1 и № 1.2.1. Для устранения избыточности записи системы требований перепишем её в формальном виде. Обозначим требования и варианты как элементы некоторых множеств.

Для обозначения функциональных требований будем использовать элементы множества  $U$ , варианты обозначим как элементы множества  $V$ , а нефункциональные требования как элементы множества  $X$ . Обозначая функциональные требования: № 1 –  $u_1$ , аналогично получим обозначения вариантов № 1.1 –  $v_1$  № 1.2 –  $v_2$ , № 1.3 –  $v_3$ . Для обозначения нефункциональных одинаковых требований первого порядка будем использовать одни элементы множества  $X$ .

При этом получим №№ 1.1.1,1.2.1,1.3.1 –  $x_1$ ; №№ 1.1.2,1.2.2 –  $x_2$ ; № 1.2.3 –  $x_3$ ; № 1.3.2 –  $x_4$ ; № 1.3.3 –  $x_5$ .

В результате получаем множество функциональных требований  $U = \{u_1\}$ , множество вариантов  $V = \{v_1, v_2, v_3\}$  и множество нефункциональных требований первого порядка  $X = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$ .

На основе полученного обозначения зададим структуру системы требований в виде неориентированного графа требований - (рис. 1). Отношения зависимости между требованиями и вариантами будем обозначать рёбрами, а в качестве вершин графа требований примем требования и варианты из множеств  $U$ ,  $V$  и  $X$ .

На рис. 1 видно, что множества  $U$ ,  $V$  и  $X$  представляют собой слои графа требований, причём для задания структуры системы требований достаточно задания бинарных отношений между множествами  $U$  и  $V$ , а также между  $V$  и  $X$ . Зададим эти отношения в виде предикатов. Построим предикат отношения множеств  $V$  и  $X$ .

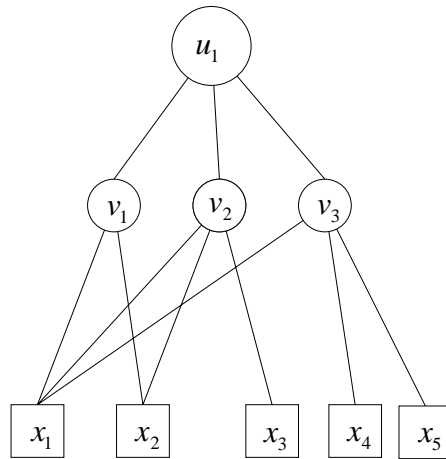


Рис. 1. Граф требований к системам автоматизации водоотведения и водоснабжения

Как было указано, для исполнения некоторого варианта  $v_i$  требуется одновременное исполнение всех требований  $x_j$  из соответствующего разбиения  $X$  по  $v_i$  -  $R_{v_i}^X = \{x_j\}_{j=1}^J$ . Таким образом, предикат  $E_i(R_{v_i}^X, v_i)$ , задающий отношение между  $R_{v_i}^X$  и  $v_i$  записывается, как

$$E_i(R_{v_i}^X, v_i) = (v_i \leftrightarrow x_1 x_2 \dots x_j \dots x_J) \tag{1}$$

Граф такого отношения показан на рис. 2

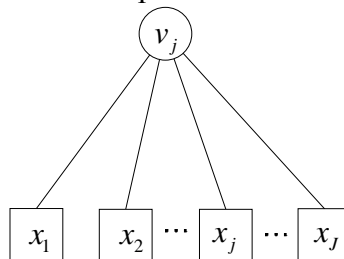


Рис. 2. Граф отношения варианта  $v_i$  и требований из разбиения  $R_{v_i}^X$

Предикат  $E_i(R_{v_i}^X, v_i)$  принимает истинное значение только в том случае, когда значения  $v_i$  и элементов из  $R_{v_i}^X$  соответствуют друг другу. Предикат  $E(X, V)$ , задающий отношение между  $X$  и  $V$  состоит из предикатов для каждого из вариантов  $v_i$  и имеет вид

$$E(X, V) = E_1(R_{v_1}^X, v_1) \wedge E_2(R_{v_2}^X, v_2) \wedge \dots \wedge E_i(R_{v_i}^X, v_i) \wedge \dots \wedge E_l(R_{v_l}^X, v_l) \quad (2)$$

Аналогічно зададим отношение между множествами  $U$  и  $V$ . Для исполнения некоторого функционального требования  $u_k$  достаточно исполнения одного из вариантов  $v_l$  из разбиения  $V$  по  $u_k$  -  $R_{u_k}^V = \{v_l\}_{l=1}^L$ . Следовательно, предикат  $P(R_{u_k}^V, u_k)$ , задающий отношение между  $R_{u_k}^V$  и  $u_k$  записывается, как :

$$P_k(R_{u_k}^V, u_k) = (u_k \leftrightarrow (v_1 \vee v_2 \vee \dots \vee v_l \vee \dots \vee v_L)) \quad (3)$$

Предикат  $P(V, U)$ , задающий отношение между  $U$  и  $V$  состоит из предикатов для каждого функционального требования  $u_k$  и имеет вид

$$P(V, U) = P_1(R_{u_1}^V, u_1) \wedge P_2(R_{u_2}^V, u_2) \wedge \dots \wedge P_k(R_{u_k}^V, u_k) \wedge \dots \wedge P_K(R_{u_K}^V, u_K) \quad (4)$$

Отношение между функциональными требованиями и нефункциональными требованиями первого порядка задается предикатом

$$Z(X, U) = E(X, V) \wedge P(V, U) \quad (5)$$

Предикат  $Z(X, U)$  представляет собой однозначное описание структуры системы требований. В силу своих особенностей предикат  $Z(X, U)$  может быть легко использован для изучения свойств системы требований и решения задач проектирования вновь создаваемых систем управления на основе существующей системы требований.

Рассмотрим особенности задания системы требований при помощи предиката  $Z(X, U)$  на примере системы требований, задаваемой графом на рис. 3

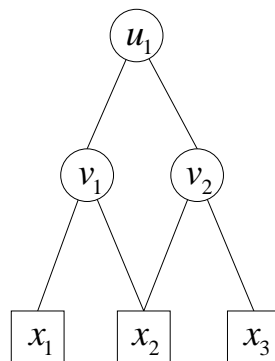


Рис. 3. Пример системы требований для одного функционального требования

Найдём разбиение множества вариантов  $V$  для функционального требования  $u_1: R_{u_1}^V = \{v_1, v_2\}$ . Разбиения множества нефункциональных требований  $X$  по элементам множества вариантов  $V$  таковы:  $R_{v_1}^X = \{x_1, x_2\}$ ,  $R_{v_2}^X = \{x_2, x_3\}$ . Таким образом, согласно формулам (1) и (2) предикат  $E(X, V) = (v_1 \leftrightarrow x_1 x_2)(v_2 \leftrightarrow x_2 x_3)$ . Используя равнозначные преобразования, получим:

$$E(X, V) = (v_1 \leftrightarrow x_1 x_2)(v_2 \leftrightarrow x_2 x_3) = (\overline{v_1 x_1 x_2} \vee v_1 x_1 x_2)(\overline{v_2 x_2 x_3} \vee v_2 x_2 x_3) \quad (6)$$

откуда

$$E(X, V) = (\overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3} \vee \overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3}) \quad (7)$$

Полученная форма записи представляет собой СДНФ. Как нетрудно заметить, предикат  $E(X, V)$  включает в себе все допустимые сочетания значений элементов множеств  $X$  и  $V$ , причём каждому такому сочетанию соответствует один дизъюнкт. К примеру, случай, когда выполняется  $v_1$  и не выполняется  $v_2$  описывается дизъюнктом  $\overline{v_1 v_2 x_1 x_2 x_3}$ , из которого следует, что для этого случая необходимо, чтобы выполнялись требования  $x_1$  и  $x_2$  а требование  $x_3$  не было выполнено. Остальные дизъюнкты не соответствуют условию

выполнения  $v_1$  и невыполнения  $v_2$ . Сократим запись  $E(X, V)$ , для сохранения наглядности оставив его представление в виде ДНФ. Получим:

$$E(X, V) = (v_1 v_2 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{v_1} v_2 x_1 x_2 x_3 \vee v_1 \overline{v_2} x_1 x_2 x_3 \vee v_1 v_2 \overline{x_2} \vee v_1 v_2 x_1 x_3) \quad (8)$$

Предикат  $P(V, U)$ , согласно (4), принимает вид  $P(V, U) = (u_1 \leftrightarrow (v_1 \vee v_2))$ . После преобразования в ДНФ получаем

$$P(V, U) = (\overline{u_1} v_1 v_2 \vee u_1 v_1 \vee u_1 v_2) \quad (9)$$

Таким образом, согласно (5),  $Z(X, U) = E(X, V) \wedge P(V, U)$ , после преобразования в ДНФ и с учётом (8) и (9) получим:

$$Z(X, U) = (u_1 v_1 v_2 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} v_1 v_2 x_1 x_2 x_3 \vee u_1 v_1 \overline{v_2} x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} v_1 v_2 \overline{x_2} \vee \overline{u_1} v_1 v_2 x_1 x_3) \quad (10)$$

Используя формулу (1), выразим в (10) элементы множества  $V$  и их отрицания через элементы множества  $X$  и их отрицания:

$$Z(X, U) = (u_1 x_1 x_2 x_3 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} x_1 x_2 x_3 x_1 x_2 x_3 \vee u_1 x_1 x_2 x_2 x_3 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} x_1 x_2 x_2 x_3 x_2 \vee \overline{u_1} x_1 x_2 x_2 x_3 x_1 x_3) \quad (11)$$

Путём равнозначных преобразований получим:

$$Z(X, U) = (u_1 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} x_1 x_2 x_3 \vee u_1 x_1 x_2 x_3 \vee \overline{u_1} x_2 \vee \overline{u_1} x_1 x_3) \quad (12)$$

Отметим, что формула (12) представляет собой ни что иное, как (10) с вычеркнутыми элементами множества  $V$  и их отрицаниями. Предикат  $Z(X, U)$  однозначно задаёт отношение между множеством функциональных требований  $U$  и множеством нефункциональных требований первого порядка  $X$ .

Рассмотрим использование предикатов  $E(X, V)$ ,  $P(V, U)$  и  $Z(X, U)$  для целей проектирования. Поставим задачу проектирования систем автоматизации. При решении этой задачи проектировщик на основе известных ему желаемых функций системы осуществляет определение необходимых компонент системы, её особенностей и перечень основных работ. С точки зрения представления проектов в виде систем требований, при прямой задаче проектирования проектировщик ставит условие исполнения ряда функциональных требований из множества  $U$  и осуществляет поиск таких элементов множества вариантов  $V$  и множества нефункциональных требований  $X$ , чтобы их исполнение обеспечивало исполнение необходимых функциональных требований.

Пусть на основе системы требований, заданной графом на рис. 3, ставится задача исполнения функционального требования  $u_1$ . Это условие записывается следующим образом:  $\{Z(X, U)|u_1\}$ . Подставив в правую часть (12)  $u_1$ , получим:

$$\{Z(X, U)|u_1\} = (x_1 x_2 x_3 \vee \overline{x_1} x_2 x_3 \vee x_1 x_2 \overline{x_3}) = x_2 (x_1 x_3 \vee \overline{x_1} x_3 \vee x_1 \overline{x_3}) \quad (13)$$

Из данного выражения видно, что для того, чтобы  $u_1$  могло быть исполнено, необходимо исполнение  $x_2$ , в противном случае  $\{Z(X, U)|u_1\}$  становится невыполнимым. Поставим это условие:

$$\{Z(X, U)|u_1 x_2\} = (x_1 x_3 \vee \overline{x_1} x_3 \vee x_1 \overline{x_3}) = (x_1 \vee x_3) \quad (14)$$

Полученное выражение показывает, что для выполнения  $u_1$  при условии исполнения  $x_2$  достаточно исполнения  $x_1$  либо  $x_3$ . Для определённости выберем  $x_1$ :

$$\{Z(X, U)|u_1 x_1 x_2\} \equiv 1 \quad (15)$$

Как только выражение в правой части становится тождественно истинным, то это означает, что при принятых допущениях, а именно -  $x_1 x_2 \equiv 1$  - требование будет исполнено.



Представленный подход позволяет автоматизировать характерные задачи управления требованиями на этапе разработки эскизных проектов технических систем.

### **Заключение**

Основным достоинством задания структуры системы требований посредством предикатов полученного вида является простота методов математической логики, которые могут быть использованы для решения задач вывода требований и проверки наборов требований на полноту и непротиворечивость. Кроме того, высокая алгоритмическая оснащённость этих методов облегчает их применение при компьютерном проектировании на основе представленной модели требований.

### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Вендров А.М. Проектирование программного обеспечения экономических информационных систем: Учебник. - 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Финансы и статистика, 2006.
2. Боггс У., Боггс М. UML и Rational Rose: Пер. с англ. - М.: ЛОРИ, 2000.
3. Леффингуэлл Д., Уидриг Д. Принципы работы с требованиями к программному обеспечению. Унифицированный подход: Пер. с англ. - М.: Вильямс, 2002.

УДК 519.6

## **МЕТОД БАРИЦЕНТРИЧЕСКОГО УСРЕДНЕНИЯ ГРАНИЧНЫХ ПОТЕНЦИАЛОВ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ**

Хомченко А.Н., Литвиненко Е.И.

### **Введение**

Большинство современных вычислительных методов в теории потенциала ориентировано на ЭВМ. Наибольшее распространение получили методы конечных разностей (МКР), конечных элементов (МКЭ), граничных элементов (МГЭ), контрольных объемов (МКО), Монте-Карло и другие. Для практической реализации этих методов, как правило, требуются значительные объемы машинной памяти и времени вычислений. В качестве альтернативы выступает простой, надежный и алгоритмичный метод барицентрического усреднения, обеспечивающий вполне приемлемую точность вычислений.

### **Анализ предшествующих публикаций**

Идея использовать барицентрические координаты симплекса (треугольника, тетраэдра) в быстрых алгоритмах метода Монте-Карло возникла в конце 80-х годов прошлого века [1,2] и была реализована под названием – способ вращения симплекса (СВС). Важным шагом в развитии и усовершенствовании метода было установление глубоких связей между барицентрическим усреднением и дискретными аналогами интегрального критерия Привалова гармоничности функций [3]. Позже стало понятно, что идеи барицентрического усреднения полезны не только в задачах эллиптического типа [4]. Вся история развития геометрии, механики, вычислительной математики свидетельствует о том, что барицентрическое усреднение (впрочем, как и любое другое) – надежный рецепт усовершенствования математической модели. Конкретные примеры описаны в [5-11].

**Цель работы** – показать три альтернативных варианта барицентрического усреднения электростатического потенциала от системы точечных зарядов, расположенных в вершинах куба.

**Основная часть**

Пусть в вершинах куба ( $0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 1, 0 \leq z \leq 1$ ) значения потенциального поля известны. Требуется найти потенциальное поле внутри куба (рис. 1).

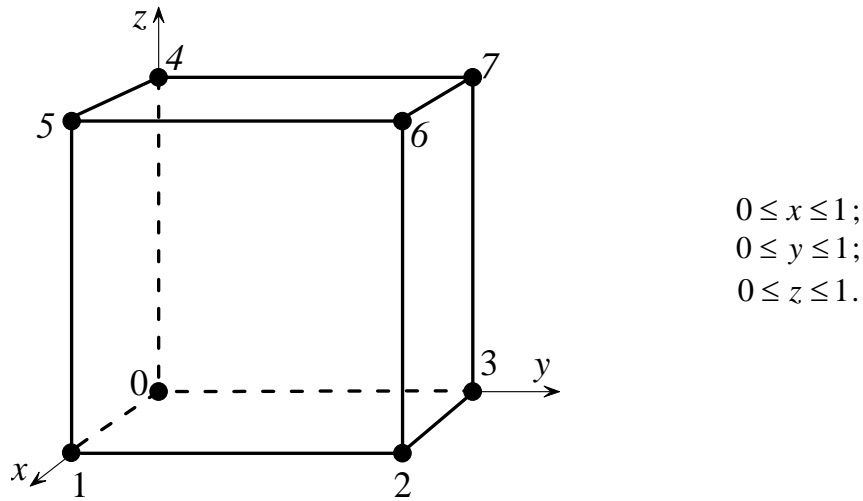


Рис. 1. Элемент в форме куба с узлами в вершинах

В этой задаче нетрудно усмотреть аналогию с классическим результатом А.Мёбиуса, который в 1827 г. нашел ответ на вопрос о том, какие массы следует поместить в вершинах заданного треугольника, чтобы данная точка была центром тяжести (барицентром) этих масс. Для решения такой задачи Мёбиус ввел специальные координаты (барицентрические), которые привели к созданию барицентрического исчисления. В отличие от классической задачи Мёбиуса (на симплексе) обобщенная задача на мультиплексе (рис. 1) решается неоднозначно. Здесь вступают “в спор” (Е.С.Вентцель), по крайней мере, три подходящих модели потенциального поля. В эту группу можно включить и четвертую модель, реализующую случайные блуждания по узлам пространственной ортогональной решетки (статистическая модель).

Потенциал внутри области выражается через граничные потенциалы путем взвешенного усреднения

$$U(x, y, z) = \sum_{i=0}^7 F_i(x, y, z) \cdot U_i, \tag{1}$$

где  $U_i$  - известные значения потенциала в вершинах куба ( $i = \overline{0,7}$ ). Функции  $F_i(x, y, z)$  имеют типичные свойства базиса: каждая из них в “своем” узле  $i$  равна единице, в остальных узлах обращается в нуль. Кроме того,

$$0 \leq F_i(x, y, z) \leq 1, \quad \sum_{i=0}^7 F_i(x, y, z) = 1. \tag{2}$$

Лучше использовать функции, монотонные внутри куба. Задача сводится к поиску функций  $F_i(x, y, z)$ , обладающих указанными свойствами.

Функцию  $F_i(x, y, z)$  удобно представить в виде произведения трех функций, каждая из которых зависит от одного аргумента  $x, y$  или  $z$ . Заметим, что координаты вершин куба состоят только из 0 и 1. Это позволяет в каждом координатном направлении  $t$  ограничиться лишь двумя функциями  $T_0(t)$  и  $T_1(t)$ .

В зависимости от выбранного базиса можно предложить три варианта барицентрического усреднения граничных потенциалов.

I вариант. Трилинейный базис.

В этом случае каждая функция базиса равна произведению функций вида:

$$T_i(t) = \begin{cases} 1-t, & \text{если } t_i = 0, \\ t, & \text{если } t_i = 1. \end{cases}$$

Например,  $F_2(x, y, z) = xy(1-z)$ . Аналогично определяются остальные семь функций.

II вариант. Трикубический базис.

Этот базис конструируется из многочленов Кунса. При этом

$$T_i(t) = \begin{cases} 2t^3 - 3t^2 + 1, & \text{если } t_i = 0, \\ -2t^3 + 3t^2, & \text{если } t_i = 1. \end{cases}$$

Например,  $F_1(x, y, z) = (-2x^3 + 3x^2)(2y^3 - 3y^2 + 1)(2z^3 - 3z^2 + 1)$ .

III вариант. Тригонометрический базис.

В этом случае

$$T_i(t) = \begin{cases} \cos^2 \frac{\pi t}{2}, & \text{если } t_i = 0, \\ \sin^2 \frac{\pi t}{2}, & \text{если } t_i = 1. \end{cases}$$

Например,  $F_3(x, y, z) = \cos^2 \frac{\pi x}{2} \sin^2 \frac{\pi y}{2} \cos^2 \frac{\pi z}{2}$ .

Заметим, что второй и третий базисы обеспечивают дополнительную гладкость поля  $U(x, y, z)$  на границе куба, хотя в данной задаче, как и в задаче Мёбиуса, необходимости в этом нет.

Расчеты показывают, что в данной области существует 19 особых точек, в которых все три базиса дают совпадающие результаты. Особые точки: центр куба, центры граней, центры ребер. Наличие этих точек стабилизирует поле потенциала так, что максимальная погрешность по сравнению с апостериорной монте-карловской оценкой не превышает 3,5%.

Следует отметить, что трилинейный базис состоит из гармонических функций как в дифференциальном смысле (по Лапласу), так и в интегральном смысле (по Привалову). Второй и третий базисы удовлетворяют интегральному критерию гармоничности. При подстановке этих функций в уравнение Лапласа образуются невязки, каждая из которых равна нулю в среднем по области. При этом суммарная невязка от всех восьми функций обращается в нуль.

### Выводы

Предложенные в работе базисы пригодны для практической реализации в методе барицентрического усреднения (МБУ). Этот метод существенно уменьшает объем необходимой памяти ЭВМ и резко сокращает время вычислений по сравнению с классическим методом Монте-Карло и методом конечных разностей.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Хомченко А.Н. Способ вращения симплекс-элемента в строительной механике /А.Н. Хомченко, Л.И. Камаева //Респ. конф. "Совершенствование методов расчета и проектирования совр. видов строит. конструкций": Тез. докл. – Ровно, 1988. – С. 154 – 155.
2. Хомченко А.Н. Прискорений алгоритм методу Монте-Карло розв'язання задачі Діріхле для рівняння Лапласа /А.Н. Хомченко //Вісник Київського держ. ун-ту ім. Т. Шевченка: Серія фіз.-мат. науки. – К.: КДУ, 1994. – С. 221 – 223.

3. Хомченко А.Н. Интеграл Пуассона та ймовірнісні підходи до усереднення граничних потенціалів /А.Н. Хомченко //Интегральні перетворення та їх застосування до крайових задач. Зб. наук. пр. – К.: І-т математики НАНУ, 1996. – Вип. 10. – С. 232 -234.
4. Зуб П.М. Компьютерная реализация методов барицентрического усреднения для задач эллиптического типа /П.М. Зуб, И.А. Лурье, А.Н. Хомченко // Вестник Херс.гос.техн.ун-та. – Вип. 1 (14). — Херсон: ХГТУ, 2002. — С. 46-49.
5. Хомченко А.Н. Модели взвешенного усреднения и кубатурные формулы /А.Н. Хомченко, О.В. Цыбуленко // Геом. та комп'ютерне моделювання. Зб. наук. пр. — Харків: ХДУХТ, 2002. — Вип. 2. — С. 19-24.
6. Хомченко А.Н. О барицентрическом аспекте в математическом моделировании /А.Н. Хомченко, П.М. Зуб //Матем. модели в образовании, науке и промышленности. Сб. науч. тр. – С.- Петербург: МАН ВШ, 2003. – С. 85-91.
7. Хомченко А.Н. Барицентрические оценки электростатического поля в круге /А.Н.Хомченко, О.В. Цыбуленко, М.В. Дембровская //Автоматика. Автоматизация. Электрические комплексы и системы. – №1 (11). – Херсон: ХГТУ, 2003. — С. 35-40.
8. Хомченко А.Н. Две модели усреднения граничных потенциалов на адаптируемом шаблоне /А.Н. Хомченко, Н.В. Валько, М.Т. Наджафов //Геом. та комп'ютерне моделювання. – Харків: ХДУХТ, 2004.– Вип. 8. – С.26-30.
9. Валько Н.В. Дискретні моделі зваженого усереднення граничних потенціалів /Н.В.Валько, О.І. Литвиненко, А.Н. Хомченко // Вісник Харк. націон. ун-ту. –№661. — Харків: ХНУ, 2005. — С. 52-60.
10. Хомченко А.Н. Об усреднении в математическом моделировании /А.Н. Хомченко, В.В. Крючковский // Вестник Херс. национ. техн. ун-ту.– Вип. 22. — Херсон: ХНТУ, 2005. — С. 340-343.
11. Хомченко А.Н. Модели барицентрического усреднения и одношаговые схемы случайных блужданий /А.Н. Хомченко, В.В. Крючковский //Матем. модели в образовании, науке и промышленности. Сб. науч. тр. – С.- Петербург: МАН ВШ, 2005. – С. 112-115.

УДК 519.711.3

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Шейник С.П., Рудакова А.В.

**Постановка проблемы.** При оперативном управлении распределенными объектами операторами часто приходится оценивать диспетчерам параметры состояния объектов, которые зависят не только от времени, но и от пространственных координат. Для этого необходимо наличие модели, которая учитывает территориальное изменение коэффициентов, используемых для описания динамического поведения распределенных объектов.

**Анализ последних достижений и публикаций.** Современные технологические комплексы представляют собой интеграцию множества территориально распределенных объектов и систем управления. Задачи оценивания текущего состояния таких систем и определение оптимального управления представляют значительную трудность, что приводит к недопустимым затратам времени при оперативном управлении [1,2].

Функционирование распределенных объектов можно моделировать с помощью поверхностей (непрерывных оболочек) аппроксимируя значения различных параметров (например, тип почв (способность почв впитывать воду, поступающую с поверхности) (рис.1 а); тип выращиваемых культур (количество воды, расходуемое растениями на создание единицы урожая основной продукции) (рис.1 б) ) по всей области существования объекта [3].

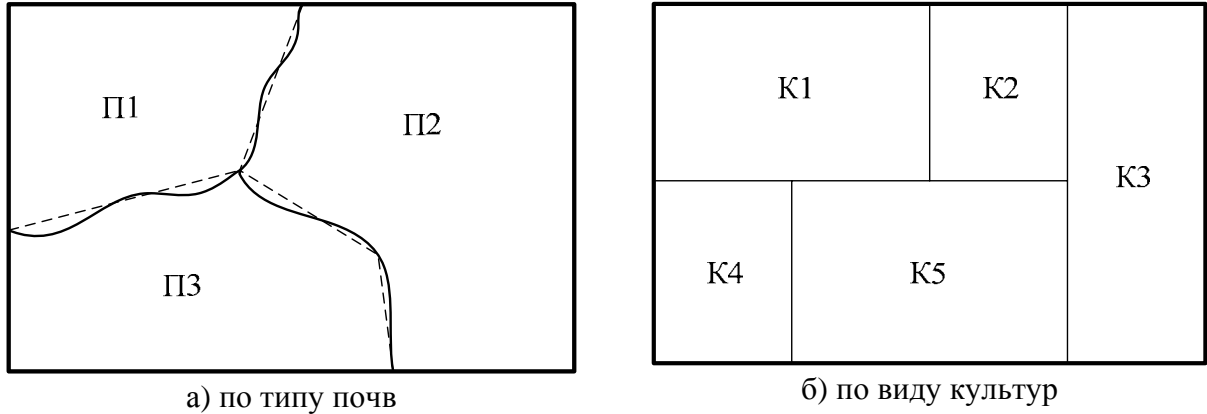


Рис.1. Классификация орошаемой территории

Для учета изменений различных коэффициентов в зависимости от пространственных координат в поверхностной модели можно использовать функции принадлежности.

**Целью статьи** является исследование возможности применения функций принадлежности для моделирования учета различных коэффициентов в пространственно распределенных объектах.

**Основная часть.** Любой пространственный коэффициент  $k(x)$ , зависящий от одной координаты  $x$  и принимающий различные значения на разных участках можно представить в виде одномерной функции (рис.2).

На графике  $k(x)$ , изображенном на рис.2, можно выделить области постоянства значений  $k_i$  и переходные участки  $k_{ij}$ :

$$k(x) = \begin{cases} k_i = const, x \in l_i, \forall i \\ k_{ij} = var, x \in l_{ij}, \forall i, j \end{cases} \quad (1)$$

Построим модель изменения коэффициентов при следующих допущениях:

- существуют области постоянства значений  $l_i$ ;
- границы областей плотно примыкают друг к другу;
- существуют переходные участки  $l_{ij}$ , где коэффициенты изменяются плавно (линейно);
- границы проходят через центры переходных участков, и значения коэффициентов на границе определяются как среднее арифметическое значение коэффициентов смежных зон;
- размеры всех переходных зон одинаковы  $l_{12}=l_{23}=l_{34}=2\Delta$ .

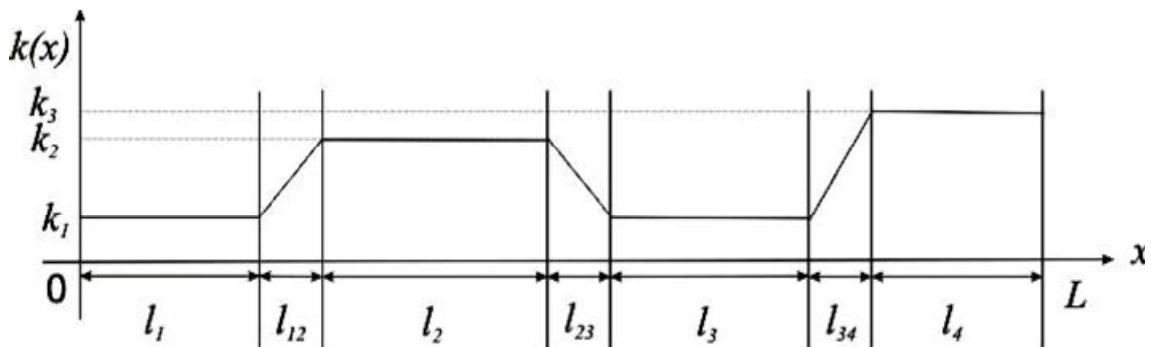


Рис. 2. График изменения коэффициента по координате  $x$

Таким образом, для удобства моделирования параметров распределенного объекта с учетом принятых допущений введем ряд дополнительных обозначений (рис.3):

- $j = i + 1$  - номер соседней области
- $x_{ij}$  - граница между соответствующими областями  $l_i$  и  $l_j$ ;
- $c_i = a_{i+1} = x_{ij} - \Delta$  - правая граница области  $l_i$ ;
- $d_i = b_{i+1} = x_{ij} + \Delta$  - левая граница области  $l_{i+1}$ ;
- $\Delta = const, \forall l \in L$ .

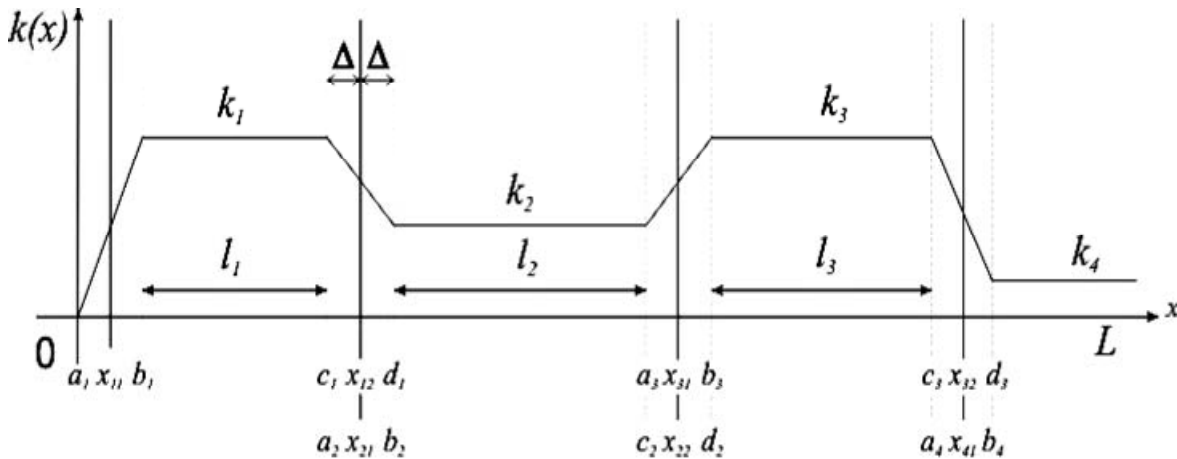


Рис. 3. Геометрическое соответствие описания распределенных областей

Для формирования зависимостей  $k(x), x \in (0, L)$  целесообразно использовать функции принадлежности П-образного вида [4], которые можно также получить на основе S и Z-образных функций принадлежности по формуле:

$$f_{\Pi}(x) = f_S(x) \cdot f_Z(x). \tag{3}$$

Типовые функции принадлежности S и Z-типа являются: трапециевидная, сплайн-функция, гауссова и сигмоидная. Функции принадлежности для описания переходных участков с учетом принятых допущений и обозначений (2) можно задать следующим образом:

Функции принадлежности трапециевидной формы:

<p>S-образная</p> $f_S(x, a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{x-a}{b-a}, & \text{если } a < x < b; \\ 1, & \text{если } x \geq b; \end{cases}$	<p>Z-образная</p> $f_Z(x, c, d) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \leq c; \\ \frac{d-x}{d-c}, & \text{если } c < x < d; \\ 0, & \text{если } x \geq d. \end{cases} \tag{4}$
---	---

Сплайн-функции принадлежности:

<p>S-образная</p> $f_S(x, a, b) = \begin{cases} 0, & \text{если } x \leq a; \\ \frac{2 \cdot (x-a)^2}{(b-a)^2}, & \text{если } a < x \leq x_{01}; \\ 1 - \frac{2 \cdot (b-x)^2}{(b-a)^2}, & \text{если } x_{01} < x < b; \\ 1, & \text{если } x \geq b; \end{cases}$	<p>Z-образная</p> $f_Z(x, a, b) = \begin{cases} 1, & \text{если } x \leq c; \\ 1 - \frac{2 \cdot (x-c)^2}{(d-c)^2}, & \text{если } c < x \leq x_{02}; \\ \frac{2 \cdot (d-x)^2}{(d-c)^2}, & \text{если } x_{02} < x < d; \\ 0, & \text{если } x \geq d; \end{cases} \tag{5}$
--	--

где  $x_{01} = \frac{a+b}{2}$  - центр левой границы;  $x_{02} = \frac{c+d}{2}$  - центр правой границы.

Гауссовы функции принадлежности:

S-образная

Z-образная

$$f_s(x, b, \sigma) = \begin{cases} \exp\left[-\frac{(x-b)^2}{2\sigma^2}\right], & \text{если } x < b; \\ 1, & \text{если } x > b; \end{cases} \quad f_z(x, c, \sigma) = \begin{cases} 1, & \text{если } x < c; \\ \exp\left[-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}\right], & \text{если } x > c; \end{cases} \quad (6)$$

где  $\sigma = \frac{2 \cdot \Delta}{3}$  - коэффициент концентрации;  $\Delta = \frac{b-a}{2} = \frac{d-c}{2}$  - размер переходных участков.

Сигмоидные функции принадлежности:

S-образная

Z-образная

$$f_s(x, x_{01}, \delta) = \frac{1}{1 + \exp[-\delta(x - x_0)]}; \quad f_z(x, x_{02}, \delta) = \frac{1}{1 + \exp[\delta(x - x_0)]}, \quad (7)$$

где  $\delta = \frac{2}{\Delta} \cdot \ln\left(\frac{1}{\varepsilon} - 1\right)$  - коэффициент крутизны;  $\varepsilon$  - допустимая ошибка;  $x_{01}, x_{02}$  - центры левого и правого переходных участков соответственно.

Графики соответствующих П-образных функций принадлежности, полученных на основе S и Z-образных функций по выражению (3) приведены на рис.4.

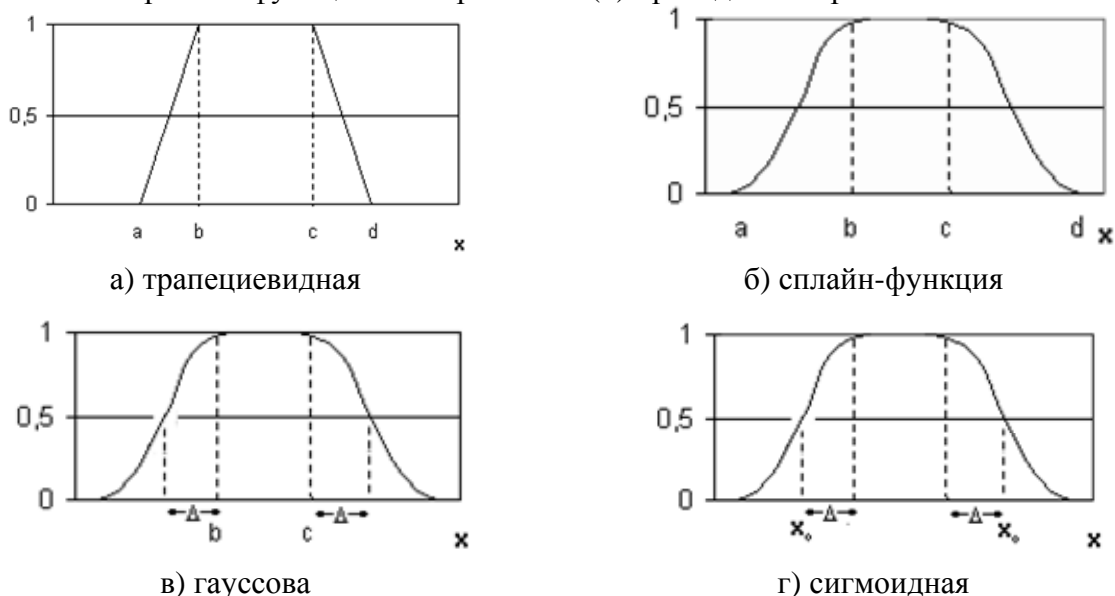


Рис. 4. Функции принадлежности

Модель пространственно изменяемого коэффициента будем формировать следующим образом:

$$k(x) = \sum_{i=1}^n k_i(x) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_{\Pi_i}(x), \quad (8)$$

где  $n$  - количество областей;  $k_i$  - значение коэффициента;  $f_{\Pi_i}(x)$  - П-образная функция принадлежности для  $i$ -области.

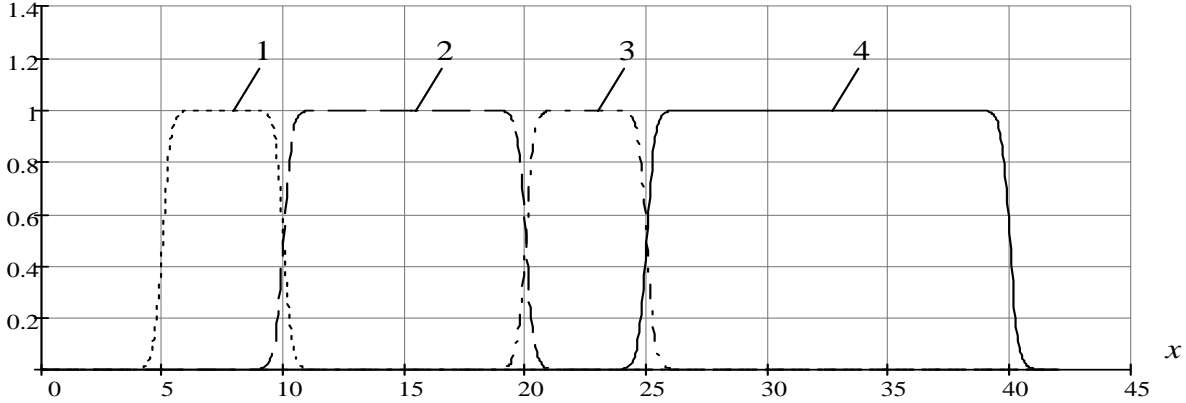
С точки зрения программной реализации наиболее простыми оказались сигмоидные функции принадлежности, для формирования которых не требуется проверки граничных условий (отсутствуют логические операции).

Моделирование графика изменения пространственного коэффициента  $k(x)$  проводилось при следующих исходных данных: количество смежных участков -  $n = 4$ ; вектор координат центров переходных участков (четких границ между областями) -  $\vec{x} = (5,10,20,25,40)^T$ ; вектор значений коэффициентов в областях постоянства -  $\vec{k} = (0.5;0.8;0.4;1)^T$ ; характерный размер переходных участков -  $\Delta = 0,5$ ; допустимое отклонение значений коэффициентов в точках стыковых переходных участков и областей постоянства параметров -  $\varepsilon = 0,05$ .

Результаты моделирования функций принадлежности и пространственного коэффициента  $k(x)$  приведены на рис.5.

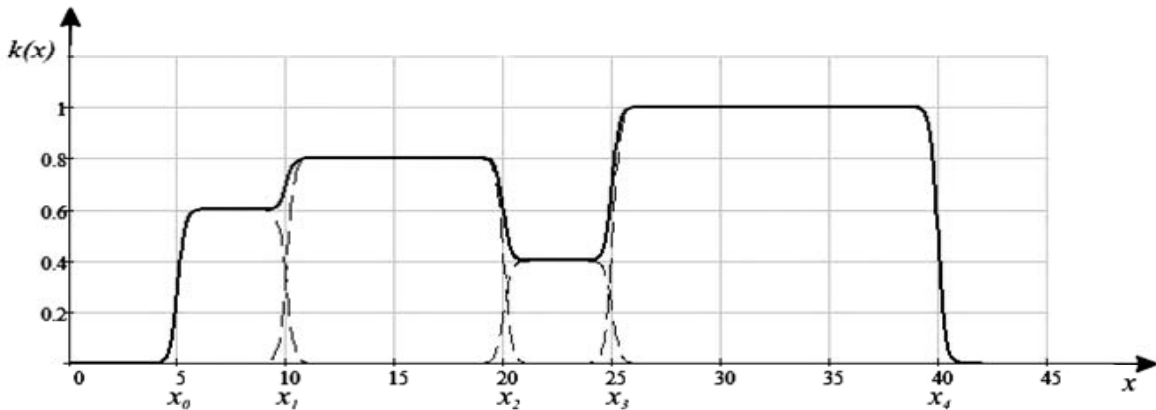
Аналогичным образом можно при моделировании учитывать разнообразные коэффициенты в территориально распределенных объектах, которые зависят от двух координат  $k(x, y)$ .

$f_{\Pi_i}(x)$



а) сигмоидные П-образные функции принадлежности  $f_{\Pi_i}(x)$  для каждого участка:

1 –  $f_{\Pi_1}(x)$ ; 2 –  $f_{\Pi_2}(x)$ ; 3 –  $f_{\Pi_3}(x)$ ; 4 –  $f_{\Pi_4}(x)$ .



б) пространственный коэффициент  $k(x)$ :

Рис.5. Результат моделирования зависимости  $k(x)$ .

В этом случае П-образные пространственные функции принадлежности можно получить перемножением П-образных функций принадлежности по соответствующим координатам:

$$f_{\Pi}(x, y) = f_{x_{\Pi}}(x) \cdot f_{y_{\Pi}}(y), \quad (9)$$

где функции  $f_{x_{\Pi}}(x)$  и  $f_{y_{\Pi}}(y)$  формируются по выражениям (3).

Модель пространственного коэффициента  $k(x, y)$  изменяющегося по двум координатам запишется аналогично (8) в виде:

$$k(x, y) = \sum_{i=1}^n k_i(x, y) = \sum_{i=1}^n k_i \cdot f_{\Pi_i}(x, y), \quad (10)$$

где  $n$  - количество областей;  $k_i$  - значение коэффициента;  $f_{\Pi_i}(x, y)$  - П-образная функция принадлежности для  $i$ -области с координатами  $(x_{1i}, y_{1i}; x_{2i}, y_{2i})$ . Расположение характерных координат для задания  $i$ -области прямоугольной формы можно представить в виде матрицы

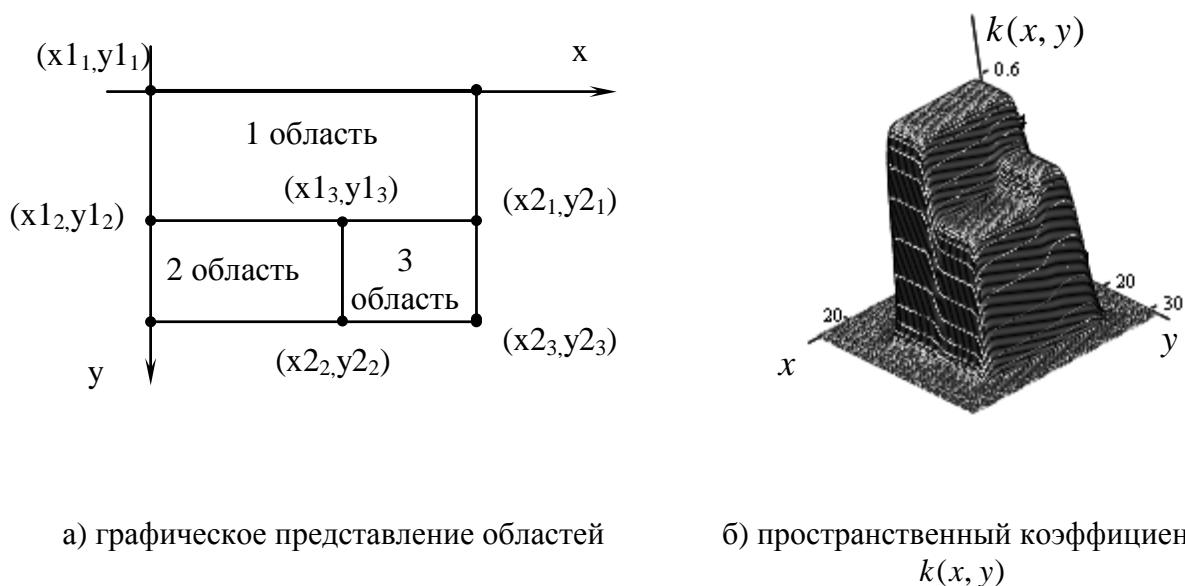
$$Q_i = \begin{pmatrix} x_{1i} & y_{1j} \\ x_{2i} & y_{2j} \end{pmatrix}, \quad (11)$$

где  $(x_{1i}, y_{1j})$  - координаты левого верхнего угла;  $(x_{2i}, y_{2j})$  - координаты правого нижнего угла.



Моделирование изменения пространственного коэффициента  $k(x, y)$  проводилось при следующих исходных данных: количество смежных областей –  $n = 3$ ; матрица характерных координат областей –  $Q_1 = \begin{pmatrix} 5 & 10 \\ 20 & 20 \end{pmatrix}$ ,  $Q_2 = \begin{pmatrix} 5 & 20 \\ 10 & 30 \end{pmatrix}$ ,  $Q_3 = \begin{pmatrix} 10 & 20 \\ 30 & 30 \end{pmatrix}$ ; вектор значений коэффициентов в областях постоянства –  $\vec{k} = (0.5; 0.8; 0.4)^T$ ; характерный размер переходных участков –  $\Delta = 0,5$ ; допустимое отклонение значений коэффициентов в точках стыковых переходных участков и областей постоянства параметров –  $\varepsilon = 0,05$ .

Результаты моделирования пространственного коэффициента  $k(x, y)$  для рассматриваемого разделения на области постоянства (рис.6а) приведены на рис. 6б.



а) графическое представление областей

б) пространственный коэффициент  $k(x, y)$

Рис.6. Результаты моделирования зависимости  $k(x, y)$

**Выводы.** Для моделирования учета различных значений коэффициентов в распределенных объектах можно использовать функции принадлежности П-типа, которые формируются из S и Z-образных функций принадлежности, соответствующих границам (переходным участкам) между отдельными областями.

Наиболее простыми по алгоритму реализации являются сигмоидные функции. Для формирования непрерывной аппроксимирующей функции  $k(x)$  достаточно задать характерные параметры областей  $x_i$ , размеры переходных участков  $\Delta$  и допустимую ошибку  $\varepsilon \leq 0,05$ .

Рассмотренный подход можно применить при моделировании территориально распределенных объектов  $k(x, y)$  и для областей произвольной формы с использованием аффинных или полиномиальных преобразований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления./Под ред., Н.Д.Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2002. – 744с.
2. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Наука, 1978.
3. Поливода О.В., Шейник С.П., Рудакова А.В. Использование непрерывных оболочек для моделирования влагосодержания почвы//Вестник Херсонского национального технического университета. – 2009. - №2(35). – С.357-362.
4. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.:БВХ-Петербург, 2003. – 736с.

КОМПЛЕКСНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ, ПРОИСХОДЯЩИХ В ДУГОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧАХ

Яшина К.В., Садовой А.В.

**Введение.** В последние 10 лет одной из проблем, стоящих перед мировой металлургической промышленностью, является проблема энергосбережения и автоматизации электросталеплавильного производства. Эффективный способ решения данной проблемы – построение алгоритма оптимального управления работой дуговой электросталеплавильной печи (ДСП) на основе математического моделирования ее работы [1]. При этом целесообразно уделить внимание рассмотрению тепловых процессов, протекающих в дуговых сталеплавильных печах. На сегодняшний день существует ряд работ, направленных на детальное рассмотрение сложного теплообмена в рабочем пространстве ДСП: теплообмена излучением между поверхностями электродов, шихтой, стенами, сводом и днищем печи, конвективного теплообмена между твердой шихтой, расплавом, шлаком, печным газом, футеровкой, теплопереноса внутри твердой, жидкой, газообразной фаз [2 - 12]. Однако, описанные в работах [2 - 12] исследования имеют ряд недостатков: на начальной стадии работы печи рассматривается один общий колодец, образующийся в шихте в результате работы трех электродов; отсутствует точный расчет энергии химических реакций; не учитывается состав шихты, расплава, шлака, печного газа, форма печи. Кроме того, модели тепловых процессов, происходящих в ДСП, выполнялись в двумерной постановке и основались на исследованиях, проведенных авторами работ [2 - 12]. Следовательно, они не могут полноценно описывать тепловую работу дуговых электросталеплавильных печей.

**Постановка задачи.** Задачами исследования является рассмотрение тепловых процессов, происходящих в ДСП, с учетом значений мощности, подаваемой в печь каждым электродом, количества тепла химических реакций, состава шихты, расплава, шлака, печного газа, формы печи.

**Результаты работы.** Рассмотрим плавление шихты в рабочем пространстве дуговой электросталеплавильной печи для случая загрузки шихты на «болото». Если  $t_{плавки}$  - время плавки,  $\tau$  - шаг по времени, тогда  $t = 0, \tau, \dots, t_{плавки}$  - моменты времени, в которые вычисляются значения температуры шихты в ДСП. Считаем, что в каждый момент времени  $t$  известна активная мощность, поступившая в печь на интервале от  $t - \tau$  до  $t$ , а также состав шихты и «болота».

Период тепловой работы дуговой печи можно условно разделить на три стадии: зажигание электрических дуг, проплавление колодцев, плавление закрытыми дугами [13 - 14].

На стадии зажигания электрических дуг распределение температур в объеме шихты описывается уравнением теплопроводности в цилиндрических координатах [2]:

$$c_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \rho_{ш}(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial z}), \quad (1)$$

$$0 < r < R_{ш}, \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad 0 < z < Z_{ш},$$

где  $r, \varphi, z$  – цилиндрические координаты,  
 $T_{ш}(r, \varphi, z, t)$  – температура шихты (K),

$\rho_{ш}(r, \varphi, z, t)$  – насыпная плотность шихты ( $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ),

$c_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t)$  – теплоемкость шихты ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ),

$\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t)$  – теплопроводность шихты ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ) [2].

Теплоемкость шихты находим по формуле:

$$c_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) = \tilde{c}_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t)(1 - p(r, \varphi, z, t)),$$

где  $\tilde{c}_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t)$  – средняя теплоемкость в исследуемом интервале температур ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ),

$p(r, \varphi, z, t)$  – порозность шихты [2].

Зная состав шихты, среднюю теплоемкость в исследуемом интервале температур найдем по формуле:

$$\tilde{c}_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^N c_i(T_{ш}) \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_{ш}(r, \varphi, z, t)},$$

где  $c_i(T_{ш})$  – теплоемкость  $i$  химического элемента (соединения) при температуре  $T_{ш}$  ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ ),

$m_i(r, \varphi, z, t)$  – масса  $i$  химического элемента (соединения) (кг).

Распределение температур в объеме «болота» на данном этапе описывается уравнением :

$$\begin{aligned} c_B(T_B, r, \varphi, z, t) \rho_B(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_B(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_B(T_B, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_B(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_B(T_B, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_B(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_B(T_B, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_B(r, \varphi, z, t)}{\partial z}), \end{aligned} \quad (2)$$

$$0 < r < R_{ш}, \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad Z_{ш} < z < Z_B,$$

где  $T_B(r, \varphi, z, t)$  – температура «болота» (К),

$\rho_B(T_B, r, \varphi, z, t)$  – плотность «болота» ( $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ),

$c_B(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплоемкость «болота» ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$ )

$\lambda_B(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплопроводность «болота» ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ).

Плотность «болота», зная его химический состав, находим по формуле:

$$\rho_B(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^M \rho_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_B(r, \varphi, z, t)},$$

где  $m_B(r, \varphi, z, t)$  – масса «болота» (кг).

Теплоемкость и теплопроводность «болота» найдем с помощью выражений:

$$c_B(T_B, r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^M c_i(T_B) \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_B(r, \varphi, z, t)}, \quad \lambda_B(T_B, r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^M \lambda_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_B(r, \varphi, z, t)}.$$

Начальными условиями для уравнений (1), (2) являются поля температур для шихты  $T_{ш}(r, z, \varphi, 0)$  и «болота»  $T_B(r, z, \varphi, 0)$ .

Первая стадия продолжается до тех пор, пока не наступит устойчивое горение электрических дуг.

На стадии проплавления колодцев распределение температур в объеме шихты описывается уравнением теплопроводности:

$$c_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \rho_{ш}(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial z}) + \\ + \tilde{Q}_{ХИМ}(r, \varphi, z, t), \\ 0 < r < R_{ш}, 0 < \varphi < 2\pi, 0 < z < Z_{ш},$$

где  $\tilde{Q}_{ХИМ}(r, \varphi, z, t)$  - тепло химических реакций (Дж).

Распределение температур в «болоте» описывается уравнениями теплопроводности (2).

В зоне пятна  $i$  дуги ( $r_i = R_{ki}$ ,  $\varphi_i = \Phi_{ki}$ ,  $z_i = Z_{ki}(t)$ ) на поверхности шихты задано граничное условие:

$$-\lambda_{ш}(T_{ш}, r = R_{ki}, \varphi = \Phi_{ki}, z = Z_{ki}(t), t) \frac{\partial T_{ш}(r = R_{ki}, \varphi = \Phi_{ki}, z = Z_{ki}(t), t)}{\partial z} = \\ = \varepsilon_{ш} \sigma (T_{ди}^4(t) - (T_{ш}^4(r = R_{ki}, \varphi = \Phi_{ki}, z = Z_{ki}(t), t))), i = 1..3$$

где  $T_{ди}(t)$  - температура дуги  $i$  фазы.

На стадии плавления закрытыми дугами распределение температур в объеме шихты описывается уравнением:

$$c_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \rho_{ш}(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_{ш}(T_{ш}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{ш}(r, \varphi, z, t)}{\partial z}) + \\ + \tilde{Q}_{ХИМ}(r, \varphi, z, t) + \tilde{Q}_{КОН}(r, \varphi, z, t), \\ 0 < r < R_{ш}, 0 < \varphi < 2\pi, 0 < z < Z_{ш},$$

где  $\tilde{Q}_{КОН}(r, \varphi, z, t)$  - тепло, подводимое к шихте конвекцией с печными газами, которыми заполнена атмосфера печи (Дж) [3].

Распределение температур в объеме «болота» на данном этапе описывается соответственно уравнениями теплопроводности для расплава и шлаковой прослойки:

$$c_p(T_p, r, \varphi, z, t) \rho_p(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_p(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_p(T_p, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_p(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) + \\ + \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_p(T_p, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_p(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_p(T_p, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_p(r, \varphi, z, t)}{\partial z}) + \\ + \tilde{Q}_{ХИМ}(r, \varphi, z, t), \\ 0 < r < R_{ш}, 0 < \varphi < 2\pi, Z_{ш} + Z_{шл} < z < Z_{шл} + Z_{б}.$$

$$c_{\text{шл}}(T_{\text{шл}}, r, \varphi, z, t) \rho_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (\lambda_{\text{шл}}(T_{\text{шл}}, r, \varphi, z, t) r \frac{\partial T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)}{\partial r}) +$$

$$+ \frac{1}{r^2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\lambda_{\text{шл}}(T_{\text{шл}}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)}{\partial \varphi}) + \frac{\partial}{\partial z} (\lambda_{\text{шл}}(T_{\text{шл}}, r, \varphi, z, t) \frac{\partial T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)}{\partial z}) +$$

$$+ \tilde{Q}_{\text{ХИМ}}(r, \varphi, z, t) + \sum_{i=1}^3 \tilde{Q}_{\text{д}i}(r, \varphi, z, t),$$

$$0 < r < R_{\text{ш}}, \quad 0 < \varphi < 2\pi, \quad Z_{\text{ш}} < z < Z_{\text{ш}} + Z_{\text{шл}},$$

где  $T_p(r, \varphi, z, t)$  – температура расплава ( $K$ ),

$\rho_p(T_B, r, \varphi, z, t)$  – плотность расплава ( $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ),

$c_p(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплоемкость расплава ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot K}$ ),

$\lambda_p(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплопроводность расплава ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ),

$T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)$  – температура шлака ( $K$ ),

$\rho_{\text{шл}}(T_B, r, \varphi, z, t)$  – плотность шлака ( $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ),

$c_{\text{шл}}(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплоемкость шлака ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot K}$ ),

$\lambda_{\text{шл}}(T_B, r, \varphi, z, t)$  – теплопроводность шлака ( $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ),

$\tilde{Q}_{\text{д}i}(r, \varphi, z, t)$  – тепло, выделяемое в шлаке и в жидкой ванне в результате непосредственного контакта с дугой  $i$  фазы ( $\text{Дж}$ ), вычисляемое по формуле:

$$\tilde{Q}_{\text{д}i}(r, \varphi, z, t) = \alpha_A (T_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t) - T_{\text{д}i}(r, \varphi, z, t)) c_{\text{шл}}(T_{\text{шл}}, r, \varphi, z, t) m_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t).$$

Плотность расплава и шлака найдем с помощью выражений:

$$\rho_p(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^K \rho_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_p(r, \varphi, z, t)},$$

где  $K$  – количество химических элементов (соединений) в расплаве,

$m_p(r, \varphi, z, t)$  – масса расплава ( $\text{кг}$ ).

$$\rho_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^L \rho_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)},$$

где  $L$  – количество химических элементов (соединений) в шлаке,

$m_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)$  – масса шлака ( $\text{кг}$ ).

Теплоемкость и теплопроводность расплава и шлака найдем по формулам:

$$c_p(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^K c_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_p(r, \varphi, z, t)}, \quad \lambda_p(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^K \lambda_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_p(r, \varphi, z, t)}$$

$$c_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^L c_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)}, \quad \lambda_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t) = \sum_{i=1}^L \lambda_i \cdot \frac{m_i(r, \varphi, z, t)}{m_{\text{шл}}(r, \varphi, z, t)},$$

Задание граничных условий на оси симметрии печи, поверхности соприкосновения «болота» с футеровкой стен печи или пода и моделирования радиационного теплообмена на каждой стадии тепловой работы дуговой печи детально рассмотрено в [2 - 12].

На основе описанных исследований авторами статьи построена трехмерная модель расчета тепловых режимов дуговых электросталеплавильных печей. При этом для решения уравнений теплопроводности применен метод конечных элементов.

Для проверки адекватности созданной модели рассмотрим плавку шихты в дуговой электросталеплавильной печи вместимостью 100 тонн при 20 тоннах «болота». Для задания электрического режима плавки, составов шихты и «болота», моментов подвалок, воспользуемся режимными картами и протоколами плавки ДСП-3 Белорусского металлургического завода [5].

В табл. 1 приведены данные протоколов плавки о замерах температуры верхнего слоя шихты и значения этих температур, вычисленные с помощью модели.

Таблица 1

Данные замеров температур

№ плавки	Время начала плавки	Время окончания плавки	Время замера температуры	Значение температуры верхнего слоя шихты, К (протоколы плавки)	Значение температуры верхнего слоя шихты, К (расчет)
1	18:28	19:24	19:04	1492	1474
			19:13	1520	1497
			19:22	1762	1751
			19:24	1781	1774
2	17:28	19:35	19:11	1603	1614
			19:16	1677	1690
			19:17	1614	1600
			19:23	1658	1676
			19:33	1769	1773
			19:36	1779	1790

На рис.1, рис.2 приведены графики зависимости среднемассовой температуры шихты и «болота» от времени плавки. Эти графики построенные по данным, вычисленным с помощью разработанной авторами модели. Кроме того, на рис.1, рис.2 показаны значения среднемассовых температур шихты и «болота», полученные в ходе эксперимента [5]. При этом различие расчетных и экспериментальных данных не превышает 3 %.

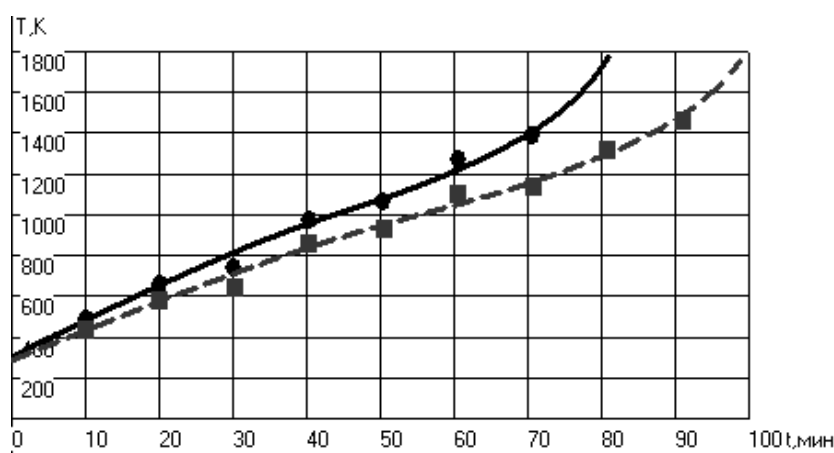


Рис. 1. Зависимость среднемассовой температуры шихты от времени  
 -- плавка №1, расчет с помощью математической модели  
 --- плавка №2, расчет с помощью математической модели  
 ● плавка №1, экспериментальные данные  
 ■ плавка №2, экспериментальные данные

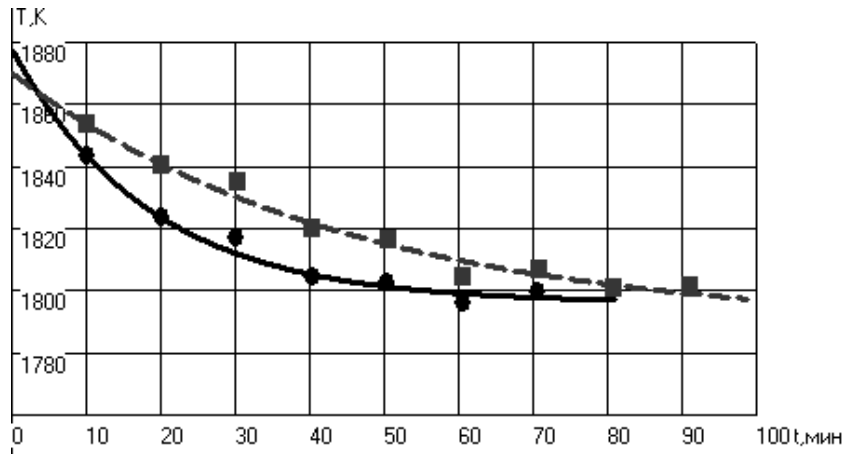


Рис. 2. Залежність середньомасової температури «болота» від часу  
 -- плавка №1, расчет с помощью математической модели  
 --- плавка №2, расчет с помощью математической модели  
 ● плавка №1, экспериментальные данные  
 ■ плавка №2, экспериментальные данные

**Выводы.** Таким образом, авторами статьи при исследовании тепловых процессов, протекающих в ДСП, впервые учитывались форма печи, величина тепла химических реакций, состав шихты, расплава, шлака, печного газа, значение мощности, подаваемой в печь каждым электродом. На основе этих исследований впервые построена трехмерная математическая модель тепловых процессов, происходящих в дуговых электросталеплавильных печах. Адекватность этой модели подтверждена сравнением с экспериментальными данными. Следовательно, она может быть применима для разработки алгоритма рационального управления работой ДСП.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Качественная оценка способа автоматизированного управления работой дуговых сталеплавильных печей на основе комплексной математической модели. / К.В.Яшина, В.Ю. Болотов, Ю.А. Болотова. – Сборник научных трудов Список источников Днепродзержинского государственного технического университета. – 2007 – №8 – С. 217 – 221.
2. Моделирование и расчет теплообмена в ДСП / И.И. Игнатов. – Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов / ВИНИЭТО, 1983, С. 3 – 14.
3. Тепловой расчет ДСП с водоохлаждаемыми панелями/ И.И. Игнатов. – Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов / ВИНИЭТО, 1983, с 15 – 17.
4. Моделирование и расчет проплавления колодцев в ДСП / Н.Н. Попов., А.Ф. Моржин – Математическое моделирование и расчет дуговых и плазменных сталеплавильных печей. Сборник научных трудов / ВИНИЭТО, 1983, с 17 – 19.
5. Тимошпольский В.И. Теплотехнологические основы металлургических процессов и агрегатов высшего уровня.– Мн.: Наука і тэхніка, 1995. – 256с.
6. Герцык С.И., Владимиров В.А. Распределение потоков по поверхности металла электродуговой печи в период жидкой ванны// Сталь. – 1998. - № 1. С. 28 – 31.
7. Свенчанский А.Д., Макаров А.Н. Расчеты теплообмена излучением и прогнозирование износа футеровки в ДСП// Электротермические процессы и установки: Сб. тр. / ЧГУ. 1984. С. 3 – 7.
8. Однополозов Л.Б. Вопросы моделирования тепловых процессов в электрических печах. М.: Стандартэлектро, 1966. С. 45 – 50.

9. Макаров А.Н. Методика расчета теплообмена излучением в электродуговых и факельных печах и топках// Проблемы энергосбережения. Теплообмен в электротермических и факельных печах и топках: Материалы Междунар. научн.- техн. конференции. Тверь: ТГТУ, 2001. С. 4 – 8.

10. Теплообмен и тепловые режимы в промышленных печах: Ю.И. Розенгарт, Б.Б. Потапов, В.М. Ольшанский, А.В. Бородулин. – Киев; Донецк: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 296 с.

11. Макаров А.Н., Макаров В.С. Теория и практика лучистого теплообмена в дуговых сталеплавильных печах// Новые направления в электротермии: Сб. тр. № 534 / МЭИ. 1991. С. 77 – 78.

12. Макаров А.Н. Распределение потоков излучения дуг в дуговых сталеплавильных печах трехфазного и постоянного токов в период расплавления// Известия вузов. Черная металлургия. – 1991. - № 2. С. 16 – 19.

13. В.А. Кривандин, А.В. Егоров Тепловая работа и конструкции печей черной металлургии: Учебник для ВУЗов – М.: 1989. - 462 с.

14. Б.С. Мاستрюков Теория, конструкции и расчеты металлургических печей. – М.: Металлургия, 1986. – 232с.



## ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

УДК 621. 317. 337.

ИЗМЕРЕНИЕ ДОБРОТНОСТИ КОЛЕБАТЕЛЬНОГО КОНТУРА НА  
ОСНОВЕ МЕТОДА БИЕНИЯ ЧАСТОТ

Голощاپов С.С., Петровский А.В., Рожко Ж.А., Боярчук А.И.

Для измерения добротности контуров и реактивных двухполюсников широко используются резонансные методы, как наиболее точные для измерения высоких уровней добротности: метод отношения напряжений, метод самовозбуждения, метод ударного возбуждения, метод расстройки частоты и метод измерения ГОСТ 18986.19-76.

Метод отношения напряжений трудно использовать при измерении добротности нелинейных объектов ( $p$ - $n$  переходов, катушек с ферромагнитными сердечниками), поскольку уровень высокочастотного напряжения в момент резонанса на объекте измерения не должен превышать десятков милливольт. Методы самовозбуждения и ударного возбуждения имеют ограниченный частотный диапазон и не могут быть использованы для измерения добротности высокочастотных радиокомпонентов, основанных на использовании барьерной емкости  $p$ - $n$  перехода. В методе измерения ГОСТ 18986.19-76 отсутствуют недостатки, присущие рассмотренным методам, однако необходимость применения высокочастотного усилителя со значительным коэффициентом усиления обуславливает временной и температурный дрейф измерительного сигнала. Метод расстройки частоты в этом плане дает значительно более стабильные результаты, поскольку оперирует отношением амплитуд сигналов при расстройке и резонансе и, следовательно, его точность не зависит от степени дрейфа коэффициента высокочастотного усилителя. Существенный недостаток метода – потеря информационной составляющей в амплитудном детекторе из-за нелинейности начального участка вольтамперной характеристики выпрямляющих диодов. Этот недостаток свойственен всем методам, где используются амплитудные детекторы. Применение амплитудного детектора на базе операционного усилителя неприемлемо из-за ограниченного частотного диапазона последнего. Построение синхронного детектора на высокие частоты связано с определенными техническими трудностями. Неплохие результаты в этом отношении дает детектор, диоды которого приоткрыты постоянным током [1]. Однако и он не дает возможности полностью избавиться от погрешности, вносимой амплитудным детектором. В радиотехнике, чтобы уйти от этого явления при передаче сигналов, не терпящих сколь либо серьезных искажений (фонограмм, речи) ограничивают глубину амплитудной модуляции (обычно на уровне  $\approx 30\%$ ). Аналогичный прием можно осуществить и в нашем случае, то есть в качестве информации использовать амплитуду огибающей кривой амплитудно-модулированного сигнала. При этом для детектирования огибающей можно использовать схемы амплитудных выпрямителей на базе операционных усилителей (ОУ), которые практически не вносят погрешности, обусловленной нелинейностью вольтамперной характеристики выпрямительного диода [2]. Трудность состоит в том, что для качественных измерений в этом случае необходимо стабилизировать как амплитуду несущей, так и амплитуду огибающей (глубину модуляции).

Гораздо проще в этом отношении для получения низкочастотной составляющей, пропорциональной измерительному сигналу, использовать метод биений. С этой целью на вход последовательного резонансного контура необходимо подать сигнал от двух высокочастотных генераторов со значениями частоты  $f_1$  и  $f_2$  и с равными амплитудами:

$$U_{ex1} = U_{ex2}.$$

Пусть  $f_1$  и  $f_2$  – частоты, незначительно отличающиеся друг от друга, а  $y_1$  и  $y_2$  – соответствующие им значения на резонансной кривой.

Выходное напряжение схемы при действии частоты  $f_1$ :

$$U_{\text{вых}1} = \bar{y}_1 Q U_{\text{ex}1},$$

при действии частоты  $f_2$ :

$$U_{\text{вых}2} = \bar{y}_2 Q U_{\text{ex}2},$$

где  $\bar{y}_1 = y_1 / y_0$ ,  $\bar{y}_2 = y_2 / y_0$ .

$y_0$  - амплитуда резонанса,

$Q$  - значение добротности контура.

Общий выходной сигнал в этом случае будет:

$$U_{\text{вых}} = U_{\text{вых}1} + U_{\text{вых}2} = (\bar{y}_1 Q \sin \omega_1 t + \bar{y}_2 Q \sin \omega_2 t) \cdot U_{\text{ex}}.$$

Примем  $\bar{y}_2 = \bar{y}_1 + \Delta \bar{y}$ .

Тогда

$$\begin{aligned} U_{\text{вых}} &= \bar{y}_1 Q \sin \omega_1 t \cdot U_{\text{ex}} + (\bar{y}_1 + \Delta \bar{y}) Q \sin \omega_2 t \cdot U_{\text{ex}} = \\ &= (2\bar{y}_1 Q \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \Delta \bar{y} Q \sin \omega_2 t) \cdot U_{\text{ex}} \end{aligned} \quad (1)$$

Если принять  $\bar{y}_1 = \bar{y}_2 + \Delta \bar{y}$ ,

то

$$\begin{aligned} U_{\text{вых}} &= \bar{y}_2 Q \sin \omega_2 t \cdot U_{\text{ex}} + (\bar{y}_2 + \Delta \bar{y}) Q \sin \omega_1 t \cdot U_{\text{ex}} = \\ &= (2\bar{y}_2 Q \cos \frac{\omega_1 - \omega_2}{2} t \cdot \sin \frac{\omega_1 + \omega_2}{2} t + \Delta \bar{y} Q \sin \omega_1 t) \cdot U_{\text{ex}} \end{aligned} \quad (2)$$

Первое слагаемое в выражениях (1) и (2) – это биения частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$ , второе – «не-востребованная в биениях» составляющая частоты  $\omega_1$  (или  $\omega_2$ ), вызванная неравенством амплитуд сигналов  $y_1$  и  $y_2$ .

Если протектировать сигнал вида (1) или (2), получим постоянную составляющую от детектирования второго слагаемого плюс сигнал вида двухполупериодного выпрямления частоты  $(\omega_1 - \omega_2) / 2$ . При этом постоянная времени детектора должна быть малой и соответствовать частотам  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

Для выделения составляющей от детектирования второго слагаемого в выражении (1) или (2) необходимо произвести детектирование минимального уровня. С этой целью можно воспользоваться одной из схем амплитудного детектора на базе операционного усилителя, которая практически не обладает погрешностью, свойственной обычным амплитудным детекторам (потеря постоянной составляющей сигнала из-за нелинейности вольтамперной характеристики выпрямительного диода). В этом случае полярность включения выпрямительных диодов должна быть изменена на противоположную по сравнению с обычными амплитудными детекторами [2]. При этом постоянная времени детектора минимального уровня должна быть намного больше периода сигнала на выходе амплитудного детектора, т. е.

$$RC \gg \frac{2}{\omega_1 - \omega_2}.$$

Очевидно, что в момент точной настройки в резонанс  $\bar{y}_1 = \bar{y}_2$  и на выходе детектора минимального уровня сигнал равен нулю.

Поскольку выходной сигнал контура детектируется, а затем из него вычитается составляющая, которая определяет величину биений, значение напряжения на выходе детектора минимального уровня (рис. 1) будет равно:

$$\Delta \bar{y}(f_0) = \left| \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f_1 - f_0}{f_0 - f_1} \right)^2}} - \frac{1}{\sqrt{1 + Q^2 \left( \frac{f_2 - f_0}{f_0 - f_2} \right)^2}} \right|$$

Прямоугольными скобками здесь указывается операция взятия по модулю.

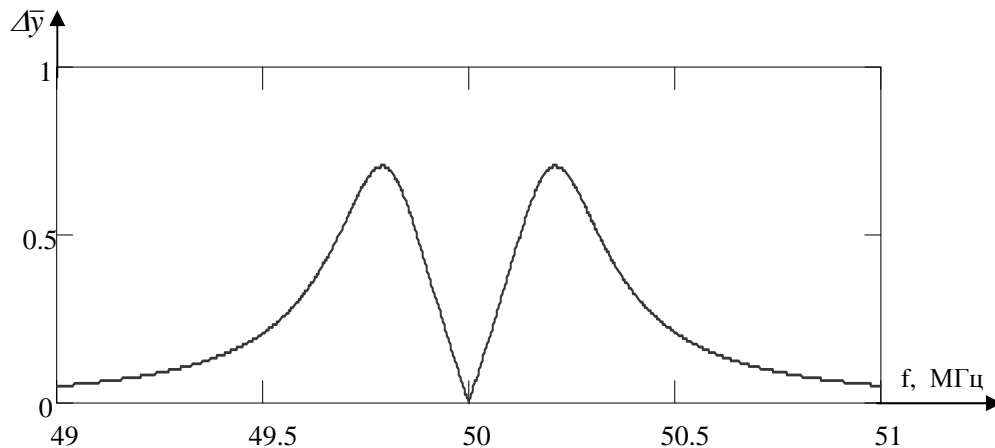


Рис. 1. Напряжение на выходе детектора минимального уровня

Данный метод обладает тем преимуществом, что для регистрации резонанса использует нуль-индикатор, чувствительность которого с целью повышения точности настройки можно увеличивать неограниченно. При этом в качестве самого индикатора могут использоваться стрелочные или цифровые приборы.

Переменную составляющую на выходе амплитудного детектора можно использовать для измерения добротности. Действительно, разложение в ряд сигнала двухполупериодного выпрямления дает [3]:

$$f(\omega t) = \frac{4A}{\pi} \left( \frac{1}{2} + \frac{1}{1 \cdot 3} \cos 2\omega t - \frac{1}{3 \cdot 5} \cos 4\omega t + \frac{1}{5 \cdot 7} \cos 6\omega t - \dots \right),$$

где  $A$  – амплитуда переменной составляющей.

В нашем случае

$$A = 2\sqrt{2}U_{ex}Q.$$

Используем для измерений второй член ряда, частота которого для нашего случая составит  $\omega_1 - \omega_2$ , а амплитуда пропорциональна уровню добротности. В этом случае для получения измерительного сигнала необходимо к выходу амплитудного детектора подключить селективный усилитель, настроенный на частоту  $\omega_1 - \omega_2$ , значение которой невелико и может быть продетектировано амплитудным детектором на базе операционного усилителя.

Схема измерителя добротности, построенная на основе описанного метода, представлена на рис.2.

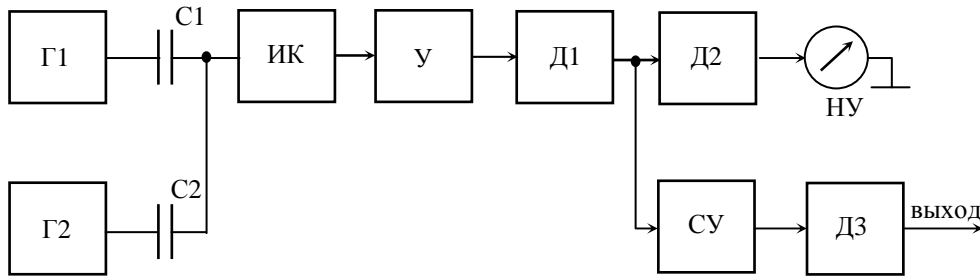


Рис. 2. Схема измерителя добротности с точной настройкой контура в резонанс

Г1, Г2 – генераторы высокочастотного сигнала; С1,С2 – разделительные емкости; ИК – измерительный контур; У – усилитель высокой частоты; Д1 – амплитудный детектор; Д2 – детектор минимального уровня; НУ – нуль-индикатор, СУ – селективный усилитель, Д3 – амплитудный детектор.

Покажем, что в приведенной схеме детекторы Д2 и Д3 могут быть построены на операционных усилителях.

Как известно, уравнение резонансной кривой имеет вид:

$$\frac{y}{y_0} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f}\right)^2}}, \quad (3)$$

где  $f_0$  – частота резонанса.

Учитывая, что при небольшой расстройке ( $\Delta f \ll f_0$ )

$$\frac{f}{f_0} - \frac{f_0}{f} \approx \frac{2\Delta f}{f_0},$$

где  $\Delta f = f - f_0$ ,

получим:

$$\frac{y}{y_0} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{2\Delta f}{f_0}\right)^2}}.$$

Решим полученное выражение относительно  $\Delta f$ :

$$\Delta f = \frac{\sqrt{1-(y/y_0)^2}}{y/y_0} \cdot \frac{f_0}{2Q}.$$

Определим  $\Delta f = f(Q)$  при  $f_0 = 50 \cdot 10^6 \text{Гц}$ ,  $y/y_0 = 0,707$  – точка перегиба резонансной кривой. Результаты расчета сведем в таблицу.

Таблица

Q, ед.	50	100	200	300	400	500
$\Delta f$ , кГц	500	250	125	83,3	62,5	50

Как видно из приведенных расчетов, даже при относительно высокой частоте измерения ( $f = 50 \text{ МГц}$ ), расстройка составляет для высокодобротных систем десятки килогерц. Следовательно, детекторы Д2 и Д3 могут быть построены на операционных усилителях, что позволяет сделать вывод о высоких метрологических характеристиках рассмотренного измерителя добротности.

Частоты  $f_1$  и  $f_2$  могут располагаться симметрично относительно частоты резонанса  $f_0$ . Для подтверждения этого зададимся равенством сигналов  $\bar{y}_1$  и  $\bar{y}_2$  соответственно при частотах:

$$f_1 = f_0 - \Delta f_1, \quad f_2 = f_0 + \Delta f_2.$$

Тогда из (3) следует:

$$\frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{f_0}{f_1}-\frac{f_1}{f_0}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1+Q^2\left(\frac{f_0}{f_2}-\frac{f_2}{f_0}\right)^2}}.$$

Или:

$$\frac{f_0}{f_0 - \Delta f_1} - \frac{f_0 - \Delta f_1}{f_0} = \frac{f_0}{f_0 + \Delta f_2} - \frac{f_0 + \Delta f_2}{f_0}.$$

Решая относительно  $\Delta f_2$  и пренебрегая членами высшего порядка малости, получаем:

$$\Delta f_2 \approx -\Delta f_1 \frac{f_0 + \Delta f_2}{f_0 - \Delta f_1}.$$

Очевидно, что дробь в полученном выражении представляет собой поправку на неравенство значений  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_2$ .

Если принять  $f_0 = 50 \cdot 10^6$  Гц, а  $\Delta f = 100 \div 200$  кГц, что соответствует уровням добротности 100 единиц и более, то указанная поправка составляет десятые доли процента по отношению к частотам  $\Delta f_1$  и  $\Delta f_2$ , а по отношению к частоте  $f_0$  – пренебрежимо мала и не может практически оказать влияния на точность отсчетов  $y$ , т. е. можно принимать

$$\Delta f_1 \approx \Delta f_2 \approx \Delta f.$$

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Горошков Б.И. Элементы радиоэлектронных устройств. Справочник. - М. : Радио и связь, 1988. с. 97.
2. Алексенко А.Г., Коломбет Е.А., Стародуб Г.И. Применение прецизионных аналоговых микросхем. М.: Радио и связь, 1985. с.198, 203.
3. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники, М. : Высшая школа, 1973. с.228.

## ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТВЕРДОТІЛЬНИХ І РІДИННОФАЗНИХ ОБ'ЄКТІВ МЕТОДОМ ГАЗОРОЗРЯДНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ

Завгородній А.Б.

### Вступ

Перші фотографічні зображення електроду, отримані за допомогою газорозрядного свічення у його поверхні, були опубліковані ще в кінці позаминулого сторіччя, але у той час не викликали особливого інтересу, оскільки сприймалися як фототрюк. Проте після того, як в роботах С.Д. Кирліан і В.Х. Кирліан [1 і 2] було доведено, що ці зображення можуть містити важливу інформацію про властивості фотографованих об'єктів, у тому числі і таку, яку важко отримати яким-небудь іншим методом, цей спосіб візуалізації, що став відомим під назвою «ефект Кирліан», привернув широку увагу і став використовуватися в дефектоскопії, фізичному експерименті, криміналістиці і ряді інших областей. Широку дискусію викликала можливість застосування цього методу в біології, наприклад для оцінки стану життєдіяльності рослин, і в медицині, зокрема для діагностики пухлин, оцінки працездатності і психофізичного стану людини, виявлення біологічно активних ділянок шкірного покриву і т.п., тим більше що в деяких медико-біологічних експериментах були отримані обнадійливі результати. Бібліографію з цих питань можна знайти, наприклад, в [3-5]. Широкий інтерес до практичного використання ефекту Кирліан привів і до певних проблем: з'явилися публікації (див., наприклад [6,7]), що містили явно ненаукові концепції, чому неабиякою мірою сприяла відсутність у той час чітких уявлень про фізичні процеси, що лежать в основі цього способу візуалізації.

На цей час можна вважати встановленим [3, 8-11], що формування зображень при ефекті Кирліан обумовлене виникненням газового розряду між поверхнею досліджуваного об'єкту і другим електродом, здатним фіксувати дію цього розряду і його характерні особливості. Таким носієм зображення може служити фотоматеріал, люмінесцентний екран і т.п.

### Постановка завдання

Грамотне і ефективне застосування методів ГРВ для дослідження рідиннофазних об'єктів можливо лише на основі чіткого уявлення про основні відмінності при візуалізації таких об'єктів від твердофазних, роботі з якими присвячена досить велика кількість публікацій, наприклад [11-13]. Основною метою даної роботи є експериментальні дослідження характеру розподілу щільності почорніння негативного газорозрядного зображення рідиннофазних об'єктів, а також зіставлення отриманих результатів з даними візуалізації твердотілих об'єктів (в першу чергу – металевих пластин з пазами різної ширини і глибини).

### Фізичні основи експерименту

Метод лавинної ГРВ застосовується в даний час досить широко. На рис.1 приведені схема простого пристрою для реалізації цього методу, а на рис.2 - характерні приклади отримуваних з його допомогою зображень досліджуваних об'єктів.

Пристрій для лавинної ГРВ (див. рис.1) можна розглядати як плоский багатопарний конденсатор, тоді падаюча на розрядному проміжку напруга:

$$U' = \frac{Ud}{\epsilon_r} \left( \frac{\delta_1}{\epsilon_1} + \frac{d}{\epsilon_r} + \frac{\delta_2}{\epsilon_2} \right)^{-1} \quad (1)$$

де  $U$  – миттєве значення амплітуди зовнішньої напруги,  $\delta_1, \epsilon_1, \delta_2, \epsilon_2$  - товщини і діелектричні проникності ізолюючих шарів по обидві сторони розрядного зазору,  $d$  і  $\epsilon_r$  - протяжність і діелектрична проникність газового проміжку. Електронна лавина виникає в той момент, коли величина  $U'$  стає рівною потенціалу запалення розряду  $U_3$ . Ця величина

залежить від параметра  $pd$  ( $p$  – тиск газу), причому для кожного газу ця залежність корелює з відповідною кривою Пашена. Електронна лавина виникнувши, розповсюджується по прямій лінії до анода; її поява супроводжується імпульсом струму в розрядному ланцюзі і свіченням газу. По міру того, як напруга  $U'$  стає вищою  $U_s$ , збільшується амплітуда імпульсу струму і пропорційно їй інтенсивність свічення, а також кількість розрядних актів (лавін), що приходяться на одиницю площі поверхні електроду. Свічення, що продукується лавиною, залежить від хімічного складу газу, який визначає спектральний склад і інтенсивність світіння.

Фізичні процеси, що лежать в основі безпосередньо газового розряду в розрядному проміжку досить детально описані в [15]. Зокрема, автор описує поведінку носіїв заряду (в першу чергу – електронів), висуваючи припущення про те, що електрони не зазнають зіткнень. Це має сенс, якщо частота коливань така висока або зіткнення такі рідкісні, що за час між зіткненнями електрон встигає зробити багато осциляцій  $\omega \gg \nu_m$ . Проінтегруємо рівняння «беззіткнувального» руху

$$mv = -eE_0 \sin \omega t \quad r = v, \quad (2)$$

яке має рішення

$$v = \frac{eE_0}{m\omega} \cos \omega t + v_0 \quad r = \frac{eE_0}{m\omega^2} \sin \omega t + v_0 t \quad (3).$$

Електрон осцилює з частотою поля на тлі поступального руху з довільною швидкістю  $v_0$ . Амплітуди зсуву і коливальної швидкості рівні

$$a = \frac{eE_0}{m\omega^2} \quad u = \frac{eE_0}{m\omega} \quad (4)$$

Зсув знаходиться у фазі з полем, а швидкість зсунута по фазі на  $\pi/2$ . Граничний випадок «беззіткнувальних» коливань приблизно реалізується на оптичних частотах, а також в СВЧ діапазоні при низькому тиску  $p \leq 10$  торр.

Зіткнення порушують строго гармонійний режим коливань електрона, «збиваючи» його фазу. Різка зміна напрямку руху при розсіянні заважає електрону набути повний розмах зсувів (4), який може викликати прикладена сила, оскільки після кожного зіткнення електрон починає розгойдуватися як би наново: з новою фазою, під новим кутом по відношенню до миттєвого напрямку швидкості. Щоб врахувати цю обставину, включимо в рівняння руху «середнього» електрона ефективну швидкість втрати імпульсу, пов'язану з дією зіткнень. Запишемо рівняння для середньої швидкості

$$mv = -eE_0 \sin \omega t - mv\nu_m \quad r = v, \quad (5)$$

Рішення цих рівнянь має вигляд

$$v = \frac{eE_0}{m\sqrt{\omega^2 + \nu_m^2}} \cos(\omega t + \varphi), \quad \varphi = \arctg \frac{\nu_m}{\omega}$$

$$r = \frac{eE_0}{m\omega\sqrt{\omega^2 + \nu_m^2}} \sin(\omega t + \varphi). \quad (6)$$

Амплітуди зсуву і швидкості електрона в  $\sqrt{1 + \frac{\nu_m^2}{\omega^2}}$  раз менше, ніж для вільних коливань. Вони тим менше, чим більше ефективна частота зіткнень  $\nu_m$  (остання визначається швидкістю хаотичного руху). Зсув зміщений по фазі щодо поля. Фазове зміщення зростає від 0 до  $\pi/2$  при зростанні відносної ролі зіткнень  $\frac{\nu_m}{\omega}$  від 0 до  $\infty$ .

#### Матеріали і методи дослідження.

Для дослідження особливостей газорозрядної візуалізації рідиннофазних об'єктів використовувалася бідистильована вода надвисокої чистоти; для твердофазних об'єктів –

металева пластинка з модельними дефектами: пазами, різної ширини та глибини, яка використовувалася як один з електродів. Розміри пазів були вибрані так, що б всі вони поміщалися на одній фотопластинці. Це дозволяє зменшити вплив випадкових помилок експерименту (невеликі відхилення величини газового зазору, коливання напруги на виході підсилювача, зміни зовнішніх умов і т.д.) і провести одночасне експонування всіх зразків. Аналогічним чином проводилася зйомка і рідиннофазних об'єктів: на нижній електрод поміщалося 5 крапель досліджуваної рідини, після чого робився їх знімок за допомогою газорозрядного свічення. Подальша обробка знімків велася загальноприйнятим способом. Отримані фотографії вводилися в комп'ютер за допомогою сканера Genius ColorPage-Vivid 1200XE, після чого проводилася їх обробка і аналіз засобами графічного пакету Adobe Photoshop CS.

**Методика проведення експерименту.**

Методика експерименту зводилася до наступних операцій. На поліровану пластину (див. рис.1) що служила нижнім електродом, поміщали фотопластину 9x12 см (емульсивним шаром вгору), на яку накладалася пластина з модельними дефектами, що служила верхнім електродом, пазами вниз. В результаті попереднього експерименту було визначено оптимальний час експозиції (0,5с) при напрузі на виході підсилювача потужності ~ 5 кВ. При фотографуванні рідиннофазних об'єктів крапля досліджуваної рідини, об'ємом ~15мм<sup>3</sup> також поміщалася на фотопластину між двома електродами.

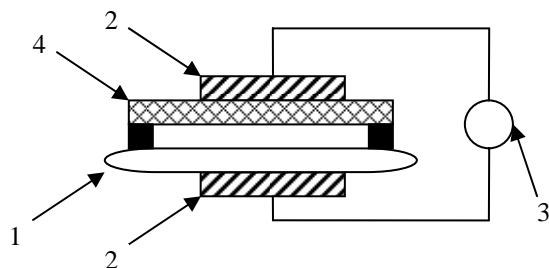


Рис. 1. Принципова схема пристрою для лавинної ГРВ: 1 – досліджуваний об'єкт, 2 – металевий електрод, 3 – джерело напруги, 4 – діелектрична пластинка – носій зображення (наприклад, фотоматеріал)

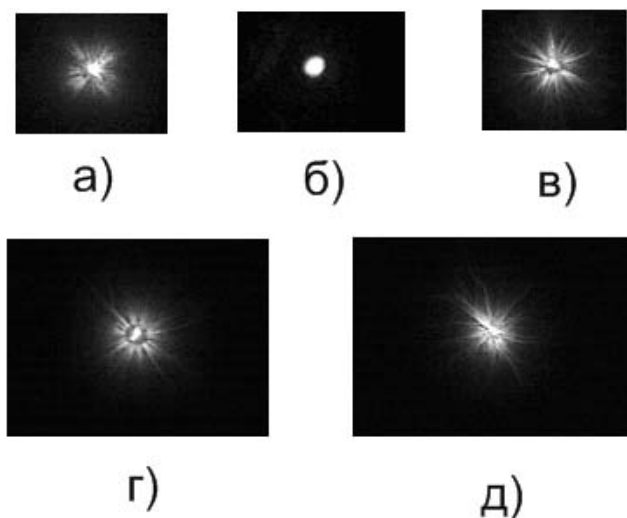


Рис. 2. ГРВ-грами різноманітних зразків рідини

Розміри пазів наведені в таблиці 1. Обробка поверхні пластини з пазами, а також нарізка самих пазів велася по шостому класу точності. Глибини пазів виконані по четвертому класу точності.



(Розміри пазів)

№	Ширина, мм	Глибина, мм
1	$0,1 \pm 0,0025$	$0,05 \pm 0,04$
2	$0,2 \pm 0,0025$	$0,1 \pm 0,04$
3	$0,3 \pm 0,0025$	$0,15 \pm 0,04$
4	$0,4 \pm 0,0025$	$0,2 \pm 0,04$
5	$0,5 \pm 0,0025$	$0,25 \pm 0,04$

**Результати і обговорення.**

Результати аналізу денситограм (регістрограм) показали, що кожний з класів досліджених об'єктів має свої характерні особливості, які, на думку автора, зв'язані в першу чергу, з основними видами газового розряду, що лежить в основі візуалізації кожного з об'єктів. Так, у візуалізації твердофазних об'єктів має місце так звана лавинна ГРВ, тоді як при формуванні зображення рідиннофазних об'єктів також слід враховувати і поверхневий розряд, що виникає по периметру краплі досліджуваної речовини. Профіль досліджуваних об'єктів, а також типові денситограми (регістрограми) представлені на рис.3.

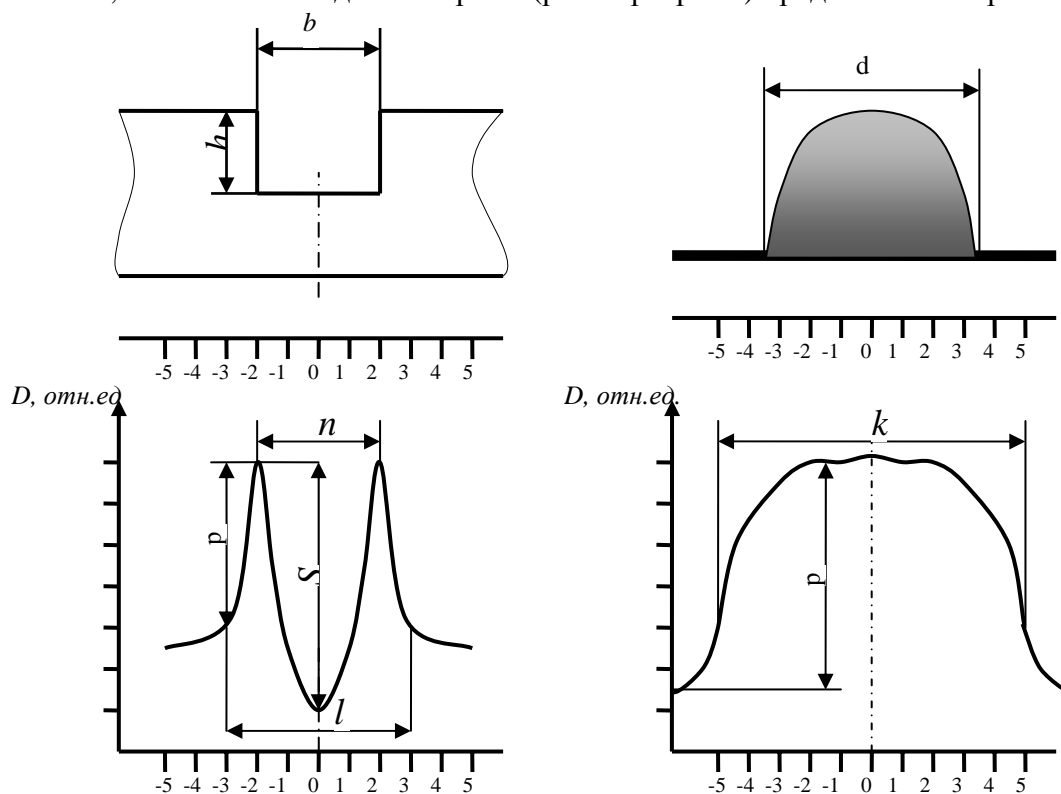


Рис. 3. Профіль та регістрограма досліджуваних твердотільних та рідиннофазних об'єктів

На цьому малюнку зображений загальний вид об'єктів (паза і краплі рідини), а також розподіл інтенсивності почорніння фотопластини по відношенню до поперечного розрізу об'єкту. Введемо наступне визначення параметрів отриманих регістрограм. Для твердотільного об'єкту з модельним дефектом (пазом): відстань  $l$  між межами почорніння, що створюється свіченням газорозрядних процесів в зазорі від всього паза, назовемо шириною його смуги почорніння; через  $t$  позначимо ширину смуги почорніння, створюваного краєм паза;  $n$  – відстань між максимумами щільності. Різницю почорнінь, що представляється відстанню  $p$ , зміряну на регістрограмі, назовемо контрастністю, а різницю почорнінь, що представляється відстанню  $s$ , зміряною на регістрограмі – контрастністю провалу. Слід відмітити, що величини  $p$  і  $s$  матимуть різні абсолютні значення при використанні різних технологій обробки фотопластин (за допомогою комп'ютерної техніки, як

це було зроблено автором, або ж при використанні мікрофотометрії). Проте процентні співвідношення цих величин і форма залежності почорніння негативного газорозрядного зображення будуть приблизно рівними, що підтверджується аналогічними регістрограммами, приведеними для зображень пазів різних форм в роботі [12].

Для зображень рідиннофазних об'єктів можна виділити такі параметри, як  $k$  – діаметр плями засвічення фотоматеріалу, а також різниця почорнінь  $p$ , вимірювану на регістрограмме, яка по аналогії з попереднім випадком також називатимемо контрастністю почорніння.

На рис.3 видно, що максимуми щільності почорніння знаходяться поблизу країв паза, а мінімум співпадає з геометричною серединою профілю паза. Аналіз навіть загального ходу регістрограмми показує хорошу повторюваність деяких особливостей кривої для кожного паза.

### Висновки.

1. Регістрограмми як, твердо- так і рідиннофазних об'єктів при газорозрядній візуалізації мають свої характерні риси і особливості, які, на думку автора, зв'язані в першу чергу з основними видами газового розряду, що лежить в основі візуалізації кожного з об'єктів.

2. По зовнішньому вигляду регістрограми, отриманої методом ГРВ є можливість судити, відноситься досліджуваний об'єкт до твердо- чи рідиннофазних, а також, можливо, оцінити його в'язкість.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Кирлиан С.Д., Кирлиан В.Х. Журнала научной и прикладной фотографии и кинематографии, 1961, т.6, №6, с.397.
2. Кирлиан С.Д., Кирлиан В.Х. В мире чудесных разрядов. М.: Знание, 1964.
3. Eidson W., Fanst D., Kyler H. et al IEEE and ERA Spec. Session Presented at "Electro-78", N.Y.: Pergamon Press, 1978.
4. Романий С.Ф., Черный З.Д. Дефектоскопия, 1979, №5, с.47.
5. The Kirlian Aura. N.Y.: Anchor Books, 1976.
6. Cope Freeman N. Physiol. Chem. And Phys., 1980, v.12, №4, p.337.
7. Thathachari Y.T., Pushpa S. Biol. J., 1977, v.17, №3, p.302.
8. Лидоренко Н.С., Гудков Л.А., Котельников В.А., Пивоваров О.Н. В кн.: Конференция, посвященная юбилею Кирлин С.Д.: Тез. Докл. М.: ВНИИТ, 1979.
9. Иванов Э.В., Шестерин И.С., Теличенко Н.М. Науч. Докл. Выс. Школы. Биол. Науки, 1971, №6, с.133.
10. Фельдман В.И., Пивоваров О.Н., Курсеевич П.А. Теплофизика высоких температур, 1982, т.20, №1, с.25.
11. Коротков К.Г. Исследование физических процессов, протекающих при газоразрядной визуализации объектов различной природы: Автореф. Дис. На соискание уч. ст. канд. физ.-мат. Наук. Л.: ЛПИ, 1982.
12. Кожаринов В.В. Экспериментальное исследование модельных дефектов в электромагнитных полях высокой напряженности. – Дефектоскопия, 1983, №11, с.7-10.
13. Коротков К.Г. Основы ГРВ биоэлектрографии. – СПб: СПбГИТМО (ТУ), 2001. – 360с.
14. Завгородній А.Б., Лошицький В.Н., Мамаєв В.Н., Мінзяк Д.Ю., Писаренко Л.Д. Реакція води на природні та штучні фізичні фактори наднизької інтенсивності // Медична інформатика та інженерія – 2008 - №3 – с.28-32.
15. Райзер Ю. П. Физика газового разряда. — 2-е изд. — М.: Наука, 1992.
16. Завгородний А.Б. Физические механизмы формирования изображений при газоразрядной визуализации жидкофазных объектов (обзор) // Друга конференція молодих вчених „Електроніка-2009” Збірник статей – Київ, 2009, с.26-36.

ОБРАТНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ В СИСТЕМАХ  
С МНОГОСВЯЗНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Клименко А.К.

**1. Введение.** Обратные модели динамических объектов требуются при решении ряда задач в системах автоматического управления и в системах идентификации.

Идеальная обратная модель реального динамического объекта, как известно [1], физически неосуществима. На аналоговых средствах автоматики и вычислительной техники удавалось создавать лишь приближенные обратные модели и только для объектов, описываемых уравнениями невысокого порядка. С развитием компьютерных технологий стало возможным создание дискретных приближенных обратных моделей для объектов произвольного порядка. Для динамических объектов (ДО), имеющих один вход и один выход, найдена возможность создания обратной модели, близкой к идеальной и отличающейся от неё только временным запаздыванием. Это удалось сделать благодаря использованию информационной технологии, основанной на численных методах решения задач на ЭВМ и не требующей трудоёмкой аналитической работы.

Одной из областей применения обратных моделей являются измерительные системы. Наиболее важным требованием к средствам измерения является обеспечение ими высокой статической точности и быстродействия. В многоканальных динамических системах, не имеющих перекрёстных связей, это требование может быть удовлетворено за счёт применения обратной модели в каждом канале измерения. В системах же с перекрёстными связями необходимо применение обратной модели многосвязного объекта, которая, помимо точности и быстродействия, должна обеспечить и полную автономность каналов измерения. Примером может служить проблема разработки системы оперативного диагностирования взрывоопасных газовых смесей при производстве, хранении, транспортировке и использовании жидкого водорода в качестве энергоносителя. В этом случае необходимо применение измерительных устройств (датчиков), количество которых равно числу контролируемых компонентов газовой смеси. Каждый из датчиков обладает своей инерционностью и может одновременно реагировать на несколько газов с различными коэффициентами. Низкое быстродействие диагностирующего комплекса может явиться причиной технологической катастрофы, а ложное срабатывание системы защиты из-за перекрёстных помех между каналами - привести к производственным потерям, порождаемым прерыванием технологического процесса. Применение обратной модели многосвязного объекта позволяет обеспечить высокое быстродействие диагностирующего комплекса с предотвращением ложных срабатываний.

В данной статье рассматривается задача осуществления обратной модели (ОМ) многосвязного ДО, в качестве примера которого выступает измерительная система. Для решения задачи предполагается использование компьютерной информационной технологии.

**2. Анализ известных технических решений.** Решение задачи создания ОМ многосвязного объекта базируется на использовании уже известного технического решения дискретной ОМ для односвязного ДО. Идея построения ОМ непрерывного объекта в виде замкнутой дискретной системы была защищена авторским свидетельством на изобретение [2]. Теоретическое обоснование этого решения изложено в работе [3]. ОМ является дискретным устройством, конструктивными параметрами которого выступают дискретность времени  $T$  и конструктивный временной сдвиг  $\tau$ . Объект, для которого создается ОМ, предполагается непрерывным, линейным, стационарным и устойчивым. В качестве исходного математического описания односвязного ДО при конструировании его ОМ используется его переходная характеристика (ПХ)  $h(t)$ , именуемая также и кривой переходного процесса.

Для осуществления ОМ составляется математическое описание ДО, который сдвинут в сторону опережения и физически осуществим. ДО описывается импульсной переходной функцией (ИПФ)  $k(n + \tau)$  в дискретном времени. Числовой массив ИПФ может быть получен из кривой переходного процесса ДО  $h(t)$ :

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

где  $t$  – непрерывное время,

$T$  – дискретность (шаг квантования) времени,

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

$N$  – время затухания переходного процесса,

$\tau$  – конструктивный временной сдвиг в сторону опережения.

Для обеспечения физической осуществимости и работоспособности создаваемой ОМ ИПФ ДО (1) должна удовлетворять требованиям:

$$k(n + \tau)|_{n < 0} = 0, \quad (2)$$

$$k(\tau) = k(n + \tau)|_{n=0} \neq 0, \quad (3)$$

$$k(n + \tau)|_{n > N} = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{n=0}^N k(n + \tau) = h_{уст},$$

где  $h_{уст}$  – установившееся значение ПХ ДО.

Техническое решение приближенной ОМ на средствах дискретной вычислительной техники получено путем использования известной [4] формулы свертки, связывающей входной и выходной сигналы ДО через его ИПФ. Эта формула может быть представлена в виде

$$x(n) = \sum_{m=0}^N f(n - m - \tau)k(m + \tau), \quad (5)$$

где  $x(n)$  – выходной сигнал ДО, снимаемый в дискретные моменты времени  $n$ ,  $f(n - \tau) = f(t)|_{t=(n-\tau)T}$  – значение непрерывного входного сигнала ДО в предшествующие моменты времени.

Выходной сигнал (5) ДО может быть представлен в виде суммы двух составляющих:

$$x(n) = \sum_{m=1}^N f(n - m - \tau)k(m + \tau) + f(n - \tau)k(\tau) = d(n) + c(n),$$

где переменная  $c(n) = f(n - \tau)k(\tau)$  является полезной составляющей, достаточной для нахождения выходного сигнала  $f(n - \tau)$ , а переменная

$$d(n) = \sum_{m=1}^N f(n - m - \tau)k(m + \tau) \quad (6)$$

является помехой.

Приведенная в [3] ОМ осуществляет нахождение сигнала  $f(n - \tau)$  после устранения помехи  $d(n)$ . Эта ОМ описывается математической зависимостью:

$$y(n) = \left[ c(n) - \sum_{m=1}^N y(n - m)k(m + \tau) \right] / k(\tau), \quad 0 < \tau \leq 1, \quad (7)$$

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

$\tau$  – конструктивный временной сдвиг, величина которого не может быть больше единицы.

ОМ, описываемая формулой (7), при реализации представляет собой замкнутую импульсную систему без непрерывной части. Функциональная схема ее может быть приведена к виду, показанному на рис.1. При ее работе из входного сигнала ОМ  $x(n)$  вычитает-

ся помеха  $d(n)$ , определяемая по формуле (6) в предположении, что вычисленные ранее и хранящиеся в буферной памяти значения выходного сигнала ОМ  $y(n)$  соответствуют искомым значениям входного сигнала ДО  $f(n - \tau)$ , т.е.

$$y(n - m) = f(n - m - \tau), \quad m \in [1, N].$$

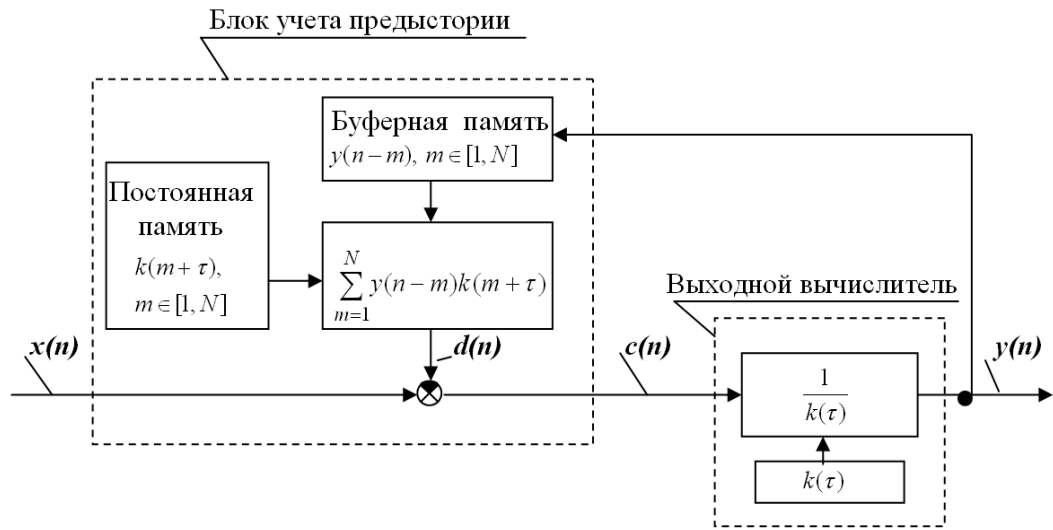


Рис.1. Структурная схема ОМ односвязного объекта

Таким образом, рассмотренная ОМ односвязного объекта работает в дискретном времени и отличается от идеальной временным запаздыванием  $\tau$ . Аналогичная задача стоит и при создании ОМ многосвязного объекта. При ее создании предполагается использовать описанные технические решения односвязной ОМ.

**3. Исходные данные и постановка задачи.** Рассматриваем задачу создания обратной модели многосвязного динамического объекта (МДО), имеющего  $q * q$  связей "вход-выход" при  $q > 1$ . В качестве исходного математического описания каждого канала связи выступает его ПХ в непрерывном времени  $h_{ij}(t)$ , где символами  $i$  и  $j$  обозначены соответственно номера входов и выходов каналов ( $i = 1, 2, \dots, q, j = 1, 2, \dots, q$ ). Создаваемая ОМ МДО работает в дискретном времени. МДО является непрерывным, но может быть описан в дискретном времени и представлять собой систему числовых массивов ИПФ его каналов связи:

$$k_{ij}(n + \gamma), \quad 0 \leq \gamma \leq 1, \quad n = 0, 1, 2, \dots, N, \quad i, j \in [1, q],$$

где  $\gamma$  - дробная часть дискретного времени,

$N$  - время затухания ИПФ ( $k_{ij}(n + \gamma) = 0$  при  $n > N$ ).

Полагаем также, что каждый канал связи МДО является устойчивым линейным динамическим звеном, а его ИПФ удовлетворяет требованиям, аналогичным требованиям (2), (3) и (4) к ИПФ однофазного объекта:

$$\begin{aligned} k_{ij}(n + \gamma) &= 0 \quad \text{при } n = \gamma = 0, \\ |k_{ij}(n + \gamma)| &\neq 0 \quad \text{при } n = 0 \text{ и } \gamma = \tau, \end{aligned} \quad (8)$$

где  $\tau$  - конструктивная постоянная величина временного сдвига внутри шага квантования дискретного времени ( $0 < \tau \leq 1$ ). Эту величину дальше будем называть также и временным запаздыванием, а соответствующие ей значения ИПФ будем обозначать символом  $k_{ij}(\tau) = k_{ij}(n + \gamma)|_{n=0, \gamma=\tau}$ . Будем считать, что величина  $\tau$  одинакова для всех каналов связи МДО.

Поступающие на входы МДО и не поддающиеся наблюдению сигналы обозначим

символами  $f_i(n)$ , а наблюдаемые на выходах МДО сигналы – символами  $x_j(n)$ , где  $i, j \in [1, q]$ .

Соотношения между выходными и входными сигналами МДО в смещённые моменты времени могут быть определены с использованием известной [8] формулы свертки:

$$x_j(n + \gamma) = \sum_{i=1}^q \sum_{m=0}^N f_i(n - m) k_{ij}(m + \gamma), \quad j = 1, 2, \dots, q, \quad (9)$$

где  $x_j(n + \gamma)$  – наблюдаемый сигнал на  $j$ -ом выходе,

$f_i(n - m)$  – ненаблюдаемый сигнал на  $i$ -ом входе.

Из этого выражения видно, что каждый из наблюдаемых на выходе МДО сигналов является суммой реакций каналов связи на каждый из входных сигналов в текущем и в предшествующих моментах дискретного времени. Целью создания обратной модели МДО будем рассматривать решение задачи нахождения ненаблюдаемых входных сигналов  $f_i(n)$  посредством обработки получаемой информации о выходных сигналах  $x_j(n)$ . При этом будем предполагать, что, как и в случае [3] с односвязным объектом, ОМ МДО будет отличаться от идеальной только временным запаздыванием  $\tau$ , величина которого определяется выполнением условия (8).

Для формулировки постановки задачи составляем изображённую на рис. 2 инструментальную схему, включающую в себя последовательно соединённые МДО и ОМ. При этом полагаем, что, как и односвязная ОМ, многосвязная ОМ также содержит блок учета предыстории. Кроме того, в многосвязную ОМ дополнительно включен блок развязки каналов. На входы ОМ подаются снимаемые с выходов МДО сигналы  $x_j(n)$ , порождаемые входными сигналами  $f_i(n)$ . Задачу будем считать решённой, если ОМ обеспечивает получение на её выходах сигналов  $y_j(n)$ , равных по величине входным сигналам МДО  $f_i(n)$ , которые предшествовали текущему моменту времени  $n$  на величину  $\tau$ :

$$y_j(n) = f_j(n - \tau) = f_i(t) \Big|_{t=(n-\tau)T}. \quad (10)$$

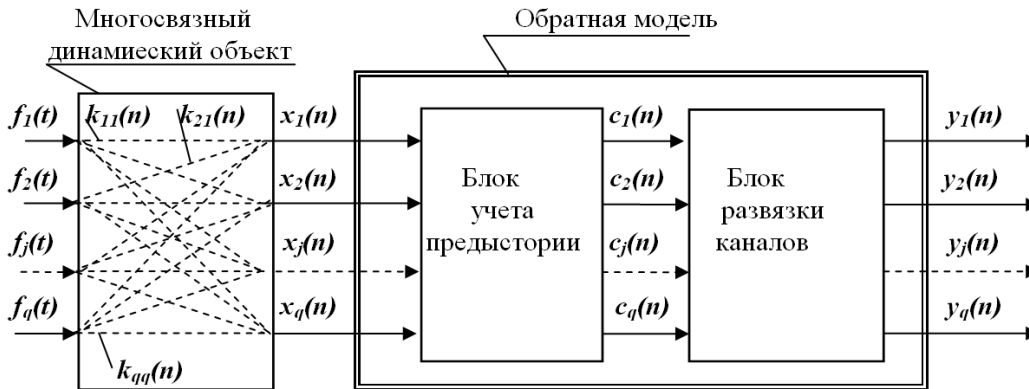


Рис.2. Инструментальная схема для создания ОМ многосвязного объекта

Эта задача сводится к решению двух подзадач:

- определить в выходном сигнале каждого канала МДО последствия воздействия входных сигналов всех каналов в каждом из предшествующих моментов времени и устранить эти последствия;

- исключить из выходных сигналов каждого канала МДО перекрёстные помехи со стороны остальных каналов в текущий момент дискретного времени.

Для решения этих подзадач в структуре ОМ согласно рис.2 требуется разработка математических описаний блока учёта предыстории и блока развязки каналов.



вычисления поправок выполняется операция (12), а в сумматорах определяются свободные члены  $c_i(n)$  для системы уравнений (15). Завершающей операцией в работе ОМ является развязка каналов ОМ. Она сводится к решению системы уравнений (15), постоянные коэффициенты которой  $k_{ij}(\tau)$  хранятся в блоке 2 постоянной памяти.

ОМ, структурная схема которой изображена на рис. 3, может быть реализована на широко известных технических, программных или программно-технических средствах вычислительной техники. Так, например, для решения системы алгебраических уравнений может быть использован пакет прикладных программ Mathcad.

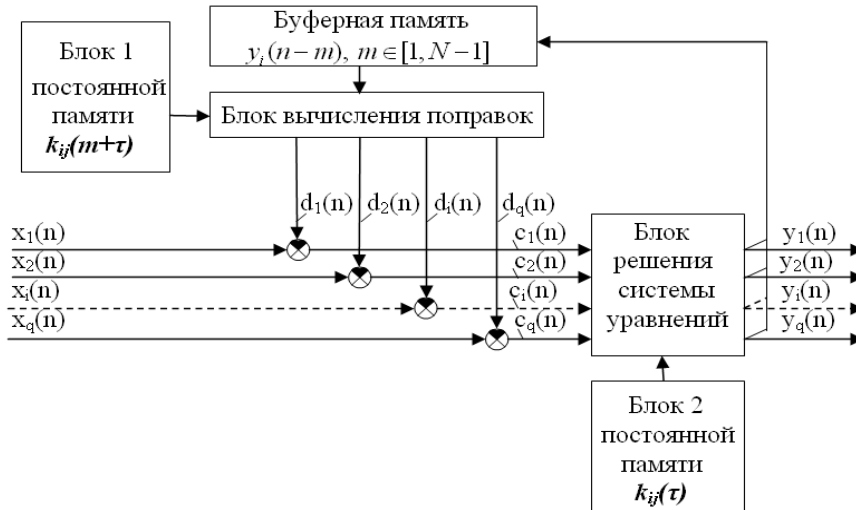


Рис.3. Структурная схема ОМ многосвязного объекта

Рассмотрим пример работы ОМ по рис.3 в комплексе "МДО - ОМ" по рис.2.

Полагаем, что предначальные условия процесса были нулевыми, т.е. до нулевого момента времени отсутствовали сигналы на входах и выходах МДО, а ячейки буферной памяти были пусты. В момент появления первых сигналов  $x_i(n)$  на входах ОМ поправки на предысторию ещё отсутствуют и эти сигналы проходят без коррекции на входы блока решения системы алгебраических уравнений (15), с выходов которого в буферную память поступают первые результаты вычислений. Они представляют собой численные значения входных сигналов МДО  $f_i(n - \tau)$ . По ним немедленно вычисляются поправки на предысторию по формуле (12), которые используются в следующем такте дискретного времени для выполнения операции (14). Дальше работа ОМ продолжается аналогичным образом, но уже с учётом предыстории.

**5. Экспериментальная проверка.** Проверка работоспособности ОМ по рис.3 выполнена следующим образом. Была построена инструментальная схема по рис.2. в предположении, что МДО существует, но только на одном из его входов сигнал отличен от нуля. При этом на всех его выходах, благодаря выполнению условия (8), сигналы отличны от нуля. При решении этой задачи многосвязная ОМ функционирует аналогично односвязной, изображенной на рис.1, благодаря чему упрощаются вычислительные операции. Так, например, формула вычисления поправки на предысторию (12) упрощается до формулы (6), а система алгебраических уравнений (15) имеет только одно ненулевое решение. Результаты эксперимента не зависят от выбранного номера входного канала МДО. Поскольку ОМ является линейной системой, в ней действует принцип суперпозиции. Поэтому она может функционировать независимо от количества сигналов на входах МДО, а работа по каждому из входов является автономной.

Структурная схема комплекса "МДО-ОМ", как это показано на рис. 4, имеет вид инвариантных друг относительно друга информационных каналов. При этом каждый канал представляет собой динамическое звено чистого временного запаздывания на величину  $\tau$  и описывается передаточной функцией  $W(z) = z^{-\tau}$ , где  $z$  - комплексная переменная.



Входные сигналы МДО  $f_i(t)$  являются непрерывными функциями времени, а выходные сигналы МО  $y_i(n)$  являются «решетчатыми функциями», т.е. существуют только в дискретные моменты времени. Выходные сигналы МО повторяют входные сигналы МДО с временным запаздыванием согласно условию (10).

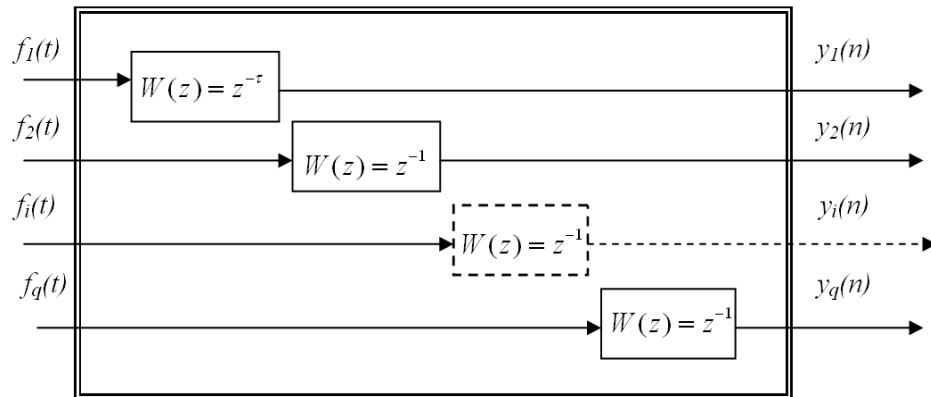


Рис.4. Структурная схема комплекса «МДО - ОМ»

**6. Заключение.** Рассматриваемая ОМ является замкнутой динамической системой. Основными параметрами, определяющими её устойчивость и динамические показатели качества, являются дискретность времени  $T$  и выбранная величина временного запаздывания  $\tau$ .

О влиянии указанных параметров на свойства односвязной ОМ исследования были проведены с публикацией полученных результатов. В работе [5] исследовано влияние конструктивных параметров ОМ на ее устойчивость, а в работе [6] рассмотрен вопрос обеспечения желаемых показателей качества в одном из классов адаптивных систем посредством оптимизации параметров используемой ОМ. Указанные исследования были выполнены для случая, когда в инструментальной схеме односвязный динамический объект подключен к выходу его ОМ.

Что касается влияния конструктивных параметров многосвязной ОМ на ее устойчивость и получаемые свойства при подключении ее к МДО согласно рис.2, то требуется проведение дополнительных исследований. В частности, при этом необходимо сформулировать показатели качества создаваемой многосвязной ОМ.

Описанная ОМ может быть использована в многосвязных динамических системах для решения задач как идентификации, так и автономного или комплексного управления.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б.Н., Кухтенко А.И. Теория проектирования инвариантных систем. Сб.: Современные методы проектирования систем автоматического управления / Под ред. Б.Н. Петрова, В. Б. Солодовникова, Ю. И. Топчеева. - М. : Машиностроение, 1967. - С. 18-78.
2. Клименко А.К., Клименко В.Г. Корректирующее устройство. – Авт. свид. СССР №1406563.– Бюллетень изобретений, №24, 1988.
3. Клименко А.К. Обратная динамическая модель для решения задач управления и контроля качества // Методы менеджмента качества. - 1999. - N. 8 - С. 32-39.
4. Цыпкин Я.З. Теория линейных импульсных систем. - М. : Физматгиз, 1965. - С. 269.
5. Клименко А.К. О влиянии конструктивных параметров обратной модели на ее устойчивость // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы (ААЭКС). – 2005, №2. – С. 52-57.
6. Клименко А.К. О получении желаемых показателей качества адаптивной системы с обратной моделью // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы (ААЭКС). – 2009, №1. – С. 157-165.

## КЛАССИФИКАЦИЯ МАСС-СПЕКТРОВ С ПОМОЩЬЮ КООПЕРАТИВНОГО ИММУННОГО АЛГОРИТМА

Дидык А.А., Фефелов А.А., Литвиненко В.И., Шкурдода С.В., Синяков Ф. В.

### Введение

Масс-спектрометрия – метод исследования вещества путем определения спектра масс частиц, содержащихся в веществе, и их относительного содержания (интенсивности). Это универсальный аналитический метод, широко применяемый в физике, химии, биологии и др. [1].

Масс-спектрометрия является универсальным аналитическим измерительным методом прецизионного контроля состава вещества в любых агрегатных состояниях: газообразном, твердом или жидком. Масс-спектрометрические методы позволяют анализировать как состав образца, так и состав примесей в нем, причем чувствительность масс-спектрометрии к примесям превышает возможности любых других аналитических методов [2]. Задачи программных средств масс-спектрометров, предназначенных для обнаружения и оценки параметров полезных сигналов, выявленных из необработанных сигналов, содержащих шумы и наводки, а также для фильтрации сигналов, состоят в обеспечении требуемой точности анализа и в снижении нагрузки на аналитическую часть масс-спектрометра, обеспечивающего решение прецизионных задач анализа [3].

Вопросам обработки сигналов различного типа посвящено множество теоретических исследований как в области математической статистики и ее прикладных направлений, так и в области интеллектуальной обработки данных (data mining). Для разработки оптимальных методов, позволяющих наиболее точно и быстро оценить параметры реальных масс-спектрометрических сигналов, необходимо изучение существующих и вновь появляющихся подходов к обработке сигналов и ранжирование их возможностей по отношению именно к задачам масс-спектрометрического эксперимента.

Это связано, прежде всего, с тем, что ряд параметров масс-спектрометрических сигналов отличаются от параметров сигналов, изучаемых в других проблемных областях их обработки. К таким параметрам относятся: аппаратные функции, которыми описываются формы пиков, возникающих в масс-спектрометрах, а также параметры шумов, присутствующих в масс-спектрометрических сигналах, которые обусловлены не только шумами, возникающими в электронных трактах, но и шумами, связанными с физическими процессами, происходящими в масс-спектрометрах. Особо следует выделить такую характерную особенность масс-спектрометрических сигналов, как наложение друг на друга спектральных пиков близких масс, возникающее из-за недостаточной разрешающей способности аналитической части масс-спектрометра [4].

Вопросами обработки сигналов различного типа посвящено множество теоретических исследований в области теоретической статистики и ее прикладных направлений. Как правило, это общетеоретические исследования, они не привязаны к конкретным сигналам. Зачастую очень привлекательные в теоретическом плане подходы оказываются непригодными для решения определенных конкретных задач.

В связи с этим, разработка и совершенствование алгоритмов и методов, направленных на повышение разрешающей способности с одной стороны, а также на повышение точности оценок параметров масс-спектрометрических сигналов в условиях значительных специфических шумов и «выбросов» (повышение чувствительности), которые позволяют существенно улучшить важнейшие параметры масс-спектрометра без изменения его аналитической части, с другой стороны безусловно является весьма актуальной задачей.

Новые и полезные практические результаты при обработке масс-спектрометрических сигналов могут быть получены с применением пока мало используе-

мых в масс-спектрометрии перестраиваемых ортогональных и вейвлет преобразований, которые можно адаптировать к характеру анализируемых сигналов или к их информативным признакам.

**Постановка задачи.** Ранее в работе [1] была показана эффективность разработанного нами кооперативного алгоритма для решения эталонных задач классификации. В данной работе ставится задача исследование разработанного модификации иммунного алгоритма, основанного на принципе кооперации антител для решения задач классификации масс-спектров, а также сравнительные исследования его работы на эталонных задачах классификации.

#### Методы и данные

Масс-спектрометрический сигнал можно представить в виде формулы:

$$X(t) = \sum_i^M A_i S[(t - t_i) \bar{\mu}_i] + \phi(t) + \eta_1(t) + \eta_2(t) \quad (1)$$

где  $A_i$  – амплитуда сигнала;

$\bar{\mu}_i$  – параметры определяющие ник;

$S(t - t_i)$  – аппаратная функция прибора, зависящая от нескольких параметров;

$\phi(t)$  – медленно изменяющийся фактор, “базовая” или “нулевая” линия, которая может быть представлена полиномом невысокой степени;

$\eta_1(t)$  – стационарный аппаратный шум измерительного тракта с нулевым смещением;

$E\{\eta_1(t)\} = 0$  – математическое ожидание,

$E\{\eta_1(t)\eta_1(t + \tau)\} = r(\tau)$  – корреляционная функция

$\eta_2(t)$  – ложные измерения (“выбросы” в системе питания прибора и т.д.) Это случайный процесс, который равен нулю почти всюду, кроме случайных точек времени  $t_1, \dots, t_i$ , в которых он имеет произвольные значения. Во-первых, аппаратная функция на практике оказывается зависящей от монотонной переменной  $t$ . Во-вторых,  $\phi(t)$  может быть коррелированной с пиками. В-третьих, масштаб аппаратных шумов может изменяться в значительных пределах. Однако, для обработки сигналов необходимо считать их либо малыми, либо несущественными по сравнению с истинными сигналами. Общая схема предобработки данных масс-спектров представлена на Рис.1:

Для решения задачи нами использовалась база данных масс-спектров из лаборатории DSTL (Великобритания): <http://www.dstl.gov.uk/>. Для предобработки данных использовался пакет Matlab 7.0 Bioinformatics Toolbox и набор программ из пакета WEKA: <http://www.cs.waikato.ac.nz/ml/weka>.

Исходные данные характеризовались высокой размерностью. Задача заключалась в классификации масс-спектров: 1. Гель для душа, 2. Шампуни и 3. Гель для бритья. Всего используемая база данных масс-спектров содержала 10000 спектров (Рис.2):

#### Метод классификации масс-спектров

Для решения задачи классификации в данном исследовании нами был использован кооперативный алгоритм искусственной иммунной сети, который подробно описан в работе [5]. Основной особенностью большинства существующих на сегодняшний день популяционных алгоритмов является принцип конкуренции индивидуумов внутри популяции. Этот принцип реализуется за счет селекции лучших индивидуумов, предоставления им возможности репродуцироваться и, как следствие, перейти в новое поколение. Соревновательный процесс, однако, предполагает необходимость кодирования в рамках одного индивидуума всего решения задачи целиком. Таким образом, популяция состоит из множества альтернативных решений, которые в процессе работы алгоритма претерпевают изменения, направленные на улучшение их качества. Иммунные алгоритмы также являются популяционными алгоритмами. Они развивают популяцию антител, способных распознавать вторжение антигенов.

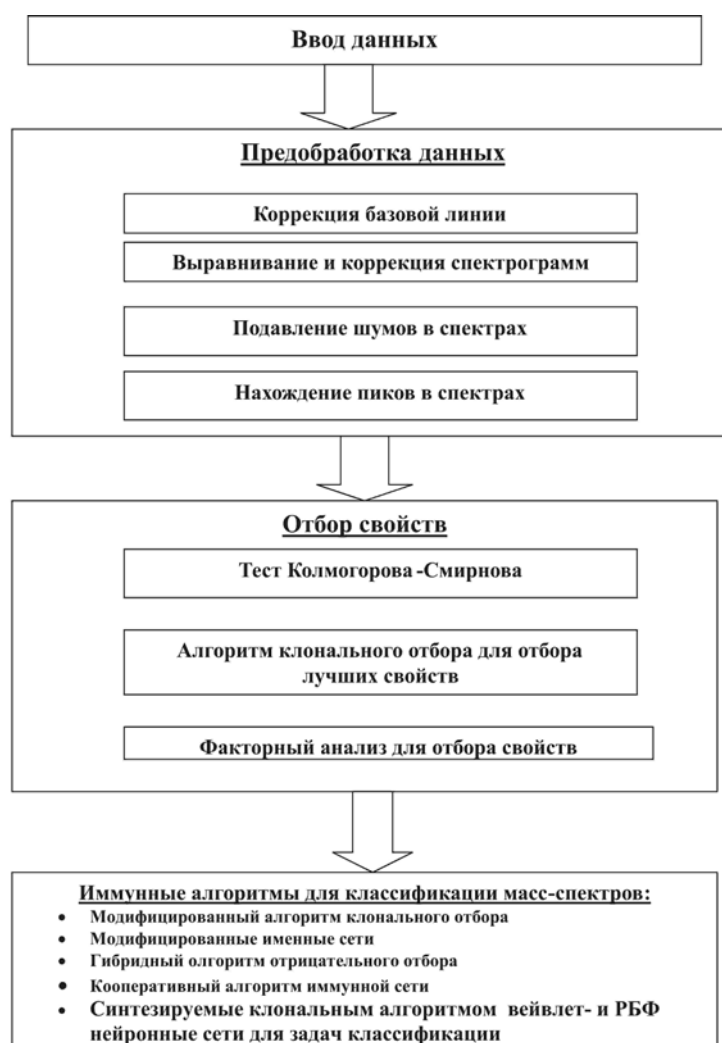


Рис.1. Общая схема обработки и классификации масс-спектров

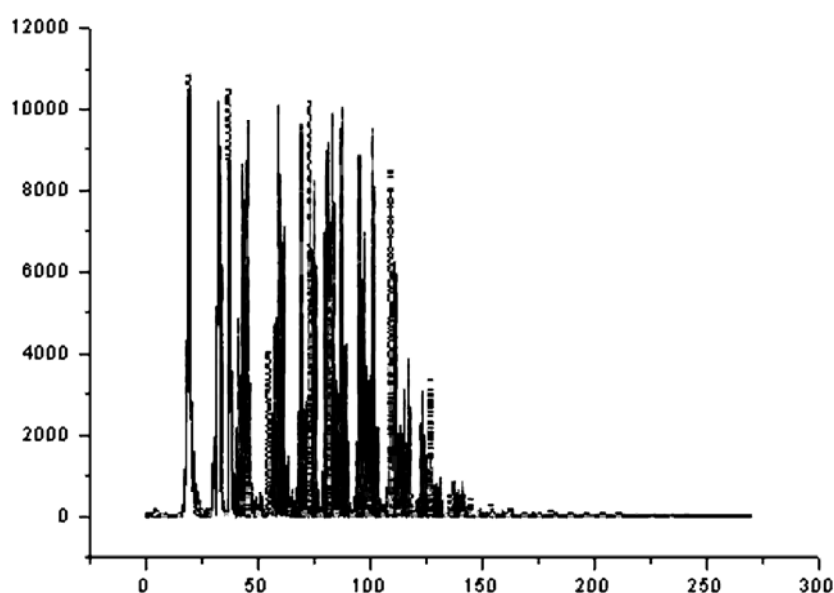


Рис.2. Исследуемые масс-спектры

Одним из возможных приложений иммунных алгоритмов являются задачи распознавания, которые могут быть представлены как задачи аппроксимации. В таких задачах каждое антитело популяции представляет собой полное математическое описание модели

данных. В процессе конкуренции и изменения антител образуется одна или несколько лучших моделей, которые становятся окончательным решением задачи классификации.

Существенным недостатком популяционных алгоритмов, как и многих других итерационных методов, являются значительные временные затраты на обучение и адаптацию популяции, которые практически не позволяют использовать эти методы для работы в реальном режиме времени с быстро развивающимися и динамически меняющимися внешними условиями. В контексте решения задачи классификации, указанный недостаток приобретает особую значимость и побуждает к разработке всевозможных модификаций алгоритма, которые, при сохранении основной концепции, обеспечивали бы необходимую скорость обучения и, следовательно, возможность работы алгоритма в динамической среде.

Основная идея предложенного подхода заключается в том, что каждое антитело популяции является только частью решения или частью модели. В пределах популяции антитела соединяются друг с другом определенным образом, кооперируются и формируют структуру, способную решать задачи на системном уровне, т.е. на уровне всей популяции, а не на уровне отдельного индивидуума. Такой подход позволяет в значительной степени уменьшить затраты времени на тренировку при сохранении приемлемого качества аппроксимации.

Многие задачи прогнозирования и распознавания сводятся к задачам аппроксимации функций многих переменных [5]. Следовательно, в общем виде рассматривается задача построения модели нелинейной структуры:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n), \quad (2)$$

для которой зависимость между входами  $x_i$  и выходом  $y$  представлена в виде таблицы данных экспериментов  $T$ :

$$T = \bigcup_{i=1}^k (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}, y_i), \quad (3)$$

где  $k$  – количество строк таблицы.

Зависимость (1) в общем случае представляет собой математическое выражение, которое может быть записано в виде формулы. Например, допустим, что модель имеет три входа  $(x_1, x_2, x_3)$  и один выход. Допустим также, что зависимость между входами модели и ее выходом может быть описана при помощи формулы:

$$y = a_{12} \cdot (a_1 x_1 + a_2 x_2) \cdot a_3 x_3, \quad (4)$$

где  $a_1, a_2, a_3, a_{12}$  - некоторые константы, выполняющие функцию коэффициентов.

В случае представления данной программы в виде графа [5], этот граф есть не что иное, как генетическая программа, с той лишь разницей, что в данном случае все дуги графа имеют веса. Этот граф содержит вершины двух типов:

- терминальная вершина – вершина, которая не имеет входящих в нее дуг; такие вершины представляют собой переменные задачи;
- функциональная вершина – вершина, которая имеет как входящие, так и исходящие дуги; функциональные вершины содержат знаки математических операций и функции.

Каждая вершина может иметь множество исходящих дуг. Входящие дуги могут иметь только функциональные вершины. Количество входящих в вершину дуг зависит от количества аргументов функции, которую представляет вершина. Так как большинство математических операций и функций являются унарными или бинарными, то большая часть вершин будет иметь одну или две входящих дуги.

Одним из основных свойств графа является то, что он не содержит циклов и всегда может быть представлен в виде дерева. Рассмотрим еще один пример математического выражения:

$$y = a_{123}(a_{12} \cdot (a_1 x_1 + a_2 x_2) \cdot a_3 x_3) + a'_{12}(a'_1 x_1 \cdot a'_2 x_2). \quad (5)$$

В отличие от классического представления эта программа выглядит как сеть, напоминающая по структуре многосвязные программные сети (МІР-сети), описанные в работе [3] или нейронные сети прямого распространения. Однако функциональное назначение узлов данной сети отличается от тех и других, и как было сказано выше, сеть всегда может быть представлена как классическая генетическая программа, т.е. в виде дерева выражения.

Проектирование искусственных иммунных систем начинают с определения пространства поиска или пространства форм. Каждая форма отождествляется с антителом иммунной системы и представляет собой строку, кодирующую одно возможное решение задачи. В качестве пространства форм могут использоваться бинарное, целочисленное, вещественное, символьное пространство или их комбинации. Предлагаемый в данной работе метод, в отличие от классических подходов, использует не индивидуальное, а популяционное кодирование генетических программ. Индивидуальное кодирование предполагает представление всей генетической программы в виде строки в пределах одного антитела популяции. В популяционном кодировании каждое антитело является лишь частью генетической программы, т.е. кодирует одну вершину графа или один узел дерева математического выражения.

Множество терминальных вершин графа не подвергается никаким изменениям в процессе решения задачи, следовательно, популяцию иммунного алгоритма должны составлять только антитела, кодирующие функциональные вершины. В рамках данной работы ограничимся рассмотрением унарных и бинарных математических операций и функций.

Код функции	Код 1-го узла-потомка	Код 2-го узла-потомка	Вес 1-го узла-потомка	Вес 2-го узла-потомка
-------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------	-----------------------

Рис. 3. Предлагаемая структура индивидуума популяции иммунного алгоритма

Как видно из рисунка, антитело имеет смешанное (целочисленное и вещественное) кодирование. Код функции и коды узлов представляются целыми числами, а веса – вещественными. Под кодом функции понимается ее номер или индекс в массиве функций (функциональное множество). Функциональное множество ( $F$ ) может содержать любое количество математических операций, функций и полиномов, т.е.  $F = \{+, -, *, /, SIN, COS, TAN, LN, POLY1, POLY2, \dots\}$ . Здесь под  $POLY1, POLY2, \dots$  понимается возможность использования полиномов Колмогорова-Габора, например, таких как:  $f_1(x_1, x_2) = c + a_1x_1 + a_2x_1x_2$ ,  $f_2(x_1, x_2) = c + a_1x_2 + a_2x_1^2$  и т.д [4, 5, 6, 7]. Все вершины графа генетической программы пронумерованы. Номера вершин, от которых дуги направлены к данной вершине, хранятся в разделе кодов узлов потомков данной вершины. Благодаря тому, что все вершины могут содержать любое количество исходящих дуг, то при любом присоединении данной вершины к графу не получится синтаксически неверного математического выражения, даже в случае, когда коды обоих узлов потомков окажутся равными. Это важное свойство позволяет давать максимальную свободу эволюции структуры графа во время обучения.

Общая схема алгоритма представлена на Рис.4.

В общем случае в начале обучения предполагается наличие только одного антитела в популяции антител. В процессе обучения популяция антител будет структурироваться в виде графа. В контексте иммунных алгоритмов назовем данную структуру функциональной сетью антител (ФСА). В качестве основных свойств данной сети можно выделить следующие:

- рост сети, базирующийся на принципе клонального отбора;
- сжатие сети, основанное на гибели нестимулируемых клеток (апоптоз);
- эволюция настроек и структуры сети, основанная на механизмах оценивания и соматической гипермутации.

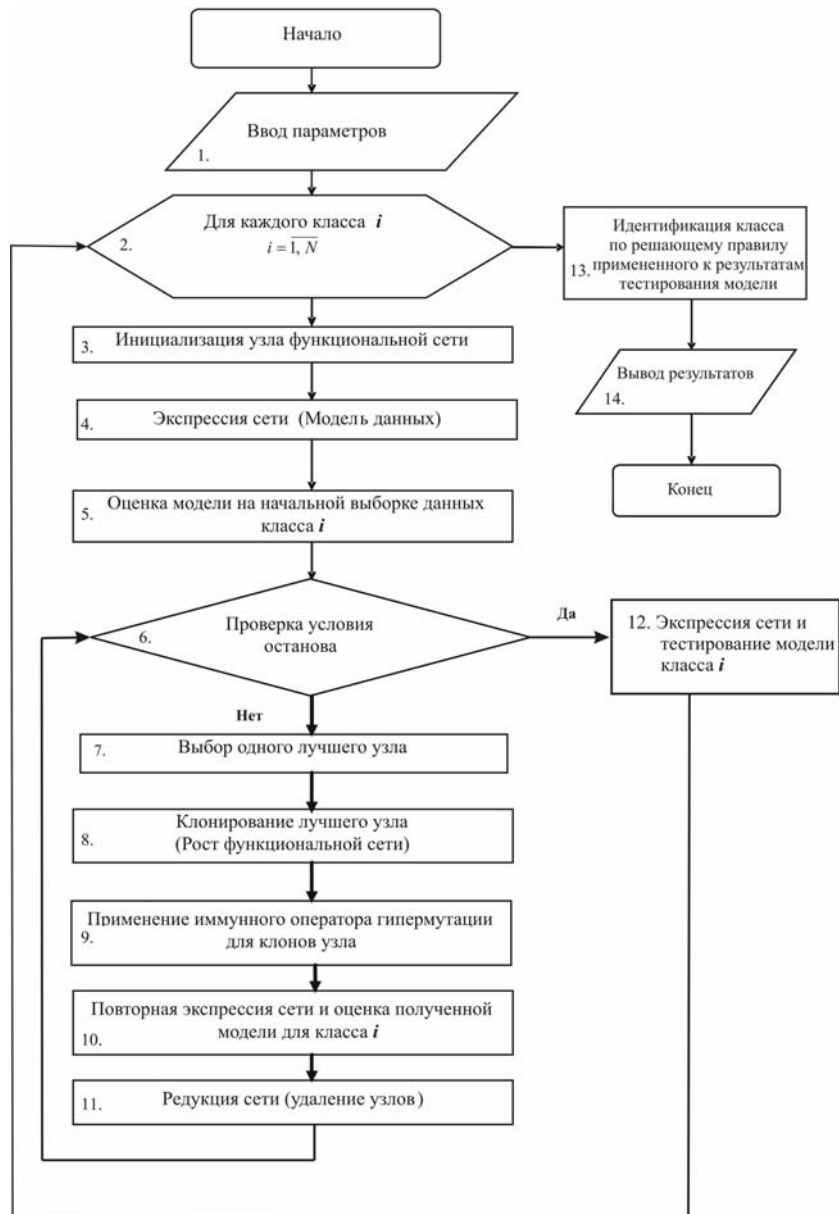


Рис.4. Блок-схема кооперативного алгоритма для решения задач классификации

**Шаг 1.** Ввод параметров настройки алгоритма.

**Шаг 2.** Для каждого класса  $i, i = \overline{1, N}$  в отдельности начиная с Шага 3 выполнить:

**Шаг 3. Инициализация.** Создание начальной популяции антител  $AB$ . В данной работе начальная популяция состоит из одного антитела, но возможна инициализация популяции любого predetermined размера.

**Шаг 4. Экспрессия сети.** Преобразование функциональной сети антител в аналитическое выражение поверхности, отделяющей класс  $i$  от других классов выборки.

**Шаг 5. Инфицирование (присутствие антигенов).** Для каждого антитела  $Ab_m \in AB$  на основании выражения (6) вычислить концентрацию антигена  $v_m^{Ag}$ . Тем самым осуществляется оценка функциональной сети.

$$v_m^{Ag} = \sum_{j=1}^k b_{mj}, \quad (6)$$

где  $b_{mj}$  - значение функции связывания антитела  $Ab_m$  с антигеном  $Ag_j$ ;  $k$  - размер популяции антигенов (обучающей выборки).

Для задач классификации функция связывания антитела с антигеном представляет собой следующее выражение:

$$b = \begin{cases} 1, & \text{при } (y_M < R \wedge y_{Ag} < R) \vee (y_M \geq R \wedge y_{Ag} \geq R); \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}, \quad (7)$$

где  $y_M$  - выход модели;  $y_{Ag}$  - идентификатор класса на выборке данных;  $R$  - порог классификации.

**Шаг 6.** Останов алгоритма (переход к шагу 12), если достигнуто необходимое количество итераций.

**Шаг 7. Селекция.** Выбрать антитело с наибольшим значением концентрации (наиболее стимулируемая клетка).

**Шаг 8. Клонирование.** Клонировать выбранное антитело. Возможно образование как одного, так и нескольких клонов.

**Шаг 9. Созревание аффинности.** Подвергнуть мутации все клоны выбранной клетки с интенсивностью, обратно-пропорциональной их значениям концентрации  $v_m^{Ag}$ . Во время мутации возможно изменение кода функции и кодов первого и второго потомков (эволюция структуры сети), а, также, изменение весов первого и второго потомков (эволюция настроек сети).

**Шаг 10.** Повторно провести экспрессию сети и вычислить концентрации антител, подобно шагу 4, 5.

**Шаг 11. Сжатие (редукция) сети.** Удалить все клетки сети, значения концентраций которых ( $v_m^{Ag}$ ) меньше либо равно некоторому заданному порогу  $v_{\min}^{Ag}$  (удаление нестимулируемых клеток).

Переход к шагу 6.

**Шаг 12.** Экспрессия лучшей функциональной сети и тестирование модели класса  $i$ .  $i = i + 1$ ; переход к шагу 2.

**Шаг 13.** Идентификация класса по правилу:  $Class = \max(y_M^i)$ ,  $i = \overline{1, N}$ .

**Шаг 14.** Вывод отчета.

Рост сети представляет собой выбор и репродуцирование наиболее стимулируемой клетки популяции согласно принципу клональной селекции. Выбор клетки для клонирования происходит согласно значениям концентрации антигена, вычисленным для всех клеток сети. Клетка с наибольшей концентрацией выбирается для клонирования.

Благодаря механизму мутации происходит адаптация структуры антител и, как следствие, увеличение аффинности популяции. В данной работе интенсивность мутации зависит от значений концентрации  $v^{Ag}$  антител сети. Чем больше значение  $v^{Ag}$ , тем меньше интенсивность мутации. Мутации может быть подвергнута любая часть строки антитела. Под интенсивностью  $\beta$  понимается количество элементарных воздействий оператора мутации на антитело  $Ab$ . Элементарное воздействие производится по схеме односточечной мутации.

#### Результаты экспериментальных исследований

Для данного теста были выбраны следующие настройки алгоритма (табл. 1). График процесса сходимости алгоритма во время обучения представлен на рисунке 4.



Таблиця 1

Настройки алгоритма дл решения задачи классификация масс-спектров

Наименование параметра	Значение параметра
Количество поколений	10000
Период сжатия (поколений)	40
Порог округления ( $R$ )	0.7
Использование весов дуг	Да
Точность представления весов	0,01
Уровень мутации клетки	7
Интервал представления весов	$[-100.0; 100.0]$
Функциональный алфавит	$\{+, -, *, \backslash\}$

Определение класса масс-спектра происходит при помощи следующего выражения:

$$Class = \max(y_{gel}, y_{sham}, y_{sheve}) \quad (8)$$

Были проведения сравнительные исследования качества классификации с другими известными иммунными системами и алгоритмами в программной среде WEKA: Immunos-1, Immunos-2, Immunos-99[6 ], AIRS1, AIRS2[7-11], CLONALG[12-13], CSCA[14].

Таблиця 2

Результаты сравнительного тестирования современных иммунных алгоритмов на точность классификации

№ n/n	Алгоритмы	% правильного распознавания
1.	Кооперативный алгоритм искусственной иммунной сети	<b>98,2%</b>
2.	Immunos-1	84,5%
3.	Immunos-2	87,1%
4.	Immunos-99	81,3%
5.	AIRS1	85,3%
6.	AIRS2	88,6%
7.	CLONALG	87,0%
8.	CSCA	97,9%

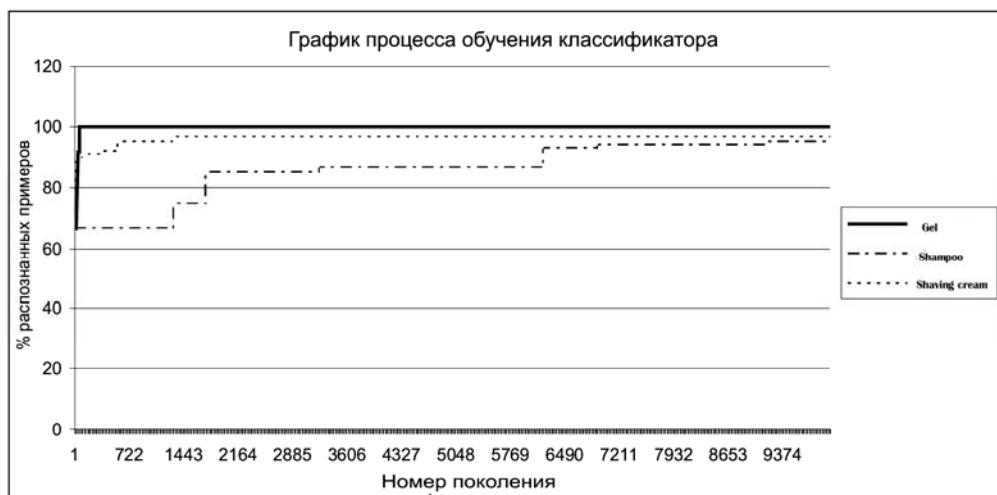


Рис. 4. График сходимости алгоритма на обучающей выборке для эксперимента по классификации масс-спектров

### Выводы

В работе показаны результаты применения разработанного авторами кооперативного алгоритма иммунной сети для решения задачи классификации масс-спектров. Рас-

смотренный вариант решения задачи демонстрирует высокую эффективность применения искусственных иммунных сетей как аппроксимирующих моделей масс-спектров, использующих параллельно-распределенную организацию вычислений. Целесообразность их использования объясняется их высокой гибкостью, способностью осуществлять параллельный поиск, устойчивость к шуму, ассоциативной памятью, самоорганизуемостью, структурной пластичностью и высокими адаптационными способностями.

## ЛИТЕРАТУРА

1. V.L. Talrose, A.K. Ljubimova Secondary Processes in the Ion Source of a Mass Spectrometer (Reprint from 1952). *J. Mass Spectrom.* 1998, 33, 502—504.
2. Varmuza, W. Werther, J. *Chem. Inf. Comput. Sci.* 36 (1996) 323-333. Mass spectral classifiers for supporting systematic structure elucidation.
3. Манойлов В.В., Сирвидас С.И, Заруцкий И.В., Ларионов А.М. Обнаружение, разделение и оценка параметров масс-спектрметрических пиков методом свертки экспериментальных данных с производными гауссовых функций // *Научное приборостроение* 1999, том 9, № 2, 71-76.
4. W. McLafferty, S. Y. Loh, D. B. Stauffer, in: H. L. C. Meuzelaar (Eds.), *Computer-enhanced analytical spectroscopy*, Plenum Press, New York, 1990, p. 163-181. Computer identification of mass spectra.
5. В.И.Литвиненко, А.А. Фефелов, А.А.Дидык Кооперативный алгоритм для решения задач классификации // *Вестник Херсонского национального университета* № 3(32), 2008 г. с. 92-101.
6. Brownlee, J. *Immunos-81. The misunderstood artificial immune system*; Technical Report No. 3-01; Centre for Intelligent Systems and Complex Processes (CISCP), Faculty of Information and Communication Technologies (ICT), Swinburne University of Technology (SUT), Victoria, Australia: 2005.
7. Watkins, A.; Timmis, J.; Boggess, L. Artificial immune recognition system (AIRS): An immune-inspired supervised learning algorithm. *Genet. Programm. Evol. Mach.* 2004, 5, 291-317.
8. Meng, L.; van der Putten, P.; Wang, H. A comprehensive benchmark of the artificial immune recognition system (AIRS). In *Advanced Data Mining and Applications, Proceedings*, 2005; Vol. 3584, pp 575-582.
9. Watkins, A. B. AIRS: A resource limited artificial immune classifier. Mississippi State University, 2001.
10. Watkins, A. B. *Exploiting immunological metaphors in the development of serial, parallel and distributed learning algorithms*. University of Kent, Canterbury, UK, 2005.
11. de Castro, L. N.; Von Zuben, F. J. The clonal selection algorithm with engineering applications. In *GECCO-2000: Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference*, July 10-12, 2000, Las Vegas, Nevada.
12. Whitley, D.; Goldberg, D.; Cantu-Paz, E.; Spector, L.; Parmee, I.; Beyer, H.-G., Eds. Morgan Kaufmann: San Francisco, CA, 2000; pp 36-37.
13. de Castro, L. N.; Von Zuben, F. J. Learning and optimization using the clonal selection principle. *IEEE Trans. Evol. Comput.* 2002, 6, 239-251.
14. Brownlee, J. *Clonal selection theory & CLONAG. The clonal selection classification algorithm (CSCA)*; Technical Report No. 2-02; Centre for Intelligent Systems and Complex Processes (CISCP), Faculty of Information and Communication Technologies (ICT), Swinburne University of Technology (SUT), Victoria, Australia: 2005.
15. Дидык А.А., Литвиненко В.И. Шкурдода С.В., Фефелов А.А. Применение иммунных алгоритмов для решения задач классификации масс-спектров // *Збірник наукових праць у двох томах міжнародної наукової конференції Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту / Євпаторія 2009, Том 2 , с.304-309.*

## АФІННІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В МОДИФІКАЦІЯХ АЛГОРИТМУ RSA ШИФРУВАННЯ ЗОБРАЖЕНЬ

Рашкевич Ю.М., Ковальчук А.М., Пелешко Д.Д.

### Вступ

З розвитком і поширенням інформаційних технологій зростає актуальність питання інформаційної безпеки. Розгляду цього питання присвячуються щорічні тематичні конференції і симпозиуми (напр. RSA Conference, Сан-Франціско, США). Поява нових мережевих технологій, "хмаркових" обчислень й ін., які дуже активно просуваються на ринок, спричинюють потребу розробки нових стандартів безпеки і удосконалення методів персоналізованого захисту даних.

Зображення є одними із найбільш вживаних видів інформації в сучасному інформаційному суспільстві. Відповідно актуальною задачею є захист зображень від несанкціонованого доступу та використання.

Проблема несанкціонованого використання зображень на найнижчому рівні вирішується положеннями про авторське право, а на найвищому – методами стеганографії, поліграфічними сітками, тощо.

Проблема захисту від несанкціонованого доступу є складнішою в порівнянні з проблемою захисту використання. Основним базисом для організації захисту зображення є таке припущення: зображення – це стохастичний сигнал. Це спричинює перенесення класичних методів шифрування сигналів на випадок зображень. Але зображення є специфічним сигналом, який володіє, в додаток до типової інформативності (інформативності даних), ще й візуальною інформативністю. А остання привносить в питання захисту нові задачі.

Саме ця інформативність із дуже розвинутими сучасними методами обробки зображень дає можливість для організації несанкціонованого доступу. Фактично організація хакерської атаки на зашифроване зображення можлива у двох варіантах: через традиційний взлом методів шифрування, або через методи візуальної обробки зображень (методи фільтрації, виділення контурів, тощо). Хоча останні не дають повного відтворення зашифрованого зображення, проте дають можливість отримати деяку інформацію із зображення. В зв'язку з цим до методів шифрування у випадку їх використання стосовно зображень висувається ще одне завдання – повна зашумленість зашифрованого зображення. Це потрібно для того, щоб унеможливити використання методів візуальної обробки зображень.

Алгоритм RSA є одним із найбільш уживаних промислових стандартів шифрування сигналів. По відношенню до зображення існують певні проблеми його шифрування, а саме частково зберігаються контури на різко флуктуаційних зображеннях [4, 5].

### Мета роботи

Стосовно зображень актуальною задачею є розробка модифікації методу RSA такої, щоб

- зберегти стійкість до дешифрування
- забезпечити повну зашумленість зображення, з метою унеможливити використання методів візуальної обробки зображень.

Одним із шляхів вирішення цієї задачі є використання афінних перетворень.

### Характеристики зображення

Нехай задано рисунок  $P$  з ширини  $l$  і висоти  $h$ . Його можна розглядати як матрицю пікселів

$$\langle dtp_{ij} \rangle_{1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq m}, \quad (1)$$

де  $dtp_{ij}$  – піксел з координатами  $i$  та  $j$ ,  $n$  і  $m$  – число точок по ширині  $l$  та висоті. В загальному випадку  $n$  і  $m$  є залежними від  $l$  та  $h$ , а тому більш коректним є запис

$$n = n(l) \text{ і } m = m(h). \quad (2)$$

Матриці (1) у відповідність ставиться матриця кольорів

$$\mathbf{C} = \begin{pmatrix} c_{1,1} & \dots & c_{1,m} \\ \dots & \dots & \dots \\ c_{n,1} & \dots & c_{n,m} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де  $c_{ij}$  – значення інтенсивності у напівтонових зображень піксела  $dtp_{ij}$ . Тобто має місце відповідність [1]

$$P = \mathbf{P}_{l,h} = [pxl_{ij}]_{1 \leq i \leq n(l), 1 \leq j \leq m(h)} \rightarrow \mathbf{C} = [c_{ij}]_{1 \leq i \leq n(l), 1 \leq j \leq m(h)}. \quad (4)$$

Під градацію яскравості звичайно приділяється 1 байт, причому 0 - чорний колір, а 255 - білий (максимальна інтенсивність). У випадку кольорового зображення виділяється по байту на градації яскравостей всіх трьох кольорів. Можливе кодування градацій яскравості іншим числом бітів (4, 12, або 24), але людське око здатне розрізнати тільки 8 біт градацій на кожний колір, хоча спеціальна апаратура може давати і більше точну передачу кольорів

У випадку кольорових зображень  $c_{ij}$  треба розглядати як вектор основних характеристик кольорової палітри. Наприклад, якщо задано зображення у 24-бітному форматі палітри *RGB*, то

$$\mathbf{c}_{i,j} = \{c_{i,j}^R, c_{i,j}^G, c_{i,j}^B\},$$

де  $c_{i,j}^R, c_{i,j}^G, c_{i,j}^B$  - значення червоного, зеленого та синього кольорів піксела  $dtp_{ij}$  відповідно.

Тоді наведений нижче алгоритм треба застосувати до кожної характеристики окремо.

Якщо, наприклад, по ширині ввести в розгляд вектор

$$\tilde{c}_j = \{c_{i,j} \mid i = \overline{1, n}\}, \quad (5)$$

то (3) можна записати у вигляді

$$\mathbf{C} = [\tilde{c}_j]_{j=\overline{1, m}}. \quad (6)$$

Важливою характеристикою зображення є наявність в зображенні контурів. Задача виділення контура вимагає використання операцій над сусідніми елементами, які є чутливими до змін і пригашають області постійних рівнів яскравості, тобто, контури – це ті області, де виникають зміни, стаючи світлими, тоді як інші частини зображення залишаються темними [2].

Математично – ідеальний контур це – розрив просторової функції рівнів яскравості в площині зображення. Тому виділення контура означає пошук найбільш різких змін, тобто максимумів модуля вектора градієнта [2]. Це є однією з причин, через що контури залишаються в зображенні при шифруванні в системі RSA, оскільки шифрування тут базується на піднесенні до степеня по модулю деякого натурального числа. При цьому, на контурі і на сусідніх до контура пікселях піднесення до степеня значення яскравостей дає ще більший розрив.

### Лінійний афінний шифр

Введемо означення бінарного афінного перетворення евклідової площини в декартових координатах.

*Перетворення евклідової площини називається афінним, якщо це перетворення відображає кожну пряму на пряму.*

Лінійний афінний шифр – шифр афінної підстановки – має вигляд:

$$y = ax + b \pmod{m}. \quad (7)$$

Тут ключем є пара  $(a, b)$ ,  $0 < a \leq m - 1, 0 \leq b \leq m - 1$ , причому  $a$  повинно бути взаємно простим з  $m$ .

З (7) одержуємо

$$x = a'y + b' \pmod{m}, \quad (8)$$

де  $a' = a^{-1} \pmod{m}$  - обернений до  $a$  елемент в кільці лишків за модулем  $m$ ,  $b' = -a'b$ .

Рівність (8) має той самий вигляд, що й (7), отже шифрування і розшифрування здійснюються за тим самим алгоритмом, тільки з різними параметрами. Умова взаємної простоти  $a$  з  $m$  потрібна для того, щоб існував обернений елемент  $a^{-1}$  і рівняння (7) при фіксованому  $y$  мало єдиний розв'язок  $x$ , тобто можливо було однозначно розшифрувати. У протилежному випадку рівняння (8) має не єдиний розв'язок  $x$  або взагалі його не має.

Афінна підстановка легко піддається криптоаналізу, хоча число ключів в цьому шифрі  $\varphi(m) \cdot m$ , де  $\varphi(m)$  – функція Ейлера (число менших за  $m$  і взаємно простих з ним чисел). Нехай  $y^*$  і  $y^{**}$  - перша і друга за частотою букви шифрованого тексту,  $x^*$  і  $x^{**}$  - відповідно найчастіша і наступна за нею букви алфавіту.

Природно припустити, що при шифруванні  $x^*$  перейде в  $y^*$ , а  $x^{**}$  - в  $y^{**}$ .

Складемо систему рівнянь:

$$\begin{cases} y^* = ax^* + b \pmod{m}; \\ y^{**} = ax^{**} + b \pmod{m}. \end{cases} \quad (9)$$

Відмітимо, що в цій системі невідомими є  $a$  і  $b$ , а  $x$  і  $y$  – відомі. З (9) маємо:

$$y^* - y^{**} = a(x^* - x^{**}) \pmod{m}. \quad (10)$$

Якщо пари  $x^* \leftrightarrow y^*$ ,  $x^{**} \leftrightarrow y^{**}$  підбрані вірно, то рівняння (9) має розв'язок  $a$ . Знаючи  $a$ , з (10) знаходимо  $b$ . Якщо ж ці пари не відповідають дійсності, то (9) або не має розв'язку, або при всіх розв'язках (10), розшифровуючи, одержимо беззмістовний текст.

### Формули бінарного афінного перетворення

Бінарне афінне перетворення площини в декартових координатах має вигляд

$$\begin{aligned} x' &= a_1x + b_1y + d_1; \\ y' &= a_2x + b_2y + d_2, \end{aligned} \quad (11)$$

де

$$\delta = \begin{vmatrix} a_1 & b_1 \\ a_2 & b_2 \end{vmatrix} \neq 0. \quad (12)$$

Обернене до (11) перетворення також існує і тоді

$$x = \frac{\Delta_x}{\delta}, \quad y = \frac{\Delta_y}{\delta}, \quad (13)$$

де

$$\Delta_x = \begin{vmatrix} x' - d_1 & b_1 \\ y' - d_2 & b_2 \end{vmatrix}; \quad \Delta_y = \begin{vmatrix} a_1 & x' - d_1 \\ a_2 & y' - d_2 \end{vmatrix}. \quad (14)$$

### Шифрування і дешифрування по рядках матриці зображення

#### Шифрування по одному рядку

Нехай  $P, Q$  - довільні прості числа. Виберемо [3]

$$N = PQ, \quad \varphi(N) = (P-1)(Q-1), \quad ed \equiv 1 \pmod{\varphi(N)}, \quad (15)$$

$$e < \varphi(N), \quad d < \varphi(N).$$

Шифрування відбувається з використанням елементів одного рядка по формулах (11), де

$$x = c_{i,j}, \quad y = c_{i,j+1}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (16)$$

Вибираються дві сусідні точки, так щоб в кожному парі кожна точка була вибрана тільки один раз. Коефіцієнти

$$a_1 = b_2 = (P + Q)^e \pmod{N}; \quad b_1 = a_2 = (P * Q)^d \pmod{N}, \quad (17)$$

є цілі числа,

$$d_1 = j * j, \quad d_2 = j * j * j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (18)$$

Дешифрування проводиться по формулах оберненого перетворення (13) з тими ж самими коефіцієнтами (17).

Результати наведені на Рис.1 – 3.



Рис.1. Початкове зображення

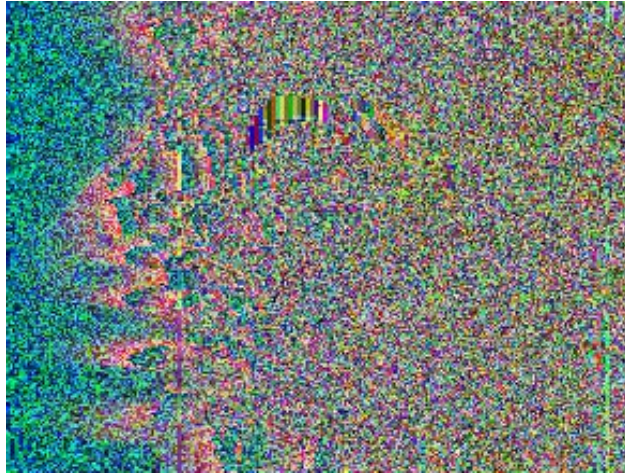


Рис.2. Зашифроване зображення



Рис.3. Дешифроване зображення

### Шифрування по двох рядках матриці

Шифрування відбувається з використанням елементів двох рядків по формулах (11), де

$$x = c_{i,j}, y = c_{i+1,j}, i = \overline{1,n}, j = \overline{1,m}. \quad (19)$$

Вибираються два значення з однаковими номерами, по одній з кожного рядка, так щоб в кожному парі кожне значення було вибрано тільки один раз. Коефіцієнти

$$a_1 = a_2 = (P + Q)^e \pmod{N}; \quad b_1 = b_2 = (P * Q)^d \pmod{N}, \quad (20)$$

є цілі числа,

$$d_1 = -j * j, \quad d_2 = -j * j * j, \quad j = \overline{1,m}. \quad (21)$$

Дешифрування відбувається по формулах оберненого перетворення (13) з тими ж самими коефіцієнтами  $a_1, a_2, b_1, b_2$ .

Результати наведені на рис.4 – 6.



Рис.4. Початкове зображення

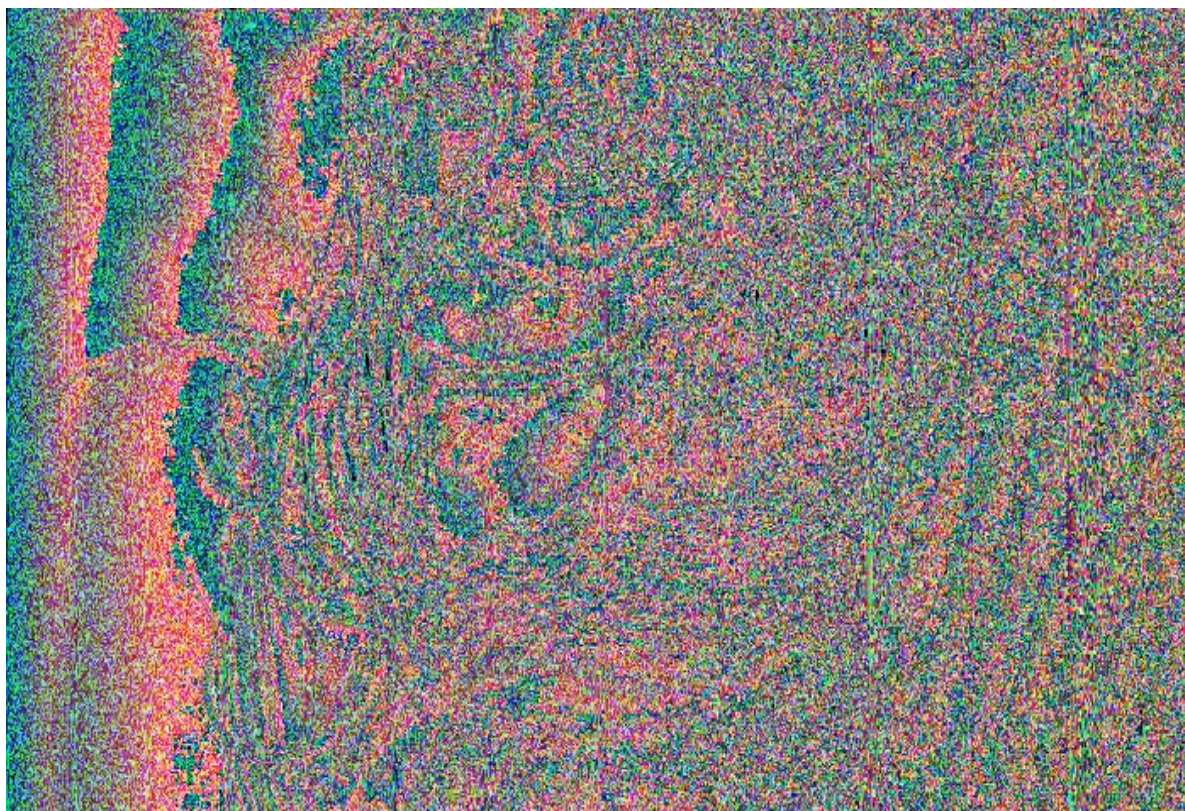


Рис.5. Зашифроване зображення





Рис.6. Дешифроване зображення

З порівняння Рис.2 і Рис.4 видно, що шифрування по одному рядку матриці (2.5) відрізняється від шифрування по двох рядках цієї матриці. Контури в обох зашифрованих зображеннях відсутні.

#### **Висновки**

1. Запропоновані модифікації шифрування призначені для шифрування зображень в градаціях сірого і ґрунтуються на використанні ідей базового алгоритму RSA.
2. Запропоновані модифікації можуть бути використані стосовно будь-якого типу зображень, але найбільші переваги досягаються у випадку використання зображень, які дозволяють чітко виділяти контури.
3. Усі два типи модифікацій без жодних застережень можна використати і стосовно кольорових зображень. Однак, незалежно від типу зображення, пропорційно до розмірності вхідного зображення, може зрости розмір шифрованого зображення.
4. Стійкість до несанкціонованого дешифрування запропонованими потоковою модифікацією забезпечується методом RSA.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Павлидис Т. Алгоритмы машины графики и обработки изображений. – М.: Радио и связь, 1986.-399с.
2. Б.Яне. Цифровая обработка изображений. – Москва, Техносфера , 2007.-583с.
3. Брюс Шнайер. Прикладная криптография. – М.: Триумф, 2003. – 815с.
4. Ю.М. Рашкевич, Д.Д. Пелешко А.М. Ковальчук, М.З. Пелешко. Модифікація алгоритму RSA для деяких класів зображень. Технічні вісті 2008/1(27), 2(28). С. 59 – 62
5. Y.Rashkevych, A.Kovalchuk, D.Peleshko, M.Kupchak. Stream Modification of RSA Algorithm For Image Coding with precize contour extraction. Proceedings of the X-th International Conference CADSM 2009. 24-28 February 2009, Lviv-Polyana, Ukraine, Pp. 469-473.

## ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДЕФОРМАЦИЙ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СТРУКТУР С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СИСТЕМ ТЕХНИЧЕСКОГО ЗРЕНИЯ

Биленко М.С., Рожков С.А., Единович М.Б.

**Постановка проблемы.** Для текстильных производств Украины важной проблемой является контроль качества рулонных текстильных материалов [1,2]. Операции контроля на таких производствах выполняются, как правило, органолептически, что является малоэффективным методом контроля качества.

Развитие современных информационных технологий позволяет реализовать процесс контроля качества текстильных материалов в виде автоматизированных интегрированных систем [1, 2]. Для современных систем управления качеством [3] характерно использование статистических подходов. При этом в системах управления могут быть использованы различные технические средства контроля, например телевизионные сканирующие системы и др. Применение таких систем выгодно с точки зрения экономической целесообразности: они хорошо согласуются с существующими информационно–управляющими системами, имеют высокую повторяемость и относительно дешевы для производства.

Разработка высокоэффективных систем технического зрения, способных осуществлять автоматический контроль качества текстильной продукции в технологических комплексах, позволяет обеспечить для текстильной промышленности значительное повышение качества продукции.

**Анализ публикаций по теме исследования.** Перекос уточной нити (поперечная нить в полотне ткани) является одним из наиболее распространенных дефектов в текстильном производстве, который возникает во время обработки ткани на отбельных, краильных и отделочных линиях как следствие перекоса и износа валов оборудования, неодинаковой скорости движения ткани на технологических переходах [2, 6].

Анализ современного состояния проблемы правки утка показывает, что не существует удовлетворительных средств устранения перекоса, способных работать на разных видах тканей. Большинство известных датчиков перекоса контролируют нарушение симметрии анизотропных свойств ткани, связанное с деформацией ткани, в частности перекосом. Наличие анизотропных свойств и их симметрия обусловлены в первую очередь ортогональной структурой ткани, которая образована переплетением нитей основы и утка. Существующие датчики перекоса можно классифицировать по виду анизотропии контролируемой величины: плотности, преломляющей способности, электрическому сопротивлению и емкости. Для датчиков, контролирующих нарушение симметрии анизотропии характерно расположения чувствительных элементов на направлениях, которые не совпадают с нитями основы и утка (рис.1).

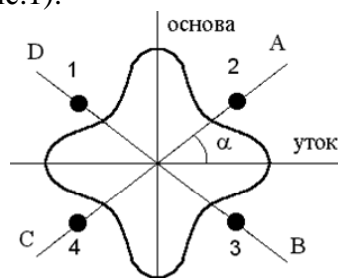


Рис.1. Ориентация чувствительных элементов датчика перекоса утка

Известна модель ткани [4], представленная как двумерный ряд Фурье:

$$f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_{m,n} e^{j\left(\frac{m\pi x}{l_x} + \frac{n\pi y}{l_y}\right)}, \quad (1)$$

где  $C_{m,n} = \frac{1}{4l_x l_y} \int_{-L_x}^{L_x} \int_{-L_y}^{L_y} f(x, y) e^{-j\left(\frac{m\pi x}{l_x} + \frac{n\pi y}{l_y}\right)} dx dy$  - коэффициенты разложения;  $l_x, l_y$  - характерные размеры ячейки ткани;  $L_x, L_y$  - размеры раппорта ткани (рис. 1а).

Обозначив  $\omega_{x,m} = \frac{m\pi}{l_x}$ ,  $\omega_{y,n} = \frac{n\pi}{l_y}$  и  $\vec{\omega}_{m,n} = \begin{bmatrix} \omega_{x,m} \\ \omega_{y,n} \end{bmatrix}$ , а  $\vec{x} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ , получим выражение (2):

$$f(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_{m,n} e^{j\vec{\omega}_{m,n}^T \vec{x}}. \quad (2)$$

Опишем деформацию ткани в виде аффинного преобразования:

$$\vec{x}_d = \mathbf{A}\vec{x} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix}. \quad (3)$$

В работе [4] показано, что модель ткани с перекосом по уточным нитям можно представить в виде (4):

$$\begin{aligned} f(x, y) &= |\mathbf{A}| \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_{m,n} e^{j\langle \vec{x}^T, (\mathbf{I} + \mathbf{V}) \vec{\omega}_{m,n} \rangle} = \\ &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_{m,n} e^{j\langle \vec{x}^T, \mathbf{I} \vec{\omega}_{m,n} \rangle} \cdot |\mathbf{A}| \cdot e^{j\langle \vec{x}^T, \mathbf{V} \vec{\omega}_{m,n} \rangle}, \end{aligned} \quad (4)$$

$$\text{где } \mathbf{I} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \mathbf{V} = \begin{pmatrix} a_{11}-1 & a_{21} \\ a_{12} & a_{22}-1 \end{pmatrix}, |\mathbf{A}| = \begin{vmatrix} \frac{\partial x_d}{\partial x} & \frac{\partial x_d}{\partial y} \\ \frac{\partial y_d}{\partial x} & \frac{\partial y_d}{\partial y} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix}.$$

**Целью работы** является анализ возможностей применения методов цифровой обработки изображений в системах машинного зрения для распознавания деформаций периодических структур в приложении к текстильным материалам.

**Основная часть.** В современной практике неразрушающего контроля качества рулонных материалов используются преимущественно оптико-электронные методы регистрации изображения.

Для проведения эксперимента были использованы изображения образцов ткани простого переплетения, полученные при помощи цифровой видеокамеры.

Рассмотренные образцы тканей были исследованы на отсутствие перекоса уточной нити [7].

В системе автоматического контроля качества для вычисления частотной характеристики для участка изображения ткани воспользуемся дискретным преобразованием Фурье [8]

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) e^{-i2\pi(ux/M + vy/N)}. \quad (5)$$

Анализ полученных результатов позволяет определить, что аффинная деформация изображения ткани порождает аффинную деформацию спектра изображения.

Однако, применение данного метода моделирования вычисления угла перекося уточной нити неоправданно из-за низкой точности и сложности вычислений.

Для более точной оценки угла перекося уточной нити проведем оценку периодичности автокорреляционной функции. Найдем автокорреляционную функцию из ДПФ изображения ткани (рис. 2, а)

$$A(x, y) = F^{-1}[F^*(u, v) \cdot F(u, v)]. \quad (6)$$

При исследовании периодичности текстуры (ткани) в различных направлениях воспользуемся полярной разверткой автокорреляционной функции [4] (рис.2, б):

$$I(\rho, \varphi) = 1 - A(\rho \cdot \sin(\frac{2\pi\varphi}{K}) + \frac{I}{2}, \rho \cdot \cos(\frac{2\pi\varphi}{K}) + \frac{J}{2}). \quad (7)$$



Рис. 2. Автокорреляционная функция

а) для изображения ткани, б) в полярных координатах

Автокорреляционная функция в полярных координатах представляет периодичность структуры ткани для направлений текстуры  $\varphi$ .

В зависимости от направления вычислим характеристику периодичности текстуры для каждого направления  $\varphi$  [4, 10]:

$$R(\varphi) = (R_i(\varphi) \cdot R_p(\varphi))^2, \quad (8)$$

где  $R_i(\varphi)$  – нормирующий коэффициент интенсивности корреляционной функции,  
 $R_p(\varphi)$  – нормирующий коэффициент по координате корреляционного минимума.

$$R_i(\varphi) = 1 - \frac{F_{\min}}{F_{\max}}, \quad (9)$$

где  $F_{\min}$  – минимальная амплитуда автокорреляционной функции,

$F_{\max}$  – максимальная амплитуда автокорреляционной функции.

$$R_p(\varphi) = 1 - \left| 1 - \frac{2j_1}{j_2} \right|, \quad (10)$$

где  $j_1$  - координата первого автокорреляционного минимума,

$j_2$  - координата второго автокорреляционного минимума.

На рис. 3 показана одна строка автокорреляционной функции для изображения ткани образца с двумя координатами автокорреляционного минимума. При расчете характеристики принято отсутствие вытяжек.

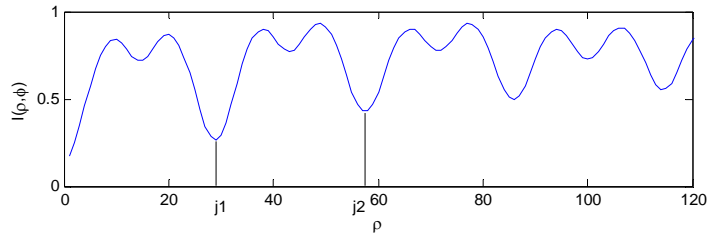


Рис.3. Строка автокорреляционной функции в полярный координатах

Используя алгоритм БПФ [9], произведены расчеты амплитудного спектра для образцов ткани без деформации (рис.4, а), и тканей с перекосом (рис.4, б–г). Результаты моделирования показаны на рис. 4 во втором столбце.

Для исследования анизотропных оптических свойств ткани построим характеристику  $R(\varphi)$  в полярных координатах (рис. 4). Характеристика периодичности текстуры позволяет определять допустимый угол перекоса в симметрии в диапазоне перекосов  $\pm 45^\circ$ .

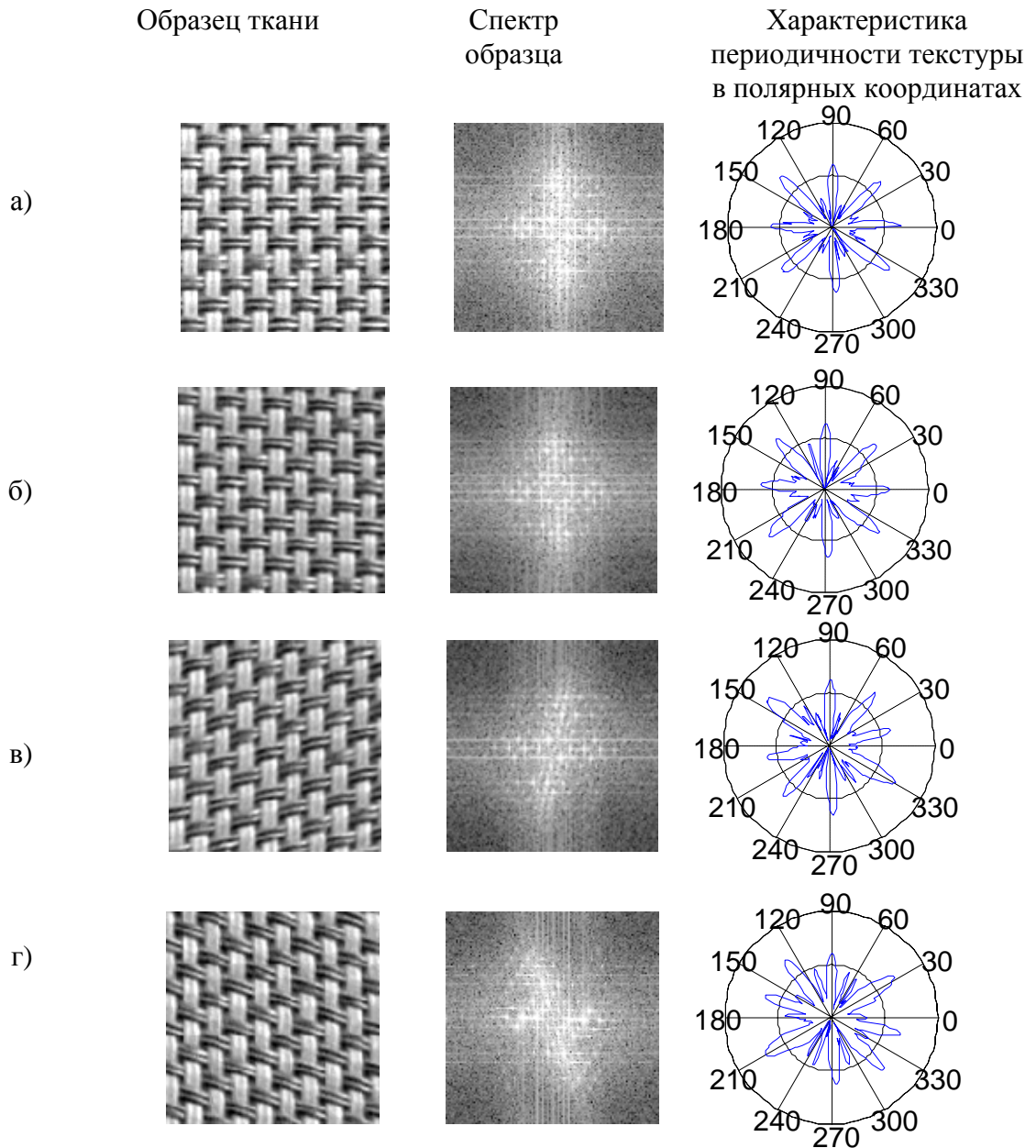


Рис.4. Результаты моделирования алгоритма для различных углов перекоса нитей утка

Разброс в характеристиках периодичности текстуры вызван некоторой нерегулярностью образцов ткани. Дальнейшее развитие метода позволяет определять основные геометрические параметры дл различных типов структур.

Особенностью использования данного метода определения перекоса является однозначность характеристик по углу перекоса для объекта контроля (ткани).

### Выводы

Использование данного подхода для анализа изображений в градациях уровня серого позволяет применять расширенную статистику описания, что позволяет описывать структуры с точки зрения значимости их взаимодействия.

Анализ анизотропии структуры позволяет осуществлять адаптацию системы к различным типам текстур и может быть использован в системах с компенсацией информационных потоков

Высокое угловое разрешение позволяет определять нарушения свойств структуры тканей и оценивать их симметрию. Метод характеризуется достаточной стабильностью при постоянных условиях освещенности и позволяет определить деформацию текстуры в широком диапазоне.

Анализ экспериментальных результатов исследования позволяет сделать вывод о перспективности данного метода при анализе структур, имеющих разные степени закономерности и анизотропии, и может быть использован для структур со слабыми связями.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Биленко М.С., Рожков С.А. Контроль качества текстильных материалов с использованием системы машинного зрения // Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины. – 2008. – №1(14). –С.6–11.
2. Рожков С.А., Бражник Д.А., Тимофеев К.В. Контроль структурных параметров ткани с использованием фильтрации на основе распознавания образов// Проблемы легкой и текстильной промышленности Украины –2004. –№2(9). –С.220–224.
3. Лайкер Д. Дао Toyota: 14 принципов менеджмента ведущей компании мира / Джеффри Лайкер; Пер. с англ. – М.: Алпина Бизнес Букс, 2005. – 402 с.
4. Рожков С.А., Рудакова А.В., Единович М.Б., Решетняк Ю.С. Математическая модель ткани как объекта контроля в задаче термовлажностной обработки // Вестник Херсонского национального технического университета. –2006. –№ 3 (26). –С.127–130.
5. Рожков С.А., Биленко М.С., Единович М.Б. Метод генерации изображения эталона для системы автоматического контроля // Вестник Херсонского национального технического университета. –2009. –№2 (35). –С.89–94.
6. Единович М.Б. Обобщенная модель датчика контроля линейных деформаций двухмерных объектов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы.–1998. –№1.–С.89-96.
7. Ткани и штучные изделия текстильные. Метод определения величины перекоса: ГОСТ 14067-80. –[Чинний від 30.09.1980]. – М.: Издательство стандартов, 1980.– 7 с.
8. Гонсалес Р., Вудс Р., Эддинс С. Цифровая обработка изображений в среде MATLAB. – М.: Техносфера, 2006. – 616 с.
9. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 1. – 312 с.
10. Chetverikov D., Henbury A. Finding defects in texture using regularity and local orientation // Pattern Recognition. – Vol. 35. – 2002. – P. 2165–2180.

## ПРИНЦИПИ ПОБУДОВИ ОПТИМАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ ОБ'ЄКТІВ В ДІАПАЗОНІ ВІД 1 нм ДО 1000 нм.

Руднєва М.С., Кочеткова О.В., Задорожній Р.О.

### Вступ

Створення нової техніки, наукоємких технологій і нових матеріалів, які забезпечують розвиток структури і технічного рівня виробництва, багато в чому, визначається рівнем метрологічного забезпечення вимірювань. Однією з найважливіших задач розвитку наукоємких технологій є розробка нових методів та високоточних засобів лінійних вимірювань з точністю до одного нанометра.

За останні роки у вимірювальній техніці, завдяки досягненням мікроелектроніки, створилися значні якісні зміни. До засобів вимірювання стали включати мікропроцесори, які забезпечують автоматичне управління процесом вимірювання та обробкою даних, тобто додають цим засобам «інтелектуальних» якостей. Багато яких механічних принципів вимірювань тепер вдається реалізувати суто електронними засобами. В зв'язку з розробкою різних датчиків в інтегральному мікроелектронному виконанні у вимірювальній техніці з'явилися нові пристосування та перспективи розвитку. Знайшла широке застосування і цифрова вимірювальна техніка. Це призвело до того, що зараз засоби вимірювальної техніки головним чином використовуються у складі автоматизованих систем та комплексів. Важливі напрямки державної політики по розробці принципово нових технічних рішень при створенні мікроелектронних приладів та мікро системної техніки різного призначення визначають основні задачі по метрологічному забезпеченні лінійних вимірювань, розробці нових методів та високо прецизійних засобів вимірювань геометричних розмірів об'єктів в діапазоні від 1 нм до 1000 нм.

Скануючий зондовий мікроскоп (СЗМ) дозволяє вимірювати довжини в діапазоні від 1 нм до 1000 нм з роздільною здатністю менше 0,1 нанометрів. Такі відстані є незвично малими навіть для сучасної техніки і їх досягнення пов'язано з певними труднощами при розробці та експлуатації цих мікроскопів. Причина яких полягає в великій кількості параметрів, які змінюються в широких межах. Для підтримки формального режиму процесу вимірювання необхідно вимірювати його параметри. Поряд з цим, чим достовірніше виконуються вимірювання цих параметрів, тим вище точність вимірювання.

### Постановка проблеми

Оптимальна структура інформаційно-вимірювальної системи (ІВС), якою являється СЗМ, що реалізує механізм самоналагодження, являє собою сукупність технічних засобів і програмного забезпечення. Така система працює у взаємозв'язку з оператором-метрологом, який застосовує новітні комп'ютерні компоненти та реалізує роботу в реальному часі. За цих умов система здатна на основі апріорної інформації та вимірювань параметрів стану при наявності мотивації синтезувати мету, виробляти рішення про характер дії системи і знаходити раціональні способи досягнення мети. Розроблена концепція інтелектуальних систем [1,3] використовується при оптимізації структури приборного комплексу та обробки інформації нового покоління.

В рамках цієї концепції складна ІВС, розробляється як функціональна, що сприяє досягненню заданої координати вимірювання та виступає в тому числі, і як системостворюючий фактор.

Вимогами до алгоритмів обробки інформації є відклик на будь-які непередбачені зовнішні та внутрішні дестабілізуючі фактори на протязі прогнозованого стану системи. Для одержання повної інформації про стан СЗМ, необхідно розглядати не тільки вимірювані параметри, але і змінні параметри стану.

**Розв’язання проблеми**

Основна ціль дослідження полягає у розробці методики для побудови оптимальної структури ІВС на основі СЗМ, до складу якої входять датчики та вимірювальні системи, а також алгоритмічне забезпечення та блок тестування.

При управлінні основним джерелом інформаційно-вимірювальних сигналів є СЗМ. Основними вимогами до цього комплексу є точність вимірювання об’єкту.

Виходячи з вищенаведеного, можна визначити алгоритм функціонування вимірювального комплексу в наступній послідовності:

- з датчиків інформація поступає в блок основна база знань;
- блок тестування – проводить перевірку роботи всіх підсистем та здійснює тестування на точність ;
- в експертній системі ці результати оцінюються;
- на основі оцінки стану системи приймається рішення про готовність ІВС до вимірювання та визначається алгоритм управління;
- здійснюється закон управління, при цьому інформація передається на виконуючі органи;
- інформаційно-вимірювальні дані про об’єкт вимірювання поступають та накопичуються в основній базі знань.

Основою для побудови оптимальної структури є визначення основних рівнянь керування. В загальному випадку рівняння для руху зонда СЗМ при вимірюванні має вигляд [ 2, 4, 8]:

$$y(n) = K_u(q)U(n) + K_\xi(q)\xi(n), \tag{1}$$

де  $U(n)$  - зовнішні впливи,  $\xi(n)$  - випадкова завада,

$$K_u(q) = \frac{P_u(q)}{Q(q)},$$

$$K_\xi(q) = \frac{P_\xi(q)}{Q(q)}$$

- передаточні функції динамічного об’єкту по керуванню та впливу, відповідно.

Нев’язку можна представити рівнянням

$$\varepsilon(n) = y(n) - \hat{y}(n), \tag{2}$$

де  $y(n)$  – вихідні величини об’єкту,  $\hat{y}(n)$  – величина налагоджуваної моделі.

В ІВС задача ідентифікації зводиться до алгоритму, де проводиться розпізнавання образів які вже надані в базі знань (визначені класи  $n$  ). Але існує ще клас невідомих  $m$  об’єктів.

Таким чином задача ідентифікації складається з суми  $n + m$ , де  $n \geq 1$ - кількість відомих, а  $m \in \{0, \infty\}$ - кількість невідомих класів. Задача ідентифікації зводиться до перебору та зрівняння  $n$  класів з еталонними моделями після чого приймається рішення системою.

Але можуть виникати різні ситуації:

- 1) якщо опис не співпадає ні з одним об’єктом, який знаходиться в базі даних і знань;
- 2) якщо опис співпадає частково. В цих випадках потрібно застосувати двухстадійну систему ідентифікації.



Така система найбільш прийнятна для вимірювання об'єктів за допомогою інформаційно-вимірювальної системи. В ній застосовуються вже відомі методи та алгоритми в теорії ідентифікації та зводяться до задачі розпізнавання об'єктів. Реалізація цієї схеми в системі керування СЗМ значно підвищує ефективність системи ідентифікації.

Слід відмітити, що застосування такого алгоритму призводить до більш досконалого процесу керування рухом зонду та визначення об'єктів вимірювання.

Для того щоб оптимальна структура інформаційно-вимірювальної системи працювала злагоджено треба приділити увагу якості ідентифікації, яку можна оцінити її критерієм [1-4]:

$$J(c) = M\{F[\varepsilon(z(n), c)]\}, \quad (3)$$

де  $F[\cdot]$  – функція втрат,  $M$  – символ математичного очікування,  $\varepsilon$  – нев'язка,  $z(n)$  – вектор спостереження,  $c$  – вектор налагоджуваних параметрів.

Очевидно, що критерій якості ідентифікації  $J(c)$  визначається як середні втрати. Якщо значення середніх втрат мінімальне, то при оцінці структури СЗМ можна сказати, що ця структура оптимальна. Якщо критерій якості не виконує умову, де  $J(c) \rightarrow \min$ , то здійснюється заміна параметрів та структури приборного комплексу.

Модель в співвідношенні до об'єкту визначається математичним очікуванням квадрата нев'язки [5-12]

$$M\{\varepsilon^2(n)\} = M\{[y(n) - y(n)]^2\}, \quad (4)$$

де  $\varepsilon$  – нев'язка,  $y(n)$  – вихідні величини об'єкту,  $y(n)$  – величина налагоджуваної моделі.

Розглянемо умову ідентифікації об'єкту при якій існує проста завада [8,12]. В цьому випадку рівняння має вигляд:

$$y(n) = -\sum_{m=1}^N a_m^* y(n-m) + \sum_{m=0}^N b_m^* u(n-m) + \xi(n), \quad (5)$$

чи 
$$y(n) = c^{*T} x(n) + \xi(n), \quad (6)$$

де  $c^* = (a_1^*, \dots, a_N^*, b_0^*, \dots, b_N^*)$  – вектор невідомих параметрів об'єкту, а  $x(n)$  – вектор спостереження.

Оптимальні середні втрати можна записати в вигляді:

$$J^0(c) = M\{F_0[y(n) - c^T x(n)]\}, \quad (7)$$

де  $F_0[\varepsilon] = -\ln p_0(\xi)|_{\xi=\varepsilon}$  – оптимальна функція втрат,  $p_0(\xi)$  – щільність розподілу завад.

Згідно проведених експериментів результати моделювання алгоритмів можливо відобразити залежностями  $M\{\|c(n) - c^*\|^2\}$  від  $n$  [8,19,20,35,36].

Оптимальна налагоджувана модель буде характеризуватися як така, для якої математичне очікування  $M\{\varepsilon^2(n)\}$  досягає можливого значення при визначених значеннях її параметрів.

**Висновок.** Розроблені принципи побудови та методи підвищення якісних показників функціонування ІВС контролю геометричних характеристик складних просторових об'єктів в діапазоні від 1 нм до 1000 нм дають можливість забезпечити належний рівень метрологічного забезпечення вимірювання параметрів об'єктів скануючими зондовими мікроскопами, та підвищити точність таких вимірювань.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя: Пер. с англ., Под ред. Я.З.Цыпкина. – М.: Наука. Гл.ред.физ.-мат.лит., 1991. – 432 с.
2. Макаров И.М. Управляющие системы промышленных роботов. М.: Машиностроение, - 1984. - 287 с.
3. Орнатский П.П. Теоретические основы информационно-измерительной техники.- М.: Наука 1986. - 288 с.
4. Павленко І.І. Синтез структури промислових роботів та аналіз їх механічних систем для верстатів з ЧПУ.- М.: Машиностроение.-1996.-230 с.
5. Сейдж Э.П., Мелса Дж. Идентификация систем управления. - М.: Наука, 1974.-248 с.
6. Сейдж Э.П., Уайт Ч.С. Оптимальное управление системами: Пер. с англ. / Под ред. Б. Р. Левина. – М.: Радио и связь, 1982 . – 392 с., ил.
7. Современные методы идентификации систем: Пер.с англ./ Под ред. П.Эйкхоффа. – М.: Мир. 1983. – 400 с., ил.
8. Ту Д.Т., Гонсалес Р.К. Принципы распознавания образов / пер. с англ. И.Б. Гуревич; Под ред. Р.И.Журавлева. – М.: Мир, 1978. – 411 с.
9. Фомин Я.А., Тарловский Г.Р. Статистическая теория распознавания образов. – М.: Радио и связь, 1986. –264 с.
10. Цыпкин Я.З. Основы информационной теории идентификации. - М.: Наука, 1984. – 320 с.
11. Цыпкин Я.З. Информационная теория идентификации. – М.: Наука; Физ.мат.лит, 1995. –336 с.
12. Шередеко Ю.Л., Марусяк А.В. Способ корректного сведения задачи идентификации к задаче распознавания образов // УсиМ. - 2002. – №5. – С.5- 12.

## ОПТИМИЗИРОВАННАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЯ ДОБРОТНОСТИ ВАРИКАПОВ

Тверезовский В.С., Бараненко Р.В.

### Введение и 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 ЭВМ 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

Известно устройство для измерения добротности варикапов, содержащее измерительный контур, схему управления, генератор, усилитель, управляемое сопротивление, измерительный прибор, детекторы, схемы сравнения [2]. Недостатком известного устройства является участие оператора в настройке контура по частоте, т.е. устройство не может автоматически измерять добротность варикапа.

Известно устройство для измерения добротности варикапов, содержащее колебательный контур, включающий образцовый варикап, соединенный через элементы связи с высокочастотным генератором и усилителем и через элемент развязки с источником смещения, блок управления, измеритель и регистратор [3]. К недостаткам известного устройства следует отнести то, что оно не позволяет автоматически производить измерение добротности. Добротность можно определить лишь по формуле, предварительно замерив параметры испытываемого варикапа.

### Цель статьи

Целью работы является устранение недостатков существующих устройств для измерения добротности и разработка нового устройства, структурные особенности которого позволят увеличить точность измерения добротности путем автокалибровки.

### Основной материал

Для реализации целей статьи разработан измеритель добротности [4], который содержит измерительный контур 1, усилитель 2 высокочастотного сигнала, детектор 3, вычислительный блок 4, ключ 5, регистрирующий блок 6, блок 7 функциональных преобразователей, блок 8 управления, ключ 9, генератор 10 пилообразного напряжения, блок 11 сравнения, формирователь 12 импульсов, триггер 13, клеммы для подключения испытываемого варикапа 14, генератор 15 высокочастотного сигнала, цифроаналоговый преобразователь 16, реверсивный счетчик 17, элемент 18 связи, блок 19 задания смещения, управляемый аттенюатор 20, элемент 21 связи, элементы 22, 23, 24 развязки, источники 25, 26 напряжения, варикап настройки 27, варикап автокалибровки 28, разделительные конденсаторы 29, 30, емкость 31, индуктивность 32.

Структурная схема измерителя представлена на рис. 1.

Выход измерительного контура 1 соединен через последовательно соединенные элемент 21 связи, усилитель 2 и детектор 3 с первым входом вычислительного блока 4, выход которого через ключ 5 соединен с входом регистрирующего блока 6. Второй выход ключа 5 соединен с входом формирователя 12 импульсов и первым входом блока 11 сравнения, второй вход которого соединен с выходом источника 26 напряжения, а выход – с

установочным входом триггера 13. Вход сброса триггера соединен с первым выходом формирователя 12 импульсов, а выходы – с соответствующими входами реверсивного счетчика 17, счетный вход которого соединен с вторым выходом формирователя 12 импульсов, а выход соединен с входом цифроаналогового преобразователя 16. Выход последнего через последовательно соединенные управляемый аттенюатор 20 и элемент 18 связи соединен с вторым входом измерительного контура 1. Второй вход управляемого аттенюатора соединен с выходом генератора 15, выход блока 8 управления соединен с управляющими входами ключей 5 и 9. Информационные входы ключа 9 соединены с выходами источника 25 напряжения, а выход через элемент 23 развязки – с третьим входом измерительного контура 1. Выход блока 19 задания смещения через элемент 22 развязки соединен с первым входом измерительного контура 1, четвертый вход которого через элемент 24 развязки соединен с выходом генератора 10 пилообразного напряжения и входом блока 7 функциональных преобразователей, выходы которого соединены с дополнительными входами вычислительного блока 4.

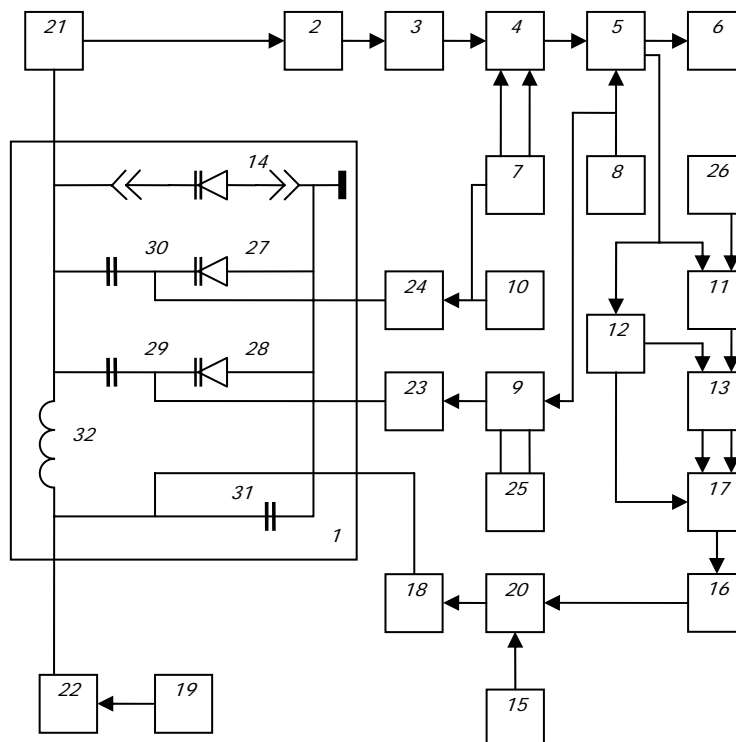


Рис. 1. Структурная схема устройства

Исходное состояние схемы характеризуется следующим состоянием элементов. Испытуемый варикап 14 на клеммах для его подключения отсутствует. С блока 19 задания смещения постоянное напряжение поступает через элемент 22 развязки и индуктивность 32 на измерительный зажим. С высокочастотного генератора 15 через управляемый аттенюатор 20 и элемент 18 связи на измерительный контур 1 поступает напряжение возбуждения. На выходах измерительного контура 1, усилителя 2 высокочастотного сигнала, детектора 3, вычислительного блока 4, ключа 5, блока 11 сравнения, формирователя 12 сигналы отсутствуют. В реверсивном счетчике 17 может находиться случайный код. На выходе генератора 10 пилообразного напряжения будут импульсы пилообразного напряжения. Измерительный контур 1 без испытуемого варикапа 14 не может быть настроен в резонанс из-за малой емкости контура.

Работа измерителя добротности заключается в следующем.

Варикап 14 поступает на измерительные зажимы. Выходным сигналом с блока 8 управления ключ 5 соединяет выход вычислительного блока 4 с входом регистрирующего блока 6, а ключ 9 обеспечивает подачу напряжения постоянного тока высокого уровня че-

рез элемент 23 развязки на варикап автокалибровки 28 из источника 25 напряжения. Генератор 10 пилообразного напряжения вырабатывает импульсы напряжения пилообразной формы, которые через элемент 24 развязки поступают на варикап настройки 27. При высоком напряжении смещения (т.е. максимальном напряжении смещения на рабочем участке вольт-фарадной характеристики варикапа автокалибровки 28) варикап автокалибровки 28 имеет минимальную емкость и максимальную добротность, т.е. по этим параметрам варикап оказывает минимальное влияние на измерительный контур.

Блок 19 задания смещения вырабатывает постоянное напряжение смещения, которое поступает через элемент 22 развязки и индуктивность 32 на испытуемый варикап 14. С высокочастотного генератора 15 через управляемый аттенуатор 20 и элемент 18 связи на измерительный контур 1 поступает напряжение возбуждения.

С поступлением пилообразного напряжения на варикап настройки 27 происходит модуляция его по емкости. В результате на выходе измерительного контура 1 появляется напряжение частоты высокочастотного генератора 15, промоделированное по амплитуде. Наибольшая амплитуда этого напряжения будет в момент, когда измерительный контур 1 находится в резонансе. Промодулированное по амплитуде напряжение с измерительного контура через элемент 21 связи поступает на усилитель 2 высокочастотного сигнала. С выхода усилителя 2 усиленное напряжение детектируется детектором 3 и в виде импульса колоколообразной формы поступает на вход вычислительного блока 4.

При использовании для настройки контура в резонанс конденсатора с воздушным диэлектриком, потерями которого можно пренебречь по сравнению с потерями индуктивности 32, добротность испытуемого варикапа вычисляется по формуле

$$Q_B = \frac{Q_{к.в}}{Q_i - Q_{к.в}} * \frac{Q_i}{Q_{ki}} * C_B, \quad (1)$$

где  $Q_{к.в}$  – добротность контура с испытуемым варикапом, пропорциональная амплитуде напряжения на выходе детектора;

$Q_i$  – добротность индуктивности 32;

$C_B$  – емкость испытуемого варикапа.

При использовании в качестве переменного конденсатора варикапа настройки 27 его потерями пренебречь нельзя. Добротность испытуемого варикапа в данном случае вычисляется по формуле:

$$Q_B = \frac{\frac{Q_{к.в}}{Q_i} * \frac{Q_i}{C_k} * \frac{C_B}{1 + \frac{Q_L C_{в.н}}{Q_{в.н} C_k}}}{1 + \frac{Q_i C_{в.н}}{Q_{в.н} C_k}}, \quad (2)$$

где

$$C_k = C_B + C_{в.н}, \quad (3)$$

$Q_L$  – результирующая добротность индуктивности 32 и варикапа автокалибровки 28 при минимальной его емкости и максимальной добротности;

$C_{в.н}$  – емкость варикапа настройки;

$Q_{в.н}$  – добротность варикапа настройки.

Так как  $Q_{в.н} = \frac{1}{\omega \cdot C_{в.н} \cdot r}$ , а зависимость емкости варикапа настройки от напряже-

ния смещения  $U_{см}$  на нем определяется как  $C_{в.н} = A(U_{см} + \varphi_k)$ , то, учитывая выражение (3), формулу (2) можно записать

$$Q_B = \frac{Q_{к.в}}{F_1(U_{см} - Q_{к.в})} * \frac{Q_i}{C_k} * F_2(U_{см}), \quad (4)$$

где  $r$  – сопротивление потерь варикапа настройки, постоянная величина для данного варикапа;

$$F_1(U_{CM}) = \frac{Q_i}{1 + \frac{Q_i}{C_k} \cdot \omega \cdot r \cdot A^2 (U_{CM} + \varphi_k)^{-2/n}};$$

$$F_2(U_{CM}) = \frac{C_k - A(U_{CM} + \varphi_k)^{-1/n}}{1 + \frac{Q_i}{C_k} \cdot \omega \cdot r \cdot A^2 (U_{CM} + \varphi_k)^{-2/n}};$$

$A$  – постоянная величина;

$\varphi_k$  – контактная разность потенциалов, постоянная величина для одного типа материала  $p - n$ -перехода.

Функции  $F_1(U_{CM})$  и  $F_2(U_{CM})$  формируются блоком 7 функциональных преобразователей 7 из пилообразного напряжения, поступающего на его вход. Напряжения, пропорциональные  $F_1(U_{CM})$  и  $F_2(U_{CM})$ , поступают на два других входа вычислительного блока 4. В вычислительном блоке производится вычисление добротности испытуемого варикапа по формуле (4).

С выхода вычислительного блока сигнал, пропорциональный добротности испытуемого варикапа, поступает через ключ 5 на вход регистрирующего блока 6. В качестве регистрирующего блока может быть использован, например, импульсный вольтметр.

После ухода испытуемого варикапа 14 с измерительных зажимов начинается цикл автокалибровки. Длительность во времени циклов измерения и автокалибровки одинакова. Блок 6 вырабатывает команды, по которым ключ 9 через элемент 23 развязки подает на варикап автокалибровки 28 обратное напряжение смещения низкого уровня из источника 25 напряжения. При этом напряжении варикап автокалибровки 28 имеет емкость и добротность, которые находятся в диапазоне данного измерителя. Варикап автокалибровки того же типа, что и испытуемые варикапы.

С выхода вычислительного блока 4 сигнал, пропорциональный добротности варикапа автокалибровки 28, поступает на ключ 5. Сигнал управления с блока 8 управления подключает выход ключа 5 к входам блока 11 сравнения и формирователя 12. На второй вход блока сравнения подается опорное напряжение от источника 26 напряжения, соответствующее добротности варикапа автокалибровки.

Формирователь 12 формирует из колоколообразного импульса, приходящего на его вход, два коротких импульса, соответствующих по времени переднему и заднему его фронтам. Импульс, соответствующий переднему фронту, с выхода формирователя 12 поступает на вход сброса триггера 13, а импульс, соответствующий заднему фронту, поступает на счетный вход реверсивного счетчика 17. На два других входа реверсивного счетчика приходят сигналы с выхода триггера 13. Эти сигналы задают режим реверсивного счетчика (сложение или вычитание). Цифровые выходы реверсивного счетчика 17 соединены с цифровыми входами цифроаналогового преобразователя 16, аналоговый выход которого соединен с управляющим входом управляемого аттенюатора 20.

Работают эти блоки следующим образом.

Сигнал с формирователя 12 сбрасывает триггер 13. Блок сравнения сравнивает опорное напряжение с амплитудой колоколообразного импульса и выдает импульс на вход установки триггера 13. Триггер задает режим работы реверсивного счетчика. Если амплитуда колоколообразного импульса превышает опорное напряжение  $U_0$ , то задается режим "вычитание", если нет, то "сложение". Затем реверсивный счетчик считает импульсы, приходящие на его вход с формирователя 12, цифроаналоговый преобразователь 16 преобразует цифровой сигнал на своем входе в аналоговый, поступающий на его вход.

Если амплитуда колоколообразного импульса меньше опорного напряжения  $U_0$ , то за каждым шагом автокалибровки напряжение на выходе управляемого аттенюатора 20 порциями увеличивается. Управляемый аттенюатор больше открывается, и на вход измерительного контура подается напряжение возбуждения большей амплитуды. Следовательно, возрастает амплитуда колоколообразного напряжения. По достижении амплитудой колоколообразного напряжения величины  $U_0$  схема автокалибровки входит в режим "захват" и амплитуда колоколообразного импульса за каждый шаг автокалибровки изменяется на квант  $\Delta U$  (плюс или минус) около среднего значения, равного  $U_0$ . За один цикл автокалибровки происходит несколько шагов добавления  $\Delta U$  (или сложения, или вычитания).

Схема автокалибровки позволяет производить коррекцию временной и температурной нестабильности цепи, состоящей из генератора 15 высокочастотного сигнала, измерительного контура 1, усилителя 2, детектора 3 и вычислительного блока 4.

### Выводы

В данной статье предлагается устройство для измерения добротности варикапов, повышение точности которого достигается путем введения в его состав блока сравнения, триггера, реверсивного счетчика, двух источников напряжения, цифроаналогового преобразователя, управляемого аттенюатора, элемента развязки, формирователя импульсов и варикапа автокалибровки, что обеспечивает расширение области применения устройства по сравнению с известными решениями. Схема автокалибровки позволяет производить коррекцию временной и температурной нестабильности цепи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. 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.
2. Авторское свидетельство СССР №429375. Кл. G01R27/26, 09.02.1972.
3. Полупроводниковые диоды. Параметры, методы измерений. /Под ред. Н.Н. Горюнова. – М.: «Советское радио», 1968. – С.116-117.
4. Авторское свидетельство СССР №1443582, «Измеритель добротности». Авторы: В.С. Тверезовский, С.С. Голошапов, С.В. Сидорович. Кл. G01R27/26. Оpubл.: 08.08.1988.

## ИНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧІ КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ

УДК 004.043:004.89

### МЕТОДЫ ХРАНЕНИЯ И ОБРАБОТКИ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ В СРЕДЕ РЕЛЯЦИОННЫХ СИСТЕМ

Касаткина Н.В., Танянский С.С., Филатов В.А.

#### Введение

Математическая теория нечетких множеств (fuzzy sets) и нечеткая логика (fuzzy logic) продолжают привлекать внимание исследователей в области интеллектуальных, экспертных систем, а также систем поддержки принятия решений. Эти понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде (Lotfi Zadeh). Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем, объектов.

Нечеткий подход к моделированию сложных систем получил признание во всем мире, прошло не одно десятилетие с момента зарождения теории нечетких множеств. И на этом пути развития нечетких систем принято выделять несколько периодов. Первый период (конец 60-х – начало 70 гг.) характеризуется развитием теоретического аппарата нечетких множеств (Л.Заде, Э.Мамдани). Во втором периоде (70–80-е годы) появляются первые практические результаты в области нечеткого управления сложными техническими системами. Одновременно внимание уделялось разработке экспертных систем, построенных на нечеткой логике, и нечетких контроллеров. Нечеткие экспертные системы для поддержки принятия решений находят широкое применение в медицине и экономике. Наконец, в третьем периоде, который длится с конца 80-х годов и продолжается в настоящее время, появляются пакеты программ для построения нечетких экспертных систем, а области применения нечеткой логики заметно расширяются. Она применяется в автомобильной, аэрокосмической и транспортной промышленности, в сфере финансов, анализа и принятия управленческих решений и многих других.

В последнее десятилетие отмечается гибридизация методов интеллектуальной обработки информации. Мягкие вычисления объединяют такие области как нечеткая логика, искусственные нейронные сети, извлечение знаний, базы данных, вероятностные рассуждения, эволюционные алгоритмы и ряд других. Они дополняют друг друга и используются в различных комбинациях для создания гибридных интеллектуальных систем.

Не остались в стороне от интересного и современного направления исследователи в области баз данных. Разрабатывается нечеткая реляционная алгебра и специальные расширения структурированного языка (SQL) для нечетких запросов. В этой области интенсивные исследования проводят европейские ученые Д.Дюбуа и Г.Праде. Формируется перспективное направление в современных системах обработки информации – нечеткие запросы к базам данных (fuzzy queries).

В этом контексте можно рассматривать два основных вопроса, наиболее актуальных в настоящее время: (1) как проектировать, (2) где и в каких структурах хранить нечеткие данные систем такого класса.

Решение этих проблем откроет пути интеграции накопивших колоссальные объемы информации реляционных баз данных и систем на основе нечеткой логики.

Целью проводимых исследований является разработка методов хранения и обработки нечетких данных средствами реляционной модели, ориентированной на реализацию в среде современных систем управления базами данных (СУБД). Особое внимание уделе-



но обоснованию выбора схемы реляционной модели данных для представления функций принадлежности лингвистических переменных.

### Основные свойства реляционной модели

Рассмотрим классический подход к построению реляционного отношения, предложенный Э.Коддом [1], и выделим основные свойства отношений при расширении множества доменов.

Основной структурной компонентой данных в реляционной модели данных (РМД) является  $n$ -арное отношение, представляющее собой подмножество кортежей декартова произведения доменов, то есть множества значений элементов данных. Для заданных конечных множеств  $D_1, \dots, D_n$  (не обязательно различных по типу) декартовым произведением  $D_1 \times \dots \times D_n$  называется множество произведений вида  $d_1, \dots, d_n$ , где  $d_1 \in D_1, \dots, d_n \in D_n$ .

Отношением  $R$ , определенным на множествах  $D_1, \dots, D_n$ , называется подмножество произведения (декартово произведение)  $D_1 \times \dots \times D_n$ , то есть  $R \subseteq D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ .

Множество  $D = \{D_1, \dots, D_n\}$  называется доменом. Домены – это однотипные семантически однозначные (одинаковые по смыслу) значения элементов данных. Элементы декартова произведения  $d_1, \dots, d_n$  называются кортежами, число  $n$  определяет степень отношения; количество кортежей определяет мощность отношения.

Пусть  $A = \{A_1, \dots, A_n\}$  – множество имен, тогда введем однозначное отображение вида  $\rho: A_i \rightarrow D_i$ , где пару  $A_i = \langle \rho(A_i), D_i \rangle$  называют атрибутами отношения.

Схемой отношения  $R$  будем называть выражение  $S(A_1, \dots, A_n)$  в котором все атрибуты  $A_i$  различны. При этом экземпляр отношения  $R(S)$  определяется как подмножество декартова произведения доменов  $r_i \subseteq \rho(A_i) \times \dots \times \rho(A_n)$ . Экземпляр отношения со схемой  $R_i$  будем обозначать как  $R_i(r_i)$ . Отметим, что перестановка атрибутов в схеме не порождает нового состояния БД. Таким образом, множество атрибутов  $\{A_1, \dots, A_n\}$  задает тип отношения и определяет его свойства.

Схему БД будем обозначать как множество схем отношений  $U = \{R_1, \dots, R_n\}$ , где  $R_i \in R$  и все  $R_i$  различны. Соответственно, экземпляр БД будем обозначать множеством экземпляров отношений  $U(r_1, \dots, r_n)$ .

Концептуально реляционная БД является информационной моделью предметной области (ПО), такой, что каждый экземпляр соответствует некоторому состоянию ПО в определенный момент времени. Каждое состояние моделируется упорядоченной совокупностью значений элементов данных, соответствующих значениям свойств объектов ПО. Объекту определенного типа соответствует кортеж отношения [2].

### Структура фаззифицированного отношения

Для задач анализа данных определим дополнительный тип отношений, определяющий принадлежность существующих данных к некоторому заданному числовому отрезку, определяющему характеристику рассматриваемого информационного объекта.

Любую линию на координатной плоскости можно представить в виде бинарного отношения, где  $Dom R$  описывается значениями оси абсцисс, а  $Im R$  описывается значениями оси ординат. В задаче фаззификации диаграмма содержит три показателя, которые необходимо учитывать при формировании отношения.

Будем понимать под нечеткой переменной набор  $(N, X, Y)$ , где  $N$  – это название переменной,  $X$  – область рассуждений,  $Y$  – нечеткое множество на  $X$ . Используя такое определение, зададим три домена, соответствующих элементам переменной [3].

Пусть  $N = \{n_1, \dots, n_m\}$ ,  $Y = \{0, 0.1, \dots, 1\}$ ,  $X = \{x_0, \dots, x_k\}$ . Значения  $X$  и  $Y$  соответствуют выбранной шкале дискретизации координатных осей и описывают область принадлежности к параметру  $N$ . Для каждого параметра  $N$  делаем выборку данных по значениям  $X$  и строим диаграмму принадлежности, имеющую вид, представленный на рис. 1.

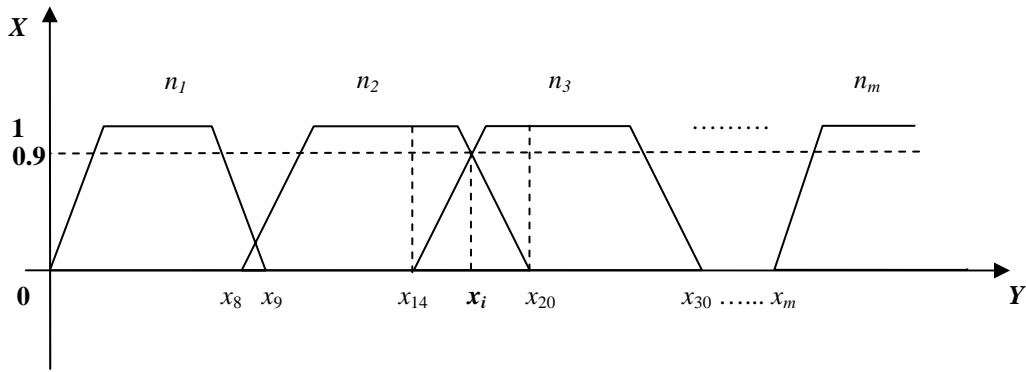


Рис. 1. Распределение количества защит диссертаций по регионам

Для рассмотренного случая определим соответствующие домены для представления нечеткой переменной.

$$D_1 = \{n_1, n_2, n_3, \dots, n_m\};$$

$$D_2 = \{x_0, \dots, x_8, x_9, \dots, x_{14}, \dots, x_i, \dots, x_{20}, \dots, x_{30}, \dots, x_m\};$$

$$D_3 = \{0, 0.1, \dots, 1\}.$$

Зададим множество имен доменов и построим отображение. Для множества имен  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$  отображение  $\rho : (A_1 \rightarrow D_1; A_2 \rightarrow D_2; A_3 \rightarrow D_3)$  определит множество атрибутов  $A = \{A_1, A_2, A_3\}$  и соответствующую схему отношения  $S(A_1, A_2, A_3)$ .

Возможные пересечения диаграмм фаззификации определяют тот факт, что все значения могут повторяться относительно друг друга. Например, рассмотрим фрагмент отношения для показателей  $\{x_{14}, x_i, x_{20}\}$  представленный на рис. 2.

$A_1$	$A_2$	$A_3$
$n_2$	$x_{14}$	0
$n_3$	$x_{14}$	1
$n_2$	$x_i$	0.9
$n_3$	$x_i$	0.9
$n_2$	$x_{20}$	1
$n_3$	$x_{20}$	0
...	...	...

Рис. 2. Фрагмент данных для выбранных показателей.

Таким образом, можно говорить об отношении, включающем полный набор кортежей декартова произведения доменов  $D_1 \times D_2 \times D_3$  (полное декартово произведение, в данном случае, определяется конечностью значений системы координат). Исходя из этого факта, можно заключить, что ключом отношения будет множество всех атрибутов  $K = \{A_1, A_2, A_3\}$ .

Очевидно, что информативность кортежей определяется значениями на диаграмме фаззификации. Исходя из рассматриваемой задачи, необходимо учитывать еще один показатель – множество значений выборки из БД, для которой строится диаграмма. То есть необходимо установить связь между доменом отношения  $R^f$ , отражающим значения оси абсцисс и доменом из БД, содержащим значения параметров фаззификации.

Таким образом, следующая задача, которую необходимо рассмотреть, связана с интеграцией отношения  $R^f$  с БД, хранящей основные показатели.

**Обработка параметров фаззификации**

Рассмотрим задачу в общем виде. Пусть  $U (R_1, \dots, R_n)$  – БД, хранящая основные данные,  $R^f(A_1, A_2, A_3)$  – отношение фаззификации. Задача будет иметь смысл, если в БД  $U$  существует параметр, относительно которого выполнена фаззификация.

Чтобы организовать совместную работу с базами данных  $U$  и  $R$ , формализуем процедуру интеграции, опираясь на поэтапную нормализацию. Структура БД  $U$  получена на основании функциональных зависимостей  $F = \{M_i \rightarrow N_i\}$  где  $M_i, N_i \in U$ . Выделим одну зависимость, которая включает атрибут с параметрами фаззификации, и обозначим ее как  $W \rightarrow V$ , причем  $W$  и  $V$  могут быть множествами. Отношение  $R^f$  содержит одну зависимость вида  $F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1, A_2, A_3\}$ . Опираясь на аксиомы вывода, можно получить эквивалентное множество  $F' = \{A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_1; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_2; A_1, A_2, A_3 \rightarrow A_3\}$ .

Пусть параметр фаззификации соответствует атрибуту  $A_2$ , тогда для определения типа связи необходимо получить множество  $F = F \cup F'$  и рассмотреть два случая, влияющих на правила нормализации.

1.  $A_2 \in W$  – поиск неполных зависимостей: если выполняются функциональные зависимости  $\xi \rightarrow \zeta$  и  $\omega \rightarrow \zeta$ , причем  $\omega \subseteq \xi$ , тогда зависимость  $\omega \rightarrow \zeta$  является неполной.
2.  $A_2 \in V$  – поиск транзитивно зависимых элементов: если выполняются функциональные зависимости  $\xi \rightarrow \omega$  и  $\omega \rightarrow \zeta$ , тогда элемент  $\zeta$  является транзитивно зависимым.

Существование таких зависимостей позволит выполнить корректную декомпозицию и установить связь между базой данных  $U$  и  $R^f$ .

Если  $A_2 = W$  или  $A_2 = V$ , то процесс декомпозиции приводит ко второй или третьей нормальной форме. Если равенства не выполняются, то организовать поддержку однозначности связанных данных нельзя, так как ассоциация между отношениями будет соответствовать типу «многие-ко-многим».

Как правило, на практике условия равенства не выполняются и для нормализации необходимо выделить базис  $F$  и повторить процедуру декомпозиции. Учитывая тот факт, что структура БД не должна изменяться, необходимо связать отношение фаззификации  $R^f$  и БД  $U$  без реструктуризации схемы данных. Используя диаграмму модели «сущность-связь», представим  $R^f$  и  $U$  в виде сущностей (рис. 3).

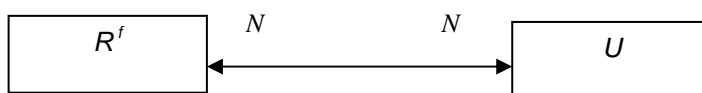


Рис. 3. Диаграмма «сущность-связь» между БД  $U$  и  $R^f$

Для устранения связи “N:N” введем дополнительную связующую сущность, которая решит проблему целостности данных за счет определения новых типов связей. Такая сущность будет содержать один атрибут – связующий для  $R^f$  и  $U$ , причем по объективным причинам он будет ключевым. На рис. 4 показана диаграмма интеграции БД и отношения фаззификации с поддержкой однозначности связи.

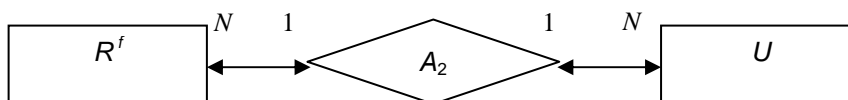


Рис. 4. Устранение связи «многие-ко-многим»

Исходя из описания концептуальной схемы ПО видно, что для корректного соединения  $R^f$  и  $U$  необходимо построить промежуточную таблицу. Такой подход гарантирует согласованность данных для любых типов параметров фаззификации.

Покажем, что для рассматриваемой задачи вполне корректны результаты при выполнении соединения отношений с ассоциацией типа « $N:N$ ». Возможные значения атрибута  $A_1 \in U$  могут повторяться столько раз, сколько данное значение пересекает границы диаграммы фаззификации по оси ординат (см. рис. 1). То есть каждому значению атрибута  $A_1$  соответствует строка уникальных данных. Если  $A_1$  не является ключом, и значения повторяются, то, по определению множества, в строке должно быть хотя бы одно отличное значение. В терминах решаемой задачи необходимо анализировать все такие строки. В атрибуте  $A_1$  отношения  $R^f$  также повторяются значения, которые необходимо проанализировать, причем во всевозможных комбинациях.

Таким образом, в общем виде для анализа данных, накапливаемых в реляционных базах данных, достаточно построить фаззифицированное отношение и установить связь с атрибутом (атрибутами), по значениям которого необходимо провести соответствующий анализ.

### Пример

Для иллюстрации разработанного подхода рассмотрим пример построения интегрированной информационной системы, объединяющей в себе реляционную базу данных и подсистему на основе нечеткой логики.

В 1999 году для Высшей аттестационной комиссии Украины (ВАК Украины) была разработана информационная система обработки, хранения и анализа учетных карточек соискателей на присуждение ученых степеней кандидата или доктора наук. Схема реляционной базы данных включает ряд атрибутов, в том числе:

- фамилия, имя, отчество соискателя,
- дата рождения,
- область наук,
- специализированный совет, где проводилась защита диссертации,
- город, где расположен специализированный совет,
- дата защиты диссертации и ряд других атрибутов.

За время эксплуатации информационная система «ВАК Украины» показала свою эффективность и надежность. В настоящее время база данных насчитывает около 45000 записей. Каждый кортеж в базе данных – это сведения о соискателе, его диссертационной работе, месте и времени защиты. Таким образом, база данных содержит скрытые знания о данной предметной области. Применяв технологию запросов к базе данных с использованием стандартных операций – группировки (GROUP), подсчета количества записей (COUNT), подсчета суммы (SUMM), определения максимального (MAX) и минимального значения (MIN) можно определить некоторые закономерности предметной области, относящиеся к категории скрытых знаний [4].

Количество соискателей, претендующих на ученую степень кандидата технических наук с 1999 по 2008 год, представлено на рис. 5.

Использование технологии запросов с применением функции фильтрации позволяют пользователю получать разнообразные статистические данные, аналогичные рассмотренному выше примеру.

Исследования в области мягких вычислений и технология представления функций принадлежности лингвистических переменных средствами реляционной модели, подробно рассмотренные в данной статье, позволяют проводить анализ данных в разрезе нечетких запросов типа «БОЛЬШЕ», «МЕНЬШЕ», «СТАРЫЙ», «МОЛОДОЙ» и т.д.



Рис. 5. Поступление в ВАК кандидатских диссертаций по годам

Рассмотрим пример формирования и реализации средствами реляционной СУБД подсистемы нечеткого анализа в терминах «МОЛОДОЙ», «ЗРЕЛЫЙ» и «СТАРЫЙ» кандидат технических наук. Возраст будем определять на дату защиты диссертации. Этот атрибут «Возраст Защиты» может быть легко получен в результате вычитания и простого преобразования двух дат из базы данных «ВАК Украины»: «Дата рождения» и «Дата защиты».

Функции принадлежности лингвистической переменной «ВОЗРАСТ» будут иметь вид, представленный на рис. 6.

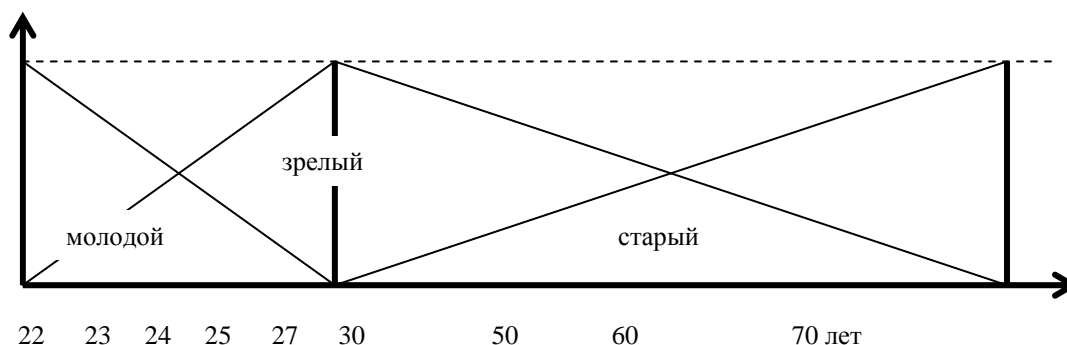


Рис.6. Функции принадлежности переменной «ВОЗРАСТ»

Для хранения всех данных лингвистической переменной «ВОЗРАСТ» проектируется отношение с тремя атрибутами: «Годы», «Имя Переменной», «Значение функции принадлежности». Все атрибуты будут объединены в тройной составной ключ. Атрибут «Имя Переменной» предназначен для хранения повторяющихся групп лингвистической переменной «ВОЗРАСТ» - {«МОЛОДОЙ», «ЗРЕЛЫЙ», «СТАРЫЙ»}, поэтому для хранения уникальных значений проектируется отдельное отношение – «Справочник подмножеств» (С\_Подмножеств). Следующим этапом построения общей схемы базы данных необходимо создать связь между атрибутами «Возраст Защиты» отношения «Соискатели» базы данных «ВАК Украины» и атрибутом «Годы» отношения «Возраст». Схема интегрированной базы данных приведена на рис. 7.

Модифицированная реляционная модель данных, рассмотренной информационно-аналитической системы, позволяет выполнять нечеткие запросы в терминах «МОЛОДОЙ», «ЗРЕЛЫЙ», «СТАРЫЙ» кандидат наук в сочетании с детерминированными четкими значениями базы данных. Например: определить при помощи запроса, с каким значением функции принадлежности по переменным «МОЛОДОЙ», «ЗРЕЛЫЙ»,

«СТАРЫЙ» защищаются соискатели в области научных исследований – технические науки. Результат выполнения запроса представлен на рис. 8.

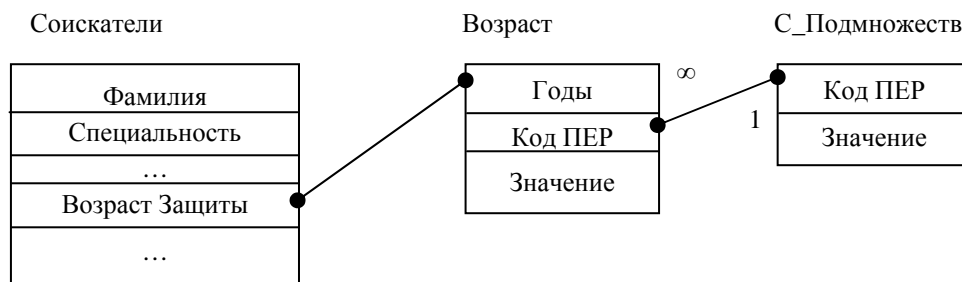


Рис.7. Схема интегрированной реляционной базы данных

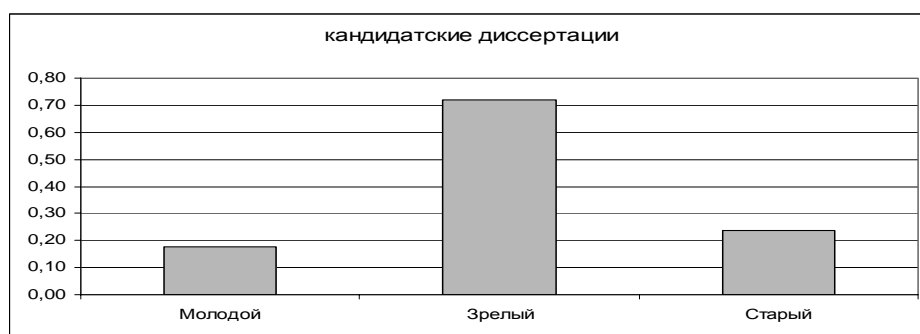


Рис. 8. Распределение по категориям «МОЛОДОЙ», «ЗРЕЛЫЙ», «СТАРЫЙ»

### Выводы

Статья посвящена исследованию методов и структур хранения и обработки нечетких данных средствами реляционного представления и моделирования с ориентацией на реализацию в среде современных СУБД. Особое внимание уделено обоснованию выбора схемы реляционной модели данных для представления функций принадлежности лингвистических переменных. Реляционная модель представления и реализации нечетких моделей может стать связующим звеном для интеграции с существующими реляционными базами данных. Это позволит получить новый инструмент для извлечения новых ранее недоступных данных и знаний. Приведен пример, подтверждающий эффективность разработанного подхода.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Мейер Д. Теория реляционных баз данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1987. – 608 с.
2. Конноли Т., Бегг К. Базы данных: проектирование, реализация и сопровождение. Теория и практика, 2-е изд.: Пер с англ. – М.: «Вильямс», 2000. – 1120 с.
3. Гибридные нейро-фаззи модели и мультиагентные технологии в сложных системах: монография / В.А. Филатов, Е.В. Бодянский, В.Е. Кучеренко и др. ; под общ. ред. Е.В. Бодянского. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2008. – 403 с.
4. Касаткина, Н.В. Об одном подходе к интеллектуальному анализу реляционных баз данных / В.А. Филатов, Н.В. Касаткина // Вестник Херсонского национального технического университета № 1 (34) – 2009. – С. 157-161.

## ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АВТОРУЛЕВОГО

Кучеров Д.П., Копылова З.Н.

**Введение.** Одной из актуальных государственных задач является возрождение отечественного кораблестроения, которое может быть достигнуто путем разработки новых, конкурентоспособных кораблей, внедрением передовых принципов построения систем в эту отрасль [1]. К числу таких задач относится внедрение в практику кораблевождения интеллектуального авторулевого. Под интеллектуальным будем понимать авторулевой способный планировать действия и вырабатывать решения для обеспечения эффективного управления кораблем. Целесообразность разработки авторулевого такого типа доказывается результатами анализа причин аварий судов, опытом обеспечения безопасного движения судов при возрастающей их быстроходности.

Анализ претензий по причинам аварийности судов на морском флоте, проводимый английским клубом защиты и возмещения ущерба, показал, что наибольшее их количество (примерно 62 %) связано с ошибками обслуживающего персонала [2]. Число ошибок экипажа непосредственно определяется количеством возлагаемых на него задач. Уменьшения числа задач, выполняемых обслуживаемым персоналом, при сохранении эффективности управления кораблем можно достичь только увеличением средств автоматизации в управляющей системе корабля.

Достижение таких преимуществ современных кораблей, как высокая маневренность, быстроходность связано с необходимостью увеличения количества бортового оборудования, работающего в условиях значительных перегрузок. Второе место среди причин аварийности (около 23%) занимают технические, конструкционные и технологические неполадки, поэтому естественными требованиями к управляющему устройству является повышение его надежности, сокращение времени на поиск неисправности, а также устранение неполадок [2].

Не менее важной в последнее время становится задача обеспечения безопасности движения и маневрирования судов в море в связи с увеличением их количества, тоннажа, скорости движения, ростом стоимости судов и перевозимых ими грузов. Эта задача может быть решена повышением точности курсового управления судном.

Эксплуатация бортового оборудования происходит в условиях значительного отбора мощности от энергетической установки. В таких условиях возникает еще одна задача эффективной эксплуатации судна – экономный расход топлива. Эта задача также должна быть возложена на управляющее устройство.

С этими и другими задачами сталкивается конструктор при построении авторулевого, от которого в определенной мере зависит удовлетворение противоречивых требований к техническим показателям корабля. В настоящее время авторулевой представляет собой достаточно сложное устройство, интегрирующее различные навигационные приборы, управляющую и исполнительную части.

Решением задачи создания эффективного авторулевого занимаются специалисты многих стран мира. Наибольшие успехи в этой отрасли достигнуты в таких странах, как Россия, США, Швеция, Германия, Канада [3-8]. Характерной чертой авторулевых последних разработок является модульно-магистральный принцип построения и способность его адаптации к условиям эксплуатации. Современный взгляд на решение описываемого круга задач подробно отражается в работе [9].

Проведенный анализ состояния разработок и публикаций на эту тему [3-11] свидетельствует о том, что в настоящее время наметилась тенденция к повышению уровня "интеллектуальности" авторулевого. Известные публикации в области интеллектуальных систем ориентированы на задачи управления космическими летательными аппаратами, диагно-

стики [10], моделирования процессов в чрезвычайных ситуациях [11]. Представление же об интеллектуальности управляющей системы авторулевого в концептуальном плане отсутствует. При этом, в частности, не вполне ясным является вопрос, какими характеристиками должен обладать авторулевой, чтобы быть отнесенным к интеллектуальным устройствам управления. Обсуждению этого и близких к этому вопросов посвящена эта статья.

**Предпосылки создания интеллектуальных авторулевых.** Очевидно, что появление авторулевых устройств обязано, прежде всего, развитию теории автоматического управления. Поскольку по сути дела авторулевой – это автоматический прибор, устраняющий курсовую ошибку следования судна с помощью рулевого привода, обеспечивая тем самым удержание судна на заданном курсе без участия рулевого матроса.

Современные авторулевые используют широкий арсенал средств автоматического управления для реализации различных задач управления курсом судна. Авторулевой может быть реализован традиционными принципами построения как неследящий или следящий или же по адаптивным принципам управления.

При неследящем управлении руль переключается на правый или левый борт для выполнения криволинейного движения судна, в нейтральном положении руля судно выполняет прямолинейное движение. Для этого режима характерны максимальные и частые переключки руля, что приводит к преждевременному износу рулевого привода, и, как следствие, к низкой точности управления. Данный режим может быть применен на циркуляции, при отработки маневра судна по курсу.

Следящий режим используется в задачах управления траекторией судна, удержания судна на предварительно установленном курсе. В этом режиме управления руль переключается до тех пор, пока курс судна не совпадет с заданным. Режиму свойственна более высокая точность управления судном по курсу, меньшая частота переключки руля, и, следовательно, более высокая надежность эксплуатации авторулевого. В качестве недостатка следует отметить необходимость настройки авторулевого под условия хода.

В последнее время в авторулевых широко используются технологии адаптивного управления [9], обеспечивающие оптимальный режим движения судна при изменении условий его движения. Адаптивные авторулевые являются широко распространенным коммерческим продуктом. Общая архитектура таких систем известна и включает пульт управления с органами настройки, контроля и управления, управляющее устройство с устройством адаптации и исполнительный механизм с рулем. Управляющее устройство представляет собой некоторый вычислитель, формирующий сигнал управления, определяющийся координатами движения судна. Как отмечается в [9] и подтверждается опытом и анализом эксплуатации адаптивных авторулевых, настройка коэффициентов авторулевого или частичное изменение его структуры с помощью корректирующих устройств возможны только на отдельных режимах его работы и не являются в полной мере адекватными фактическим изменениям характеристик судна и внешних воздействий.

Наряду с применением достижений теории автоматического управления в авторулевых широко применяется и современная элементная база с привлечением цифровых вычислительных систем. Цифровые системы управления заслужено находят применение в авторулевых, что позволяет сочетать возможности новой элементной базы и эффективные алгоритмы управления. Применение цифровых аппаратных средств, к которым следует относить спецвычислители, процессоры, позволяет повысить качественные показатели управления. Это, прежде всего, точность удержания судна на курсе в различных условиях плавания, уменьшение величины и числа переключок руля, что дает заметное сокращение пути; кроме того, позволяет обеспечить более высокую надежность авторулевого, а также облегчить работу обслуживающего персонала. Таким образом, следующим немаловажным фактором, привлекающим конструкторов к разработке более совершенных авторулевых, является развитие средств аппаратной поддержки.

Особенностью применения современных систем управления является использование в них результатов теории обучения и систем поддержки принятия решений [10-12].



Таким образом, ставится задача построения авторулевого, который обеспечивал бы меньшие риски при эксплуатации корабля путем обеспечения такого управления, которое соответствует наилучшим условиям хода.

В статье рассматривается одно из направлений создания такого авторулевого, ориентированное на повышение его интеллектуальности. Принципы построения его существенно опираются на составляющие, рассмотренные здесь, а сочетание представлено на рис. 1. В задаче создания интеллектуального авторулевого эти составляющие равноценны, поэтому и размещены в один ряд. Использование какой-либо одной составляющей, по нашему мнению, не приводит к созданию интеллектуального авторулевого, что и показывается в данной статье.

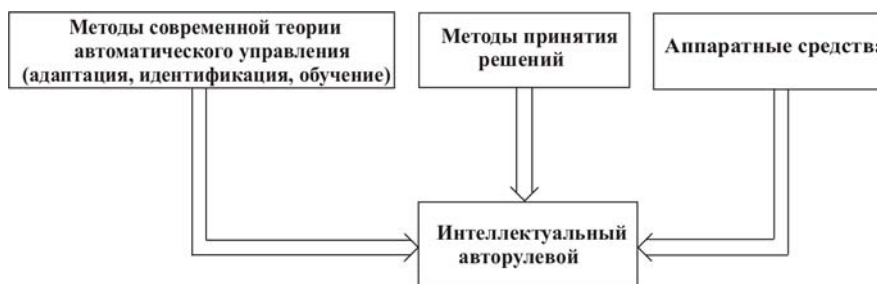


Рис.1. Составляющие интеллектуального авторулевого

Вполне вероятно, что архитектура интеллектуального авторулевого может существенно измениться, в частности – наполниться новыми элементами, характерными для интеллектуальных систем. Как и для случая известных интеллектуальных систем, предполагается, что по качеству решения задач управления интеллектуальный авторулевой приблизится к решениям, принимаемым человеком-оператором, а по скорости принятия адекватных решений существенно превзойдет реакцию человека (особенно в непредсказуемых и непредвиденных ситуациях).

**Принципы организации интеллектуальных авторулевых.** Рассмотренные предпосылки позволяют сформулировать ряд основополагающих принципов, которые должны быть применены при реализации интеллектуального авторулевого.

*Принцип адекватности.* При построении авторулевого должны быть использованы модели, которые описывают его функционирование адекватно реальным условиям эксплуатации. Под этим следует понимать как соответствие исходных данных реальным условиям эксплуатации, так и полное соответствие структуры управляющего устройства знанию об управляемом процессе. Соответствие предполагает использование априорной информации о допустимых границах изменения исходных данных в условиях конкретных задач. Под исходными данными следует понимать данные о входных воздействиях и возмущениях, параметры управляющего устройства. Управляемый процесс должен быть наиболее полно представлен допустимой математической моделью, управляющее устройство реализует поставленную цель управления.

*Принцип идеального результата.* Авторулевой должен добиваться наилучшего результата в любых условиях функционирования, т.е. быть оптимальным. Этот результат определяется выдвинутым критерием в задаче управления. Под критерием управления следует понимать количественные характеристики пути, минимально возможных ошибок, минимальный расход топлива на отработку задания и т.п. Основная роль в применении этого принципа управления отводится управляющему устройству. В современных авторулевых задача оптимизации решается с помощью компьютеров или же специализированных ЭВМ в контуре управления. Измерительная система управляющего устройства должна удовлетворять выдвинутым требованиям к авторулевому. Идеальный результат должен обеспечиваться как в условиях преднамеренных, так и непреднамеренных помех.

*Принцип иерархичности.* Иерархичность предполагает совершенствование функционирования по мере накопления необходимых знаний об условиях хода и объекта управления. При иерархическом (многоуровневом) построении авторулевого результаты,

полученные на более низком уровне системы, позволяет использовать верхними уровнями для совершенствования функционирования нижнего уровня без перестройки конструкции авторулевого. Кроме того, иерархичность позволяет ограничиться таким уровнем управления, который определяется характером решаемых задач. Очевидно, что наличие иерархической структуры предполагает и учет фундаментального принципа, сформулированного в свое время Саридисом [14] для интеллектуальных машин. Этот принцип гласит, что по мере продвижения к высшим уровням иерархической структуры повышается интеллектуальность системы, но снижается ее точность.

*Принцип универсальности.* Данный принцип предполагает возможность технологического наращивания системы, применения ее на аппаратах произвольного назначения. Структура системы управления должна гибко изменяться в зависимости от поставленных задач. Авторулевой должен быть универсален не только по задачам, но и по конструкции, иметь возможность эксплуатации в любых климатических условиях и механических нагрузках.

Реализация данного принципа достигается введением модульно-магистрального построения авторулевого, использованием соответствующей элементной базы и программного обеспечения.

*Принцип обучения.* Реализация данного принципа в авторулевом позволит ему достичь наилучших результатов в условиях длительной эксплуатации при фиксировании данных внешней среды, параметров системы, путем многократных воздействий на систему управления ходом судна. Обучение будет эффективным при интеграции разных методов теории управления.

Интеграция методов адаптации и идентификации, рассмотренных в [13], дает представление о возможных путях их взаимодействия, которое может быть организовано не только последовательно, но и параллельно во времени. Иначе говоря, эти методы могут "сосуществовать" одновременно. Этот процесс иллюстрируется на рис. 2. Алгоритм идентификации, как более быстрый, но и более грубый, находящийся на верхнем по отношению к алгоритму адаптации уровне иерархии, отыскивает лучшие первоначальные оценки вектора параметров  $c_i$ , а алгоритм адаптации, как более точный обеспечивает более "тонкое" движение вектора  $c_i$  вблизи оптимального  $c^*$  (своеобразная "доводка"), что и будет результатом действия алгоритма обучения.

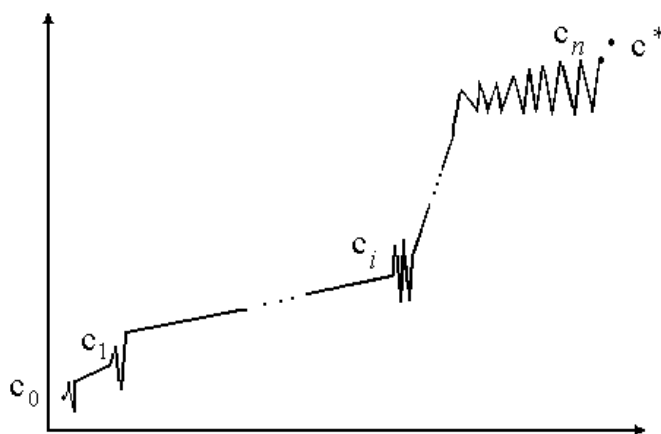


Рис. 2. Принцип обучения неизвестных параметров

Несмотря на работу алгоритма адаптации, результаты высшего по уровню иерархии алгоритма идентификации позволяют ему срывать предыдущую работу алгоритма адаптации и задавать новые оценки, которые будут лучше, чем те, что были получены алгоритмом адаптации. Разумеется, что при каждом таком "срыве" теряется определенный путь, пройденный вектором  $c_i$  в правильном направлении к желаемому  $c^*$ . Однако, такую потерю вполне можно допустить, поскольку алгоритм идентификации, осуществляя гру-

бую оценку неизвестного  $c$ , все-таки позволяет достаточно быстро приблизиться к окрестности точки  $c^*$ . Последнее обновление начальных условий алгоритма адаптации как раз и произойдет тогда, когда начальная оценка  $c_i$  будет достаточно близкой к  $c^*$ .

*Принцип эргатичности.* Наличие сложной управляющей бортовой системы вовсе не исключает участия в ее работе человека, которому отводятся не только функции ввода задания, контроля качества протекания процесса управления, но и возможность непосредственного участия в нем. Разумное распределение функций между человеком и машиной является важным этапом синтеза системы, при этом необходимо учитывать сильные и слабые стороны человека-оператора и технических устройств. Участие человека придаст машине большие интеллектуальные возможности в процессе управления в непредвиденных ситуациях, а также более высокий уровень адаптации ее функционирования в разных режимах.

**Общая концептуальная структура адаптивного авторулевого.** Сформулируем определения, необходимые для формализации основных исследуемых понятий.

*Определение 1.* Под интеллектуальным авторулевым будем понимать управляющую систему, организованную и функционирующую в соответствии со сформулированными выше принципами.

Здесь и далее под термином интеллектуальный будем понимать способность решать задачи, возникающие в процессе эксплуатации судна, требующие формирования решений для случая неизвестных ему априори схем решений. Отличительной чертой интеллектуального авторулевого является наличие системы синтеза закона управления по заданной цели управления и средств формирования собственно цели управления на основе информации о среде и цели функционирования системы. Построение плана решения задач осуществляется на основе знаний о методах решения задач теории автоматического управления.

Интеллектуальность авторулевого предполагает возможность совместного решения ряда вопросов, связанных с планированием решения, работой с базами данных, формированием решения, его исполнением, адаптацией исполнительской части, возможностью улучшения решения за счет обучения на серии исполнительских движений и перестройкой структуры по результатам обучения (самоорганизацией) с вопросами прогноза изменения внешней обстановки, сохранением функционирования при частичной потере управляющих свойств системы, возможностью повышения интеллектуальности и совершенствованием собственного поведения (открытость системы). В управляющих системах авторулевого предполагается использование интеграции известных современных методов управления таких, как системы управления на базе нейронных сетей, настраиваемых с помощью генетических алгоритмов, системы нечеткой логики [15] и другие. Комплексное применение всех перечисленных решений, в конечном счете, позволит устранить априорную неопределенность задачи управления кораблем. Однако следует ожидать, что не все перечисленные задачи будут одинаково полно востребованы в том или ином авторулевым. Поэтому будем различать понятия интеллектуальности в "большом" и "малом".

*Определение 2.* Под интеллектуальностью авторулевого в "большом", будем понимать возможности авторулевого по удовлетворению всем выше перечисленным принципам, в пределах которых осуществляется выполнение задач планирования решений, формирование решений, адаптация и обучение исполнительской части, а также прогноз изменения внешней обстановки, обеспечение возможностей по повышению интеллектуальности и сохранение функционирования в условиях частичной потери управленческих свойств.

Общая схема организации построения интеллектуального авторулевого будет иметь вид многопроцессорной системы, которая представлена на рис. 3. Составными блоками схемы являются центральный процессор с пультом управления, система обучения, система адаптации, управляющее устройство рулевым приводом и руль как орган управления.

Человеком-оператором вводится задание в центральный процессор через пульт управления оператора. Структура отвечает принципу иерархии, где на нижнем уровне (I) размещен рулевой привод, на верхнем (V) – центральный процессор, который формирует план решения задачи, выдавая исходные данные на систему обучения, систему адаптации и рулевой привод. Непосредственное управление рулем осуществляется рулевым приводом. Управляющее устройство (уровень - II) представляет набор схем управления, выбор каждой из которых соответствует сложившейся ситуации управления.

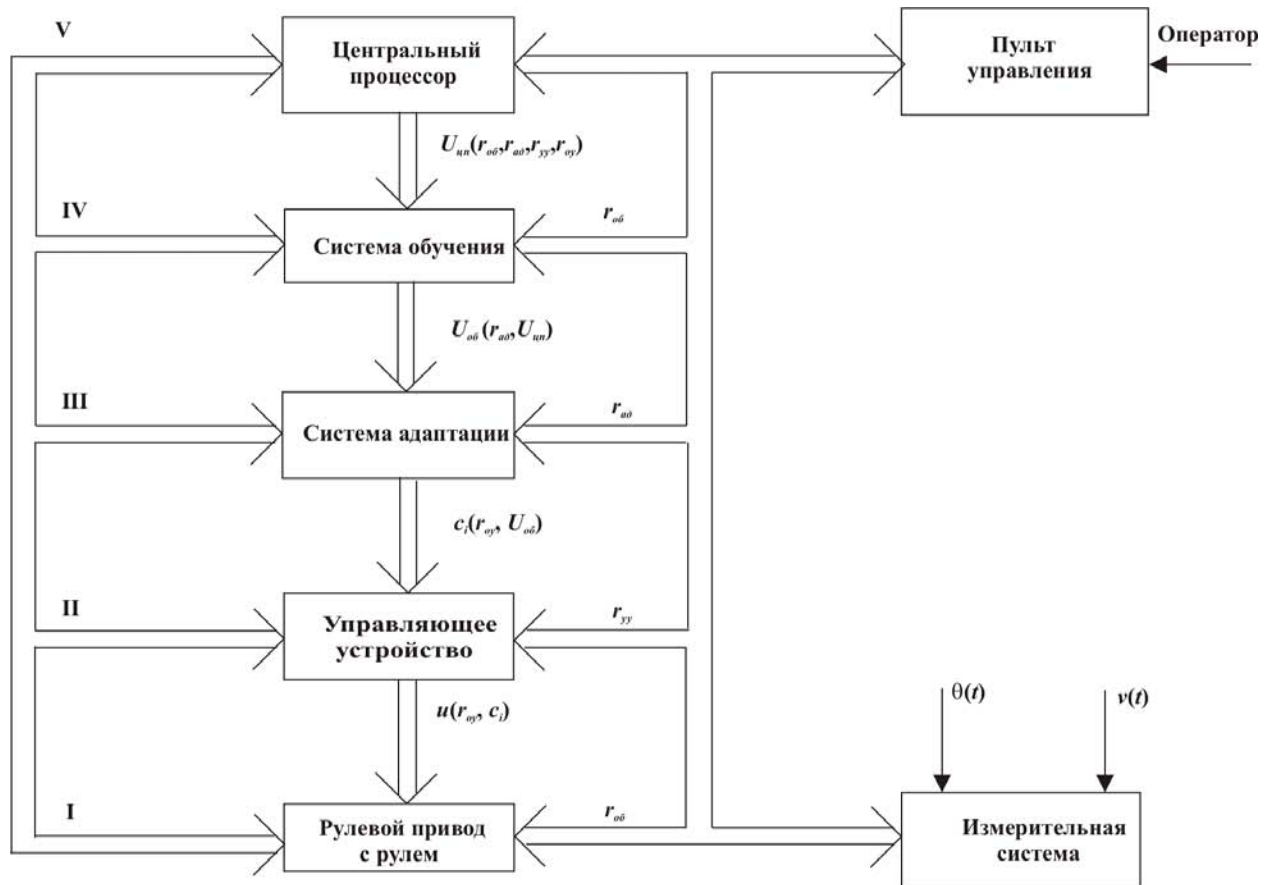


Рис. 3. Схема организации интеллектуального авторулевого

Управляющее устройство формирует сигнал управления  $u(r_{oy}, c_i)$  рулевым приводом. Для достижения заданной цели управления по информации  $r_{oy}$  устройство адаптации (уровень - III) может изменять параметры  $c_i$  управляющего устройства. Система обучения (уровень - IV) накапливает информацию об условиях эксплуатации авторулевого  $r_{oy}, r_{ад}$  и может изменять исходные данные о границах действующих возмущений  $\theta(t)$  или интервалах изменения параметров  $c_i$  управляющего устройства по данным измерений параметров внешней среды  $\theta(t)$  и внутренних шумов  $v(t)$ , проводимых измерительной системой. При изменении условий эксплуатации параметры рулевого привода, а возможно и структура управляющего устройства изменяются системой адаптации. В случаях, когда предпринятые меры не приводят к эффективному решению задачи, предполагается использование системы обучения, для которой исходные данные  $r_{oy}, r_{ад}, r_{yy}$  для возникшей ситуации принимаются как новые. Центральный процессор составляет план выполнения задачи в виде директив или команд  $U(r_{oy}, r_{yy}, r_{ад}, r_{об})$ , осуществляет контроль качества по информации, курсирующей в информационной шине, составляет отчет о качестве ее выполнения, выдает рекомендации для дальнейшего управления процессом.

Как следует из схемы организации интеллектуального авторулевого, центральным процессором производится оценка качества выполняемой задачи. Центральный процессор может вмешиваться в процесс управления для того, чтобы менять план решения задачи

для формирования управления адекватно сложившейся ситуации в условиях неопределенности используемой информации. Дополнительная магистраль, показанная на рис.3 слева, имеет смысл адресной. Таким образом, центральный процессор может быть аналогом некоторой экспертной системы, в состав которой могут быть включены механизмы правдоподобного вывода на знаниях такие, как вывод по аналогии, на основе здравого смысла и т.п.

Учитывая сложность рассматриваемой задачи, можно предположить, что перечисленные задачи могут быть выполнены и не в полном объеме (в смысле определения 2), тем не менее, авторулевой будет считаться интеллектуальным.

*Определение 3.* Под интеллектуальностью авторулевого в "малом", будем понимать частичное удовлетворение выше перечисленным принципам, однако его характеристики будут позволять преодолевать возникающую априорную неопределенность в ряде задач управления судном.

Разработанная структура авторулевого (рис.3) при реализации интеллектуальности в "малом" не предполагает существенных изменений. В этом случае будет только использовано меньшее количество возможностей аппаратных средств.

**Заключение.** Разработка интеллектуального авторулевого в настоящее время является вполне реальной задачей. Структура интеллектуального авторулевого, представленная в статье, может быть выбрана в качестве базовой, хотя ряд алгоритмов и методов управления, используемых для решения задач управления, требует определенной проработки и уточнения. Основные усилия для решения первоочередных задач по созданию интеллектуального авторулевого следует направить на разработку алгоритмов адаптации, обучения и принятия решений.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Біла книга 2008: оборонна політика України // Міністерство оборони України. – К.: Заповіт, 2009. – 100 с.
2. Ланчуковский В.И. Риск менеджмент судовой машинной команды / В.И. Ланчуковский, А.А. Бондаренко // Автоматика-2008: доклады XV міжнарод. конф. з автоматич. управління, 23-26 вересня 2008 р. – Одеса: ОНМА. – С. 74-77.
3. NaviPilot ADII. The self-turning adaptive autopilot / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sperrymarine.northropgrumman.com>
4. NaviGuide 4000. Manual Steering System / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sperrymarine.northropgrumman.com>
5. Auto pilot PR-6000 / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tokimec.co.jp/marine>
6. PilotStar D / [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.patronicsgroup.com/files/Autopilots/Raytheon/PilotStarD.pdf>
7. Navis JP3000/ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.navisincontrol.com/products/joystick-control-system.html>
8. Furuno FAP-330/ [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.unicomm.ru/Default.asp?D=1161>
9. Быков Э.Б. Новое поколение адаптивных авторулевых / Э.Б. Быков, И.И.Туркин, Л.В.Баскаков // Рациональное управление предприятием. – 2007. – №4. – С. 88-91.
10. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Теорія, синтез ефективності / В.О. Тарасов, Б.М. Герасимов, І.О. Левін, В. О. Корнійчук. – К.: МАКНС, 2007. – 336 с.
11. Применение методов искусственного интеллекта в управлении проектами / Н.М. Бабынин, В.Я. Жихарев, В.М. Илюшко и др. / под ред. Соколова А.Ю. – Х.: НАУ "ХАИ", 2002. – 474 с.

12. Степанов М.Ф. Интеллектуальные самоорганизующиеся системы автоматического управления – триада "теория автоматического управления – информационные технологии – искусственный интеллект" / Степанов М.Ф. // Информационные технологии. – 2001. - №11. – С.24-29.

13. Кучеров Д.П. Интеграция информационных технологий при обучении принятию решений в задачах терминального управления / Д.П. Кучеров, В.И. Скурихин, Л.С. Житецкий // Управляющие системы и машины. – 2003. – № 5. – С.30 – 41.

14. Saridis G.N. Analytical formulation of the principle of increasing precision with decreasing intelligence for intelligent machines / Saridis G.N. // Automatica. – 1989. – №3. – P.

15. Митрахович М.М. Интеграция методов при синтезе сложных систем в условиях априорной неопределенности / Митрахович М.М. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон: Херсон НТУ, 2008. – № 2 (22). – С. 46-53.

УДК 681.3:007.52

## АНАЛИЗ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ В ЗОНЕ НИЖНЕДНЕПРОВСКИХ ПЕСКОВ – САМОЙ БОЛЬШОЙ ПУСТЫНИ В ЕВРОПЕ

Ляшенко Е.Н.

**Введение.** Наибольшее число лесных пожаров происходит в регионах с высокой плотностью населения и развитой дорожной сетью. Одним из таких регионов Украины является Херсонская область, на территории которой расположена самая большая пустыня в Европе – Нижнеднепровские пески (НП).

Нижнеднепровские пески - это ландшафтно-обособленная территория вдоль левого берега Днепра, простирающаяся на 150 км от Каховки до Черного моря. Площадь НП превышает 200 тыс. га.

В настоящее время границы НП удерживаются самыми большими в мире искусственными лесами, площадь которых составляет 165,6 тыс. га. Это насаждения преимущественно сосны крымской и сосны обыкновенной.

**Климатические условия в зоне НП.** Климат в зоне НП засушливый. Количество осадков составляет в среднем всего 361 мм в год. Относительная влажность воздуха может понижаться до 12-20% во все месяцы теплого сезона года, но особенно часто весной, во вторую половину лета и даже в сентябре и октябре. При низкой относительной влажности воздуха и высокой температуре в период вегетации наблюдаются почти ежегодно, а иногда два-три года подряд засухи, нередко весьма длительные.

В последние годы в Херсонской области произошло заметное увеличение периода с высокими температурами воздуха (более + 30°C), длительным отсутствием атмосферных осадков (свыше 1,5 месяцев) и шквалистыми ветрами (более 10 м/с), что привело к увеличению количества лесных пожаров.

**Динамика числа лесных пожаров в зоне НП.** Площади земель, подвергшихся лесным пожарам, до 2002 года в зоне НП были сравнительно небольшими. Однако погодные условия лета 2007 г. (высокая температура воздуха, более + 40°C; отсутствие атмосферных осадков (свыше 2 месяцев); относительная влажности воздуха – 14%) привели к увеличению площади, пройденной пожарами, до 8749 га, в том числе верховыми – до 2602 га. Динамика числа лесных пожаров в зоне НП приведена на рис.1.



Рис. 1. Динамика числа лесных пожаров в зоне НП

Сумма косвенного ущерба, нанесенного лесными пожарами в августе 2007 г. составила 84,6 млн. грн, прямого ущерба – 2,4 млн. грн.

К прямому ущербу относятся выраженные в стоимостной форме затраты, потери и убытки, обусловленные именно лесным пожаром в данное время и в данном конкретном месте, а к косвенному - потери и убытки, обусловленные вторичными эффектами (например, стоимость очистки леса от сгоревшей древесины, восстановление лесонасаждений на сгоревшей площади).

Таким образом, дефицит атмосферной и почвенной влаги в зоне НП, высокая температура воздуха и почвы предопределяют чрезвычайную интенсивность нарастания пожарной опасности (ПО) в лесах.

**Анализ существующих методов оценки пожарной опасности в лесах.** Исследования по определению пожарной опасности в лесах ведутся во всем мире. Так в США применяется метод определения пожарной опасности на основе комплексных метеорологических показателей. Такие показатели учитывают не только погодные, но и иные факторы: антропогенные источники огня (работа механизмов в лесу, наличие крупных населенных пунктов и др.), характер и состояние растительности, рельеф и т.д.

Для территории России оценка пожарной опасности лесных насаждений с применением комплексных критериев была предложена Н.В. Овсянниковым [3], использующим пятибалльную шкалу пожарной опасности, рассчитанную на основе многоуровневого определения пожарной опасности по степени посещения людьми лесных насаждений, по скорости возможной ликвидации, по среднему количеству осадков за сезон и т.д.

В Австралии проводятся обстоятельные исследования влияния состояния атмосферы на развитие пожаров, ведутся поиски методики предсказания степени опасности пожарных сезонов и отдельных периодов, проводится исследование влияния климата на лесные пожары [5].

В Германии проводятся исследования по разработке методики определения пожарной опасности по условиям погоды. Кроме того, проводится оценка изменения количества лесных пожаров на основе моделей изменения климата [6,7].

Необходимо заметить, что в пределах небольшого района в границах одного фенологического периода все основные факторы (породный состав растительности, полнота насаждения и т.д.) кроме погодных, можно условно считать постоянными, то есть изменение пожарной опасности территории связывать только с погодными факторами. Именно этот принцип положен в основу методики Н.П. Курбатского [1,2] для построения местных (пояранных) шкал пожарной опасности по условиям погоды. Шкалы строятся путем установления эмпирической зависимости числа пожаров в районе от величины лесопожарного показателя засухи.

«Блестящих» результатов удалось достигнуть при определении пожарной опасности в лесах Приенисейского левобережья П.А. Цветкову [3], использующему трехкомпонентный способ оценки. Для определения пожарной опасности участка лесонасаждения необ-

ходима лесорастительная характеристика участка лесонасаждения – в качестве первой компоненты, местная шкала пожарной опасности – в качестве второй и лесопожарная схема – третьей. К основным достоинствам этого метода можно отнести простоту в использовании, особенно при привлечении геоинформационных технологий.

**Цель статьи.** Целью настоящей статьи является описание метода, который позволяет выполнить оценку пожарной опасности сосновых насаждений с учетом метеорологических факторов (температуры воздуха, температуры точки росы, количества осадков).

**Описание метода оценки пожарной опасности сосновых насаждений в зоне НП.** Термин «пожарная опасность» был введен В. Г. Нестеровым в 1968 г. для определения угрозы возникновения лесного пожара [4].

Решающее значение на пожарную опасность в лесах оказывают погодные условия. В основном влияние условий погоды связывают со следующими факторами:

1) с метеорологическими величинами, такими как: скорость ветра, температура и влажность воздуха, интенсивность солнечной радиации, осадки, а также их совокупность в различном сочетании;

2) с уровнем засухи, представляющим баланс факторов увлажнения и высыхания, который вычисляется с начала пожароопасного периода и предопределяет пожарную зрелость участков растительности;

3) с грозами, которые являются природными источниками возгорания леса.

Количественным отражением угрозы возникновения лесного пожара является комплексный показатель пожароопасности по метеорологическим условиям, который также был разработан В.Г. Нестеровым [4].

Показатель Нестерова (КПН) отражает баланс иссушающих и увлажняющих факторов соотношением:

$$КПН = \sum_1^n (T - T_d) * T_d, \quad (1)$$

где  $T$  - температура воздуха;  $T_d$  - точка росы, то есть температура, при которой водяной пар, находящийся в воздухе, становится насыщенным;  $n$  - число дней, прошедших после дождя, включая последний день выпадения осадков.

За факт выпадения осадков принимаются любые значения, начиная с 3 мм за 24 ч, осадки меньше 3 мм не учитываются.

Комплексный показатель постоянно повышается до первого дождя в количестве 3,0 мм, после которого комплексный показатель вычисляется сначала.

Указанный показатель пожарной опасности может изменяться от одного до нескольких тысяч градусов, а в периоды устойчивой сухой и жаркой погоды превышать 10000. Для характеристики степени пожарной опасности весь диапазон значений делится на пять интервалов - классов.

Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды для Херсонской области представлена в таблице 1.

Таблица 1

Шкала пожарной опасности в лесу по условиям погоды для Херсонской области

Период пожароопасного сезона	КПН				
	Классы				
	I	II	III	IV	V
весенне-летний (с 1 марта по 9 июня)	150	700	2000	10000	>1000 0
летний (с 10 июня по 31 августа)	550	2000	5500	10000	>1000 0
летне-осенний (с 1 сентября по 30 ноября)	200	800	1400	10000	>1000 0



I класс характеризуется отсутствием пожарной опасности в лесу; II класс - малой ПО; III класс – средней ПО; IV класс – высокой ПО; V класс – чрезвычайной ПО.

Данные для расчета класса пожарной опасности содержатся в журнале пожарной опасности по условиям погоды и представлены в таблице 2.

Таблица 2

Данные для расчета класса пожарной опасности

Дата	Кол-во осадков	Т воздуха	Т точ. росы	Разница	КПН	Класс ПО
10.06.2008	осадков не было	28	7,8	20,2	565,6	I
11.06.2008	осадков не было	28	6,7	21,3	1162	II
12.06.2008	осадков не было	28	7,9	20,1	1724,8	II
13.06.2008	осадков не было	28	5,8	22,2	2346,4	III
14.06.2008	осадков не было	29	8,9	20,1	2929,3	III
15.06.2008	осадков не было	29	6,9	22,1	3570,2	III
16.06.2008	осадков не было	30	5,2	24,8	4314,2	III
17.06.2008	осадков не было	31	5,7	25,3	5098,5	III
18.06.2008	осадков не было	31	6,3	24,7	5864,2	IV
...	...	...	...	...	...	...

Полученные за расчетный период фактические значения КПН для Херсонской области переведены в классы ПО.

На рисунке 2 представлена оценка ПО в лесах Херсонской области за наиболее пожароопасный период с 10 июня 2008 г. по 31 августа 2008 г.

Оценка ПО в лесах Херсонской области

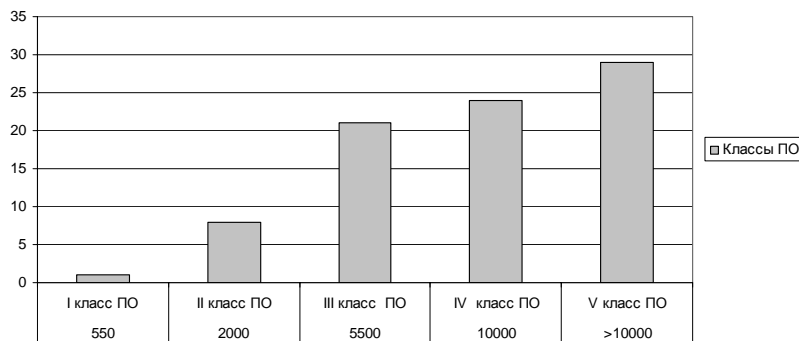


Рис. 2. Оценка ПО в лесах Херсонской области

Из рис.2. следует, что в период летнего пожароопасного сезона в лесах Херсонской области преобладают III, IV и V классы ПО.

График нарастания комплексного показателя пожарной опасности за период с 10 июня 2008 г. по 31 августа 2008 г. приведен на рисунке 3.

Из графика (рис.3) следует, что до 28.06.2008 в Херсонской области наблюдалось интенсивное нарастание пожарной опасности (КПН=15009,2). Однако, после выпадения небольшого дождя (3,3 мм) 29.06.2008 комплексный показатель пожарной опасности составил 1040,4. В последующие дни, несмотря на колебания температуры воздуха, а также точки росы, величина этого показателя непрерывно росла 11914,2. Далее осадки интенсивностью 3,2 мм, выпавшие 10.07.2008, снизили комплексный показатель пожарной опасности до значения – 1109,5. После чего комплексный показатель ПО снова начал увеличиваться (КПН = 16500,8), что соответствует чрезвычайной пожарной опасности в лесу.



Рис. 3. График нарастания комплексного показателя пожарной опасности

На графике видно, что такие колебания ПО наблюдались в течение всего пожаро-опасного периода.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что угроза возникновения лесных пожаров в Херсонской области чрезвычайно велика. Лишь небольшие осадки немного снижают величину комплексного показателя ПО, однако и им не удастся снизить ее до минимального значения (КПН=550).

**Вывод.** В статье предлагается описание метода, который позволяет выполнить оценку пожарной опасности сосновых насаждений с учетом метеорологических факторов (температуры воздуха, температуры точки росы, количества осадков).

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатский Н.П., Дорогов Б.И., Доррер Г.А. Прогнозирование лесных пожаров с помощью ЭВМ. Лесное хозяйство 1976, № 7, С. 51 – 55.
2. Курбатский Н.П., Доррер Г.А., Дорогов Б.И. Расчёт распределения источников пожаров в лесу. Лесное хозяйство 1978, № 7, с. 76 – 78.
3. Коровин Г.Н., Покрывайло В.Д., Солодовникова Н.И. Анализ и моделирование статистической структуры поля горимости лесов. Методические рекомендации. - Л.: ЛенНИИЛХ, 1984. - 64 с.
4. Жданко В.А., Гриценко М.В. Метод анализа лесопожарных сезонов: Практические рекомендации.- Л.:ЛНИИЛХ, 1980.
5. Fosberg, M.A., J.G. Goldammer, D. Rind, and C. Price.1990. Global change: effects on forest ecosystems and wildfire severity. In: Fire in the tropical biota. Ecosystem processes and global challenges. (J.G. Goldammer, ed.), 463-486. Ecological Studies 84, Springer-Verlag. Berlin.
6. Flannigan, M.D. and Van Wagner, C.E. 1991.Climate change and wildfire in Canada.Can. J. For. Res. 21,66-72.
7. Emanuel,W.R., Shugart,H.H. and Stevenson, M.P. 1985. Climate change and the broad-scale distribution of terrestrial ecosystem complexes. Climatic Change 7, 29-43.

## АЛГОРИТМ ПЕРЕВІРКИ ПРАВИЛЬНОСТІ ГРАНИЦЬ ЗМІНЕННЯ ЗМІННИХ У ПОСЛІДОВНИХ ПРОГРАМАХ

Львов М.С.

### Вступ

Комп'ютерні програми, у яких реалізовані розв'язання фізичних задач, мають задовольняти декільком специфічним властивостям. Наведемо деякі із них:

**1. Розмірності фізичних величин.** Оскільки обчислення в таких програмах засновані на формулах фізичних законів, відповідні змінні, крім ідентифікатора, типу та значення, мають ще одну характеристику – фізичну розмірність. Сучасні мови програмування не використовують за замовчуванням ні типізації змінних за їх фізичним змістом, ні, тим більше, фізичних розмірностей констант і змінних. Тому помилки в програмах, пов'язані з неправильним використанням фізичних розмірностей, не виявляються ні під час компіляції, ні під час виконання програми. Таким чином виникає задача перевірки правильності використання змінних за їх фізичними розмірностями. Цю задачу потрібно вирішувати методами статичного аналізу програмного коду. Користувач має специфікувати всі змінні програми фізичними розмірностями, а аналізатор має перевірити правильність цієї специфікації. Звичайно, аналіз програмного коду має спиратися на співвідношення, які визначені фізичними законами й правилами систем фізичних розмірностей. Наприклад, співвідношення *Вольт = Ампер \* Секунда* - закон Ома в системі СІ.

**2. Межі змінення фізичних величин.** Результати обчислень, здійснюваних програмою, використовуються в реальних фізичних приладах і пристроях. Тому значення змінних не можуть бути довільними - вони мають перебувати в межах, установлених параметрами приладу або пристрою. Наприклад, у кожному електричному приладі є гранично припустима споживана потужність. Якщо її перевершити, прилад згорить. Помилки в програмах, пов'язані з виходом значень змінних за межі припустимих значень, також не можуть бути виявлені ні під час компіляції, ні під час виконання програми. Цю задачу також потрібно вирішувати методами статичного аналізу програмного коду. Користувач має специфікувати всі змінні програми границями їхніх припустимих значень, а аналізатор має перевірити правильність цієї специфікації.

**3. Виконання законів збереження.** У фізиці існують фундаментальні закони – так звані закони збереження. Це, наприклад, закон збереження енергії. Можна припустити, що ці закони виражаються співвідношеннями типу рівності між деякими змінними програми. У теорії програмування такі співвідношення називають програмними інваріантами. У правильно написаних програмах інваріанти мають виконуватися у визначених контрольних точках програми незалежно від шляху обчислень і початкових значень змінних. Помилки, допущені у формулах програми, приводять до невиконання цієї умови. Як і у попередніх задачах, помилки такого роду не можуть бути виявлені ні при компіляції, ні під час виконання програми. Задача доведення інваріантності рівності, заданої користувачем у даній контрольній точці програми, вирішується методами статичного аналізу [1-3].

У даній роботі описано алгоритм розв'язання другої з цих практичних задач статичного аналізу програм - задачі перевірки правильності границь змінення змінних у послідовних програмах. Алгоритм використовує базиси Гребнера [4] й методи відділення дійсних коренів поліномів [5].

### Постановка задачі

Нехай  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  - вектор змінних програми  $P$ . Оператор присвоєння  $S$  будемо записувати у виді  $x_j := f(X)$ , де  $f$  - деякий алгебраїчний вираз.

$$S = x_j := f(X) \quad (1)$$

Послідовною програмою будемо називати послідовність операторів присвоєння

$$P = S_1; S_2; \dots; S_m.$$

Кожній змінній  $x_i$  припишемо область її визначення – числовий інтервал  $D_i = [m_i; M_i]$ ,  $m_i, M_i \in Q$ , де  $Q$  - множина раціональних чисел. Через  $D$  позначимо декартовий добуток  $D_1 \times \dots \times D_n$ . Для оператора присвоєння (1) через  $S(D)$  позначимо числову множину, визначену формулою

$$S(D) = \{a_i : a_i = f(a), a \in D\}. \quad (2)$$

Таким чином,  $S(D)$  - множина значень змінної – лівої частини оператора (1), якщо вектор - аргумент його правої частини пробігає усю множину визначення вектора змінних програми.

Насправді ми будемо розглядати оператор присвоєння як оператор, що відображає  $R^n \rightarrow R^n$ , причому зміненню піддається тільки  $i$ -та координата. Отже, можна вважати, що  $S(D) \subset R^n$ . Далі, визначимо множину  $P(D)$  формулою

$$P(D) = S_m(S_{m-1}(\dots(S_1(D))\dots)) \quad (3)$$

Тепер задачу перевірки правильності границь змінення змінних в програмі  $P$  можна визначити співвідношенням

$$P(D) \subset D. \quad (4)$$

**Зауваження 1.** Насправді ця задача очевидним чином зводиться до серії задач

$$S_i(D) \subset D, i = 1, \dots, m \quad (5)$$

Це означає, що її достатньо розв'язати для одного оператора присвоєння (1):

$$S(D) \subset D_i \quad (6)$$

**Зауваження 2.** У загальній постановці задачу треба було б розглядати для довільних програм, контролюючі діапазони змінення змінних у довільних контрольних точках. Однак, з нашої точки зору, задача у такій постановці є дуже складною і може виявитися навіть алгоритмічно нерозв'язною. Тим не менш, якщо точними методами статичного аналізу буде доведено, що будь-який оператор присвоєння  $S_i$  довільної програми задовольняє умові (5), у довільній контрольній точці програми вектор значень змінних програми буде знаходитися у заданому діапазоні.

Отже, задачу, яка розв'язується у роботі, можна сформулювати таким чином:

Нехай  $y = F(X)$  - функція  $n$  дійсних змінних  $x_j \in [m_j, M_j]$ .

Визначити, чи належить  $y$  у заданому відрізку  $[m_y, M_y]$ ?

Алгоритми, розглянуті нижче, істотно залежать від виду функції  $F(x)$ . Якщо  $F(x)$  - поліном, задачу будемо називати визначеною поліноміально. Якщо  $F(x)$  - раціональна функція, задачу будемо називати визначеною раціонально. Якщо ж формула  $F$  містить радикали, задача є радикально визначеною. Ми розглянемо спочатку поліноміально визначені задачі, потім – раціонально визначені задачі, і, нарешті – радикально визначені задачі. Ми будемо також вважати, що коефіцієнти  $f_i$  - суть раціональні числа.

#### Математичне обґрунтування алгоритму

Задачу ми будемо розв'язувати класичними методами математичного аналізу, використовуючи метод визначення найбільших і найменших значень безперервної функції  $y = f(x_1, \dots, x_n)$  на замкнутій обмеженій множині.

**1. Метод побудови системи алгебраїчних рівнянь для координат критичних точок відображення.** Позначимо через  $a = \{a_1, \dots, a_n\}$  точку  $R^n$ . Нехай у точці  $a \in D$  функція  $f(X)$  досягає найбільшого (найменшого) значення. Тоді

1. або

$$\frac{\partial f}{\partial x_j}(a) = 0, j = 1, \dots, n, \quad (7)$$

2. або точка  $a$  належить границі паралелепіпеда  $D$ .

Таким чином, алгоритм пошуку критичних та екстремальних точок функції  $f(X)$  на множині  $D$  може бути заснований на переборі всіх можливих варіантів. Кожний з варіантів визначений підмножиною координат, для яких координатні змінні приймають граничні значення  $x_j = m_j$  або  $x_j = M_j$ . Назвемо такі координати граничними. Для інших координат (назовемо їх внутрішніми) у цьому варіанті потрібно розглядати систему співвідношень (7). Відзначимо, що загальна кількість варіантів дорівнює  $3^n$ .

Будемо вважати, що в даному варіанті необхідні граничні значення змінних уже підставлені в поліном  $f$  і результат приведення до канонічного виду. Цей результат ми також будемо позначати через  $f$ . Покладемо  $\frac{\partial f}{\partial x_j} = g_j(X)$ ,  $X = (x_{i1}, \dots, x_{ik})$ . (На практиці корисно звільнити поліноми  $g_j(X)$  від квадратів.) Отже, (7) – система цілих алгебраїчних рівнянь  $g_j(X) = 0, j = 1, \dots, k$ .

**2. Метод побудови мінімального полінома для k-ої координати множини критичних точок.** Побудуємо базис Гребнера ідеалу  $(g_1, \dots, g_n)$ , елімінуючи послідовно змінні  $x_{i1}, \dots, x_{ik-1}$ . Для простоти позначень покладемо  $u_j = x_{ij}$ . Як відомо [4], базис Гребнера має «трикутний» вид. Запишемо відповідну систему рівнянь:

$$\begin{aligned} g_1(u_1, u_2, \dots, u_k) &= 0 \\ g_2(u_2, \dots, u_k) &= 0 \\ &\dots \\ g_k(u_k) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

Система рівнянь (8) рівносильна системі (7), а дійсні корені  $r_1, \dots, r_l$  рівняння  $g_k(u_k) = 0$  - суть відповідні координати критичних екстремальних точок  $f$ .

**3. Метод відділення координат критичних точок на відрізку.** Ці корені можуть бути відділені на відрізку  $[m_k; M_k]$  з наперед заданою точністю за допомогою, наприклад, алгоритму Штурма [5] (див. Рис.1)

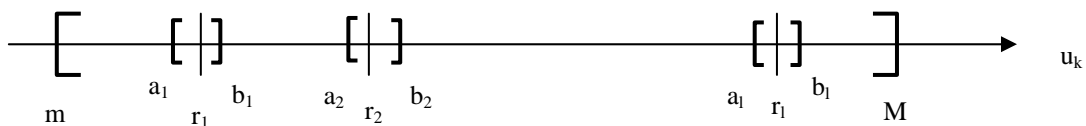


Рис 1. Відділення коренів  $g_k(u_k)$

На цьому рисунку позначені корені  $r_j$  й кінці числових відрізків  $[a_j; b_j]$ , що відокремлюють ці корені на розглянутому відрізку. (Для простоти в позначеннях опущений індекс  $k$ .) Для кожного  $\delta > 0$  можна отримати такі відрізки, що  $|b_i - a_i| < \delta$ .

Оскільки індекс  $k$  може бути обраний довільно, аналогічну процедуру можна застосувати до усіх внутрішніх координат.

**4. Метод побудови образів множин критичних точок і кандидатів у критичні точки відображення.** Розглянемо множину  $V$  точок виду  $(r_{1j_1}, \dots, r_{kj_k})$  простору  $R^k$ , кожна координата яких – дійсний корінь відповідного полінома  $g_i(u_i) = 0, i = 1, \dots, k$  на відрізках  $D_i = [m_i; M_i]$ . Ці точки – суть кандидати в критичні точки полінома  $f(X)$  проєкції паралелепіпеда  $D$  на підпростір, визначений внутрішніми координатами. Пояснимо ситуацію ілюстрацією на графіку для частинного випадку  $k = 2$ :

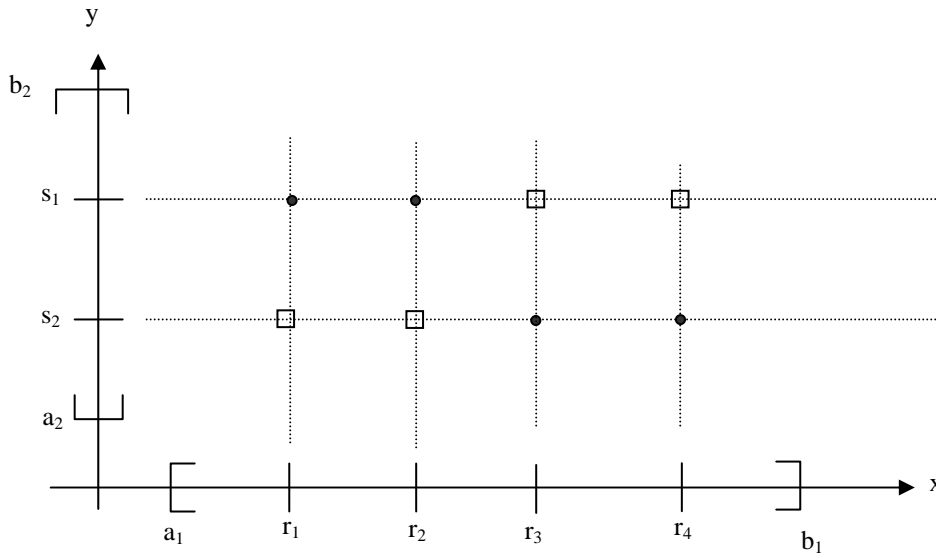


Рис. 2. Множина точок - кандидатів у критичні точки

Припустимо, що отримана трикутна система рівнянь має вигляд  $g_1(x, y) = 0, g_2(y) = 0$  причому  $\deg_x g_1 = \deg_y g_1 = \deg_y g_2 = 2$  і усі її корені дійсні. Тоді множину розв’язків системи, оскільки вона є трикутною, можна записати у вигляді  $(s_1, r_1), (s_1, r_2), (s_2, r_3), (s_2, r_4)$  (на рис.2 – чорні точки). У результаті перетворення системи до діагонального виду виключенням  $y$  одержимо систему  $g_1'(x) = 0, g_2(y) = 0$ , причому  $\deg_x g_1' = 4, \deg_y g_2 = 2$ . Тому кандидатами в критичні точки будуть усі пари  $(s_i, r_j), i = 1, 2; j = 1, 2, 3, 4$ . На рисунку ми бачимо, що серед кандидатів у критичні точки 4 точки є помилковими. На графіку вони відзначені квадратами.

Проте, оскільки всі кандидати в критичні точки належать паралелепіпеду  $D$ , задача  $S(D) \subset D_i$  еквівалентна задачам

$$\forall a \in V \quad f(a) \in D_i$$

Розглянемо систему рівнянь

$$\begin{aligned} y &= f(u_1, \dots, u_k) \\ g_1(u_1, u_2, \dots, u_k) &= 0 \\ g_2(u_2, \dots, u_k) &= 0 \\ &\dots \\ g_k(u_k) &= 0 \end{aligned} \tag{9}$$

Елімінуючи послідовно в цій системі змінні  $u_1, \dots, u_k$  методом побудови базису Гребнера, отримуємо у якості останнього поліном базису  $h(y)$ . Легко бачити, що серед коренів цього полінома – усі образи множини критичних точок  $\{f(a) : a \in V\} \subseteq \{y : h(y) = 0\}$ .

Розглянемо знову систему рівнянь (9). Оскільки ця система зведена до трикутного виду, до неї можна застосувати процедуру діагоналізації, виключаючи недіагональні змінні тим же методом базисів Гребнера. У результаті одержимо систему

$$\begin{aligned}
 y &= f(u_1, \dots, u_k) \\
 g_1'(u_1) &= 0 \\
 g_2'(u_2) &= 0 \\
 &\dots \\
 g_k'(u_k) &= 0
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

Елімінуючи послідовно в системі (10) змінні  $u_1, \dots, u_k$  методом побудови базису Гребнера (як у попередньому випадку), одержуємо як останній поліном базису поліном  $h_1(y)$ . Легко бачити, що серед коренів цього поліному – усі кандидати в критичні точки.

**5. Метод побудови відповідності «множина критичних точок – образ цієї множини».** Проблема полягає в тім, щоб співвіднести кожному елементу множини корінь  $h(y)$  числа виду  $f(a)$ . Розглянемо рис. 3, що ілюструє сказане вище.

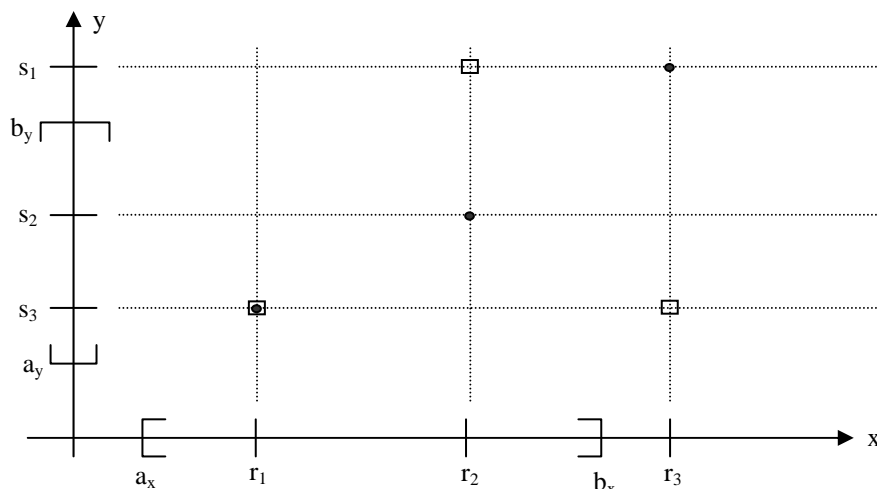


Рис. 3. Множина критичних точок та її образ

Апріорі можливі кілька варіантів реалізації співвідношення  $s_j = f(r_j), j = 1, 2, 3$ . Один із цих варіантів показаний на рис.3. чорними кружками, другий – не заштрихованими квадратами.

1-ий варіант:  $s_1 = f(r_1), s_2 = f(r_2), s_3 = f(r_3)$ .

2-ой варіант:  $s_1 = f(r_1), s_2 = f(r_3), s_3 = f(r_2)$ .

У першому варіанті з  $r_i \in [a, b] \Rightarrow s_i \in [a, b]$ . У другому варіанті ця властивість не виконується.

Нехай  $y = f(X) \in Q[X]$  і  $X', X'' \in R^n, y' = f(X'), y'' = f(X'')$ . Тоді

$$y'' - y' = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i}(\bar{X}_i)(x_i'' - x_i')
 \tag{11}$$

де  $\bar{X}_i$  - деякий набір точок з паралелепіпеда з головною діагоналлю  $X', X''$ . Звідси випливає нерівність

$$|y'' - y'| \leq \sum_{i=1}^n \left| \frac{\partial f}{\partial x_i}(\bar{X}_i) \right| |x_i'' - x_i'|
 \tag{12}$$

Значення частинних похідних можна ефективно оцінити через значення границь паралелепіпеда  $D$ , на якому ми розглядаємо задачу:

$$\left| \frac{\partial f}{\partial x_i}(\bar{X}_i) \right| \leq C_i(D)$$

Тому

$$|y'' - y'| \leq \sum_{i=1}^n C_i |x_i'' - x_i'| \quad (13)$$

Нерівність (7) ми будемо використовувати для визначення відповідності

$$s_{i_j} = f(r_{i_j}), j = 1, \dots, l \quad (14)$$

за наступним алгоритмом.

### 6. Основний алгоритм

Нехай  $U = \{s_1, \dots, s_l\}$  - множина розв'язків системи (4) і  $V = \{A_1, \dots, A_s\}$  відповідно точки множини  $V$ , визначені у п.3.

6.1. Відокремимо точки множини  $V$  паралелепіпедами  $E_j$  такими, що  $A_i \in E_j$ , а довжини ребер не перевершують даного додатного числа  $\delta$ .

6.2. Відокремимо також точки  $s_j$  множини  $U$  відрізками  $[a_j; b_j]$ , довжини яких не перевершують даного додатного числа  $\varepsilon$ .

6.3. Виберемо в паралелепіпеді  $E_j$  точку  $r_j'$  з раціональними координатами й обчислимо  $s_j' = f(r_j')$ . Використаємо нерівність (12) для точок  $r_j, r_j'$  у правій частині (12).

$$|s_{i_j} - s_j'| \leq \sum_{i=1}^n C_i |x_i'' - x_i'| \leq \delta \sum_{i=1}^n C_i \quad (15)$$

Таким чином, якщо вибрати  $\varepsilon \leq \delta \sum_{i=1}^n C_i$ , точка  $s_j' = f(r_j')$  буде відстояти від відділеного кореня  $s_{i_j}$  на відстані, меншої за  $\varepsilon$ . Проілюструємо описану ситуацію на числовій осі:

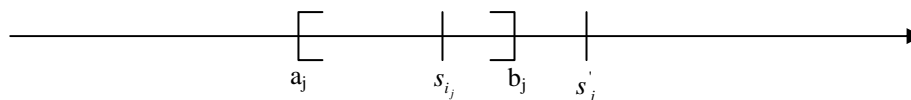


Рис. 4. Правило 3-х епсілон

Таким чином, точка  $s_j' = f(r_j')$  має належати відрізку  $[a_j - \varepsilon; b_j + \varepsilon]$ .

### Правило 3-х епсілон

Отже, якщо зафіксувати таке мале додатне число  $\varepsilon$ , що при відділенні кореня полінома  $h_1(y)$  відрізки  $[a_j - \varepsilon; b_j + \varepsilon]$  не будуть перетинатися й не будуть містити кінців відрізка  $D_y$ , корені поліномів  $g_k(u_k)$  потрібно відокремити з точністю

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\sum C_j}.$$

Тоді визначення відповідності (13) виконується за допомогою основного алгоритму, у якому  $\varepsilon, \delta$  обрані за правилом 3-х епсілон.

**6.4.** Якщо корінь полінома  $h_1(y)$  й точки множини кандидатів у критичні точки  $V$  відділені з дотриманням правила 3-х епсілон, всі точки  $s_j' = f(r_j')$  мають належати відрізку  $D_i = [m_i; M_i]$ . Тоді  $y$  належить заданому відрізку. Інакше виконується заперечення цього співвідношення.

### Раціонально визначені задачі

У цьому випадку формула функції має вид  $y = F(X)/H(X)$ ,  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$ ,  $F, H \in Q[X]$ . Якщо границі  $y$   $[m_y, M_y]$  скінченні, поліном  $H(X)$  на області  $D$  не по-



винен мати дійсних коренів. Таким чином, перший етап алгоритму має відокремити усі корені полінома  $H(X)$  таким чином, щоб границі області  $D$  не входили до відрізків, що відокремлюють корені.

Якщо відокремлюючий паралелепіпед деякого дійсного кореня знаменника  $H(X)$  входить до  $D$ , функція  $y = F(X)/H(X)$  необмежена на  $D$ . В іншому разі (другий етап) задача розв'язується цілком аналогічно до поліноміально визначеної задачі, причому у якості поліномів  $g_i(X)$  треба брати поліноми

$$\frac{\partial F}{\partial x_i} \cdot H(X) - \frac{\partial H}{\partial x_i} \cdot F(X) \quad (16)$$

### Алгебраїчно визначені задачі

Для радикально визначених задач формула функції  $y = F(X)$  містить радикали:

$F(X) = G(X, \sqrt[k]{H(X)})$ . Цей вираз можна перетворити наступним чином:

$$G(X, \sqrt[k]{H(X)}) \sim G(X, u) \& (u^k = H(X)).$$

В наших задачах для парних значень  $k$  додатково треба врахувати невід'ємність підкореного виразу. Таким чином, для задач над дійсними числами маємо

$$G(X, \sqrt[k]{H(X)}) \sim G(X, u) \& (u^k = H(X)) \& H(X) \geq 0$$

Отже, функцію  $F(X)$  на області  $D$  або на області  $D \& (H(X) \geq 0)$  визначено таким чином:

$$(y = G(X, u)) \& (u^k = H(X)) \quad (17)$$

Можна дещо узагальнити (17) вважаючи, що другий кон'юнкт має загальний вид поліноміальної рівності від змінних  $X, u$ .

$$(y = G(X, u)) \& (P(u, X) = 0) \quad (18)$$

Тоді частинні похідні функції  $y = G(X, u)$  на  $P(X, u) = 0$  обчислюються з формул

$$(\partial F / \partial x_j = \partial G / \partial x_j + \partial G / \partial u \cdot \partial u / \partial x_j) \& (\partial P / \partial x_j + \partial P / \partial u \cdot \partial u / \partial x_j = 0) \quad (19)$$

Отже,

$$(\partial G / \partial x_j + \partial G / \partial u \cdot \partial u / \partial x_j = 0) \& (\partial P / \partial x_j + \partial P / \partial u \cdot \partial u / \partial x_j = 0) \quad (20)$$

З системи рівнянь (20) можна виключити змінну  $u$ , побудувавши скорочений базис Гребнера. В результаті отримаємо рівняння  $g_j(X) = 0$ , яке грає роль рівняння (7) в алгоритмі розв'язання нашої задачі.

### Висновки

Основний алгоритм, принципи побудови якого описані вище, є досить неефективним. От основні причини неефективності:

1. Перелічення варіантів, що полягає у розгляді всіх  $k$ -граней  $n$ -вимірного паралелепіпеду, на якому шукаються найбільші й найменші значення. Як було відзначено у п.1, загальна кількість варіантів дорівнює  $3^n$ . Проблема полягає у тому, щоб яким-небудь чином зменшити число цих варіантів.

2. У кожному варіанті будується множина точок – кандидатів у критичні точки. Насправді потрібно знайти тільки дві точки – точку найбільшого максимуму й точку найменшого мінімуму. Для цього досить перебрати множину всіх критичних точок, тобто множину розв'язків системи (9). Однак безпосередньо відокремити точки цієї множини важко. Для цього потрібно було б навчитися відокремлювати корінь по координаті  $x$  рівняння виду  $g(x_1, \dots, x_k, x) = 0$  за умови, що вже відокремлено корені  $x_1, \dots, x_k$ . Однак аналог методу Штурма для такої постановки задачі нам невідомий. Тому доводиться будувати набагато більшу множину точок, що перебираються – кандидатів у критичні точки.

3. Ще один шлях – поліпшення оцінки (15) залежності  $\varepsilon$  від  $\delta$ : у нерівності  $\varepsilon \leq C\delta$  константу  $C$  потрібно вибрати якомога малою. Тоді зменшиться кількість кроків в алгоритмі відокремлення коренів.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. M.S. Lvov. Invariant equalities of small degrees in programs, defined above field // *Cybernetics*. - 1988. - №1. - P. 108 - 110.
2. A.Letichevsky, M.Lvov. Discovery of invariant Equalities in Programs over Data fields. *Applicable Algebra in Engineering, Communication and Computing*. – 1993. – №4. – pp. 21-29.
3. M.Lvov. About one algorithm of program polynomial invariants generation. M. GIESE, T. JEBELEAN (Eds). *Proc. Workshop on Invariant Generation, WING 2007*. Technical report no. 07-07 in RISC Report Series, University of Linz, Austria. 06 2007. Workshop Proceedings. pp.85-99 (electronic).
4. Б.Бухбергер. Базисы Гребнера. Алгоритмический метод в теории полиномиальных идеалов. В кн.. Компьютерная алгебра. Символьные и алгебраические вычисления: пер. с англ./Под ред. Б.Бухбергера, Дж.Коллинза, Р.Лооса.-М.:Мир, 1986.-392 с., ил. сс. 331-383.
5. Дж.Коллинз, Р.Лоос. Вещественные нули полиномов. В кн.. Компьютерная алгебра. Символьные и алгебраические вычисления: пер. с англ./Под ред. Б.Бухбергера, Дж.Коллинза, Р.Лооса.-М.:Мир, 1986.-392 с., ил. сс. 112-126.

УДК 621.372:538.56

## ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМАХ С УЧЕТОМ ПСИХОФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПЕРАТОРА НА ОСНОВЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Еременко А.П., Передерий В.И.

### Постановка задачи

Человек-оператор в составе автоматизированной системы является чрезвычайно ответственным звеном, способным обеспечить безопасность функционирования системы и принятие решений в условиях неопределенности. Участие человека-оператора в работе таких систем как атомные станции, сложные промышленные производства, остается обязательным, несмотря на значительные достижения в области автоматике и вычислительной техники.

Вместе с тем, оператор является, как правило, наименее надежным элементом подобных систем, в частности, по данным [1], значительная часть аварий происходит вследствие ошибок человека-оператора.

При проектировании автоматизированных систем разработчики, в основном, определяют параметры и структуру системы таким образом, чтобы обеспечить оптимальные значения производительности и надежности [1], но в меньшей мере учитывают состояние оператора, который постоянно находится под воздействием различных физических и психофизиологических факторов [2]. Неучет влияния таких факторов при проектировании целевых систем, в условиях неопределенности, может привести как к ухудшению эффективных характеристик системы так и нерелевантности принимаемых оператором решений. К таким факторам относятся агрессивные условия окружающей среды, утомление, операционный стресс, недостаточная степень операционной напряженности, ведущая к потере бдительности и т. д. [1] В целом эти факторы можно разделить на внешние (обу-

словленные непосредственным воздействием окружающей среды на оператора) и внутренние (обусловленные его психофизиологическим состоянием) [2]. Вследствие этого, оператор как элемент автоматизированной системы, является сложным нестационарным динамическим звеном с нечетко определенными параметрами и внутренними обратными связями.

### Цель работы

При проектировании целевых автоматизированных систем в условиях неопределенности с учетом перечисленных факторов, актуальной задачей является разработка как подсистем контроля и коррекции характеристик состояния оператора, так и определения эффективных характеристик системы в целом.

Целью данной работы является разработка алгоритма принятия решений по оптимизации психофункционального состояния оператора в условиях неопределенности, на базе генетических алгоритмов.

### Изложение основного материала

Задача принятия решения может быть сведена к задаче выбора такой последовательности воздействий на оператора и значений параметров этих воздействий, а также процессов изменения параметров автоматизированной системы, чтобы на заданном интервале времени релевантность действий оператора была максимальной. Эти задачи относятся к классу многомерных оптимизационных задач в условиях неопределенности, поскольку параметры состояния оператора в конкретной системе не могут быть измерены полностью вследствие ряда ограничений [3].

Особенностью задачи принятия решения является большое количество возможных вариантов решения (большая размерность задачи), сложная нелинейная зависимость релевантности действий пользователя от параметров его состояния и от параметров оказываемых на пользователя воздействий. Вследствие этого применение традиционных методов оптимизации становится невозможным и целесообразно применение генетических алгоритмов поиска оптимальных решений. Такие алгоритмы имеют следующие важные особенности: [4, 5]

- высокое быстродействие;
- использование специальной системы кодирования альтернатив;
- синтез альтернатив путем комбинирования существующих
- использование случайных функций для синтеза начального набора альтернатив.

Процесс воздействия на оператора с целью коррекции его состояния целесообразно представить в виде последовательности частных алгоритмов воздействий, информация о последствиях применения которых представлена в специальной базе знаний частных алгоритмов. Такими частными алгоритмами могут быть изменение цветовой гаммы мониторов [6], формирование звуковых воздействий, использование вибрации и т. д. [1]

Предположим, что частный алгоритм характеризуется вектором параметров

$$V = [v_1, v_2, \dots, v_n]^T. \quad (1)$$

Любой алгоритм может быть применен несколько раз с различными или одинаковыми значениями параметров. Поэтому кодирование алгоритма целесообразно осуществить путем составления матрицы параметров алгоритма  $V$  и матрицы моментов времени  $T$ , имеющих следующий вид:

$$V_i = \begin{bmatrix} v_{11} & v_{12} & \dots & v_{1k} \\ v_{21} & v_{22} & \dots & v_{2k} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ v_{n1} & v_{n2} & \dots & v_{nk} \end{bmatrix}, T_i = \begin{bmatrix} t_{H1} & t_{H2} & \dots & t_{Hk} \\ t_{K1} & t_{K2} & \dots & t_{Kk} \end{bmatrix}, \quad (2)$$

где  $v_{xy}$  представляет собой значение  $x$ -го параметра при  $y$ -м использовании  $i$ -го частного алгоритма  $t_{Hm}$ ,  $t_{Km}$  – начало и окончание выполнения  $i$ -го алгоритма.

При построении общего алгоритма будем использовать следующие допущения:

1) Алгоритмы не комбинируются, то есть в некоторый момент времени на оператора системы может оказываться определенное воздействие в соответствии с некоторым частным алгоритмом либо не оказываться никакого воздействия, то есть применяется алгоритм с условным обозначением  $\emptyset$ , однако не допускается одновременное исполнение нескольких частных алгоритмов. Это означает, что для любого  $j > i: t_{ki} \leq t_{kj}$ .

2) Максимальная длительность воздействия должна быть указана при описании частного алгоритма как  $T_{i\max}$ , где  $i$  – номер алгоритма. При выборе частного алгоритма необходимо учитывать, что максимальная длительность его применения ограничена.

3) Процесс реализации алгоритма приводит к изменению параметров состояния оператора автоматизированной системы или параметров внешней среды. Описание частного алгоритма должно содержать график или таблицу значений параметров, на которые оказывает влияние этот алгоритм.

К настоящему времени накоплен большой объем данных о способах изменения состояния человека-оператора. Эти данные получены экспериментальным путем и представлены в виде таблиц или графиков [1]. Для их формализации в базе знаний частных алгоритмов целесообразно представлять последствия применения частного алгоритма в виде матрицы

$$A_i = \begin{bmatrix} T_i \\ \Pi_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

где

$T_i = [t_{i1} \ t_{i2} \ \dots \ t_{im}]$  – вектор моментов времени, в которых производятся измерения параметров состояния оператора и значений внешних факторов в процессе реализации данного частного алгоритма;

$$\Pi_i = \begin{bmatrix} \Pi_{11} & \Pi_{12} & \dots & \Pi_{1m} \\ \Pi_{21} & \Pi_{22} & \dots & \Pi_{2m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \Pi_{l1} & \Pi_{l2} & \dots & \Pi_{lm} \end{bmatrix}, \quad (4)$$

где элемент  $\Pi_{qr}$  равен значению параметра с индексом  $q$ , измеренному в момент времени  $t_r$ .

Поскольку среди рассмотренных выше параметров состояния оператора присутствуют нечисловые величины, как предложено в работе [2], значения элементов  $\Pi_{qr}$  представляют собой в общем случае нечеткие множества

$$\Pi_{qr} = \left[ \langle H_{qr1}, \mu_{qr1} \rangle \ \langle H_{qr2}, \mu_{qr2} \rangle \ \dots \ \langle H_{qr1}, \mu_{qr1} \rangle \right]. \quad (5)$$

При использовании данного частного алгоритма в составе пробного варианта ОА возможна неполная реализация алгоритма, то есть время его выполнения  $t_{Ai} < t_{im}$ .

Формирование пробного решения на некотором интервале времени производится путем составления цепочки

$$A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_n, \quad (6)$$

причем в составе этой цепи в качестве любого алгоритма  $A_i$  может использоваться любой алгоритм из имеющихся в базе знаний частных алгоритмов, в том числе и алгоритм  $\emptyset$ .

При формировании пробного решения необходимо задать прогнозную длительность его реализации  $T_p$ . Весь период реализации пробного решения разбивается на  $m$

участков, для каждого из которых задается длительность  $T_i$ . Таким образом,

$$\sum_{i=1}^m T_i = T_p. \quad (7)$$

Величины  $m$  и  $T_i$  определяются в соответствии с принципом построения генетически алгоритмов случайным образом.

Далее для каждого участка времени случайным образом выбирается алгоритм из базы знаний, при этом необходимо учитывать, что длительность реализации алгоритма, записанная в базе знаний может не соответствовать длительности участка, на котором предполагается реализовать этот алгоритм. В таком случае возможно два варианта.

1) Если  $T_i > T_{im}$ , то такой алгоритм считается не реализуемым для данного участка и необходимо выбрать другой частный алгоритм.

2) Если  $T_i < T_{im}$ , то такой алгоритм считается полностью выполненным на момент  $t_{im}$  и далее начинает выполняться алгоритм  $\emptyset$ . Таким образом, данный участок разбивается на два и в дальнейшем расчет релевантности ведется для каждого участка в отдельности. Такой подход является более эффективным поскольку позволяет ввести в состав общего алгоритма паузы в воздействии на оператора и повысить длительность функционирования системы на достаточном уровне релевантности.

Если для некоторого участка выбран алгоритм, длительность реализации которого  $t_{im} > t_i$  возможны два варианта построения общего алгоритма:

1) Ограничить выполнение данного частного алгоритма моментом времени  $t_i$  и считать, что после окончания этого интервала будет выполняться другой алгоритм.

2) Считать, что использование выбранного частного алгоритма в пределах данного интервала невозможно и необходимо выбрать другой алгоритм.

В дальнейшем будем рассматривать первый вариант, поскольку он позволяет расширить состав множества пробных решений.

Выполняя рассмотренные выше шаги циклически можно получить пробный вариант общего алгоритма.

#### **Модель последствий реализации частного алгоритма.**

Рассмотрим формализацию процессов изменения состояния оператора (а также внешней среды, если база знаний частных алгоритмов содержит такие элементы) под влиянием воздействия, осуществляемого в частном алгоритме. Характеристики алгоритма в базе знаний представлены в виде результатов измерения параметров состояния в некоторые моменты времени.

Если состояние оператора к началу выполнения частного алгоритма не отличается от состояния, наблюдаемого перед применением частного алгоритма, и не измеряемые внешние факторы, действующие на него, имеют такие же значения, которые были при проведении эксперимента, то параметры состояния в процессе реализации частного алгоритма будут полностью соответствовать значениям матрицы  $\Pi_i$ . Однако, в действительности параметры состояния оператора в начале реализации алгоритма могут не соответствовать первому столбцу этой матрицы.

Для того, чтобы учесть эту особенность, необходимо в процессе ее функционирования производить измерения параметров состояния оператора и с учетом измеренных значений принимать решение по выбору воздействий на него.

Предположим, что при измерении нечисловых параметров состояния пользователя используются такие же порядковые шкалы, которые приняты в модели связи параметров состояния и внешних факторов [2] и использованы при построении базы знаний частных алгоритмов. При выборе алгоритма в качестве элемента пробного решения целесообразно учитывать степень близости значений параметров текущего состояния пользователя и

значениям параметров состояния, измеренных при проведении эксперимента с данным частным алгоритмом при построении базы знаний.

Для обозначения возможности измерения тех или иных параметров состояния пользователя и внешних факторов введем сквозную нумерацию этих величин.

Пусть множество измеряемых в процессе функционирования алгоритма величин имеет вид

$$S_M = \{F_1; F_2; F_3; \dots\}. \quad (8)$$

Возможность измерения некоторого параметра состояния целесообразно отображать в виде вектора измерений  $MV_i$ , соответствующего алгоритму  $A_i$ . Элементы такого вектора равны 1, если параметр состояния с соответствующим индексом измеряется при проведении экспериментов с алгоритмом  $A_i$  и равны 0 в противном случае:

$$MV_i = \begin{bmatrix} MV_{i1} \\ MV_{i2} \\ \dots \\ MV_{iN} \end{bmatrix}, MV_{ij} \in [0,1]. \quad (9)$$

Сравнение текущего состояния оператора и состояния, измеренного в процессе проведения эксперимента возможно только для тех переменным, о значениях которых имеется информация. Будем обозначать вектор возможности измерения величин в процессе функционирования системы  $MV_0$ .

Последствия применения алгоритма будем учитывать в виде изменения параметров состояния пользователя, для которых имеется информация в базе знаний частных алгоритмов. При этом будем учитывать, что между начальным состоянием оператора и содержащимся в базе знаний частных алгоритмов имеются отличия.

Целесообразно использовать следующий способ расчета изменения параметров состояния пользователя под действием частного алгоритма для двух вариантов:

1) без учета степени несоответствия между элементом базы знаний и текущим состоянием.

Если текущее состояние оператора  $S_0$  и оно имеет значения параметров  $H_0$ , то после реализации алгоритма в следующей расчетной точке состояние будет равно сумме текущего состояния и разности следующей точки из базы знаний и текущей точки.

Пусть текущие значения (на момент времени  $t_1$ ) измеряемых параметров состояния определяются вектором

$$\Pi_C = \begin{bmatrix} \Pi_1 \\ \Pi_2 \\ \dots \\ \Pi_N \end{bmatrix}, \quad (10)$$

где  $N$  – количество измеряемых переменных состояния (а также внешних факторов, если они используются в базе знаний частных алгоритмов). Каждый элемент этого вектора представляет собой нечеткое множество

$$\Pi_{qr}(t_1) = \begin{bmatrix} \langle H_{qr1}, \mu_{qr1}(t_1) \rangle \\ \langle H_{qr2}, \mu_{qr2}(t_1) \rangle \\ \dots \\ \langle H_{qrz}, \mu_{qrz}(t_1) \rangle \end{bmatrix}. \quad (11)$$

Предполагается, что момент времени  $t_1$  совпадает с точкой  $t_i$  матрицы параметров алгоритма  $A_i$ .

Таким образом, функции принадлежности точек порядковых шкал целесообразно определять по формулам:

$$\Pi_{qr}(t_2) = \begin{bmatrix} \langle H_{qr1}, \mu_{qr1}(t_1) + \mu_{qr1} - \mu_{q(r+1)1} \rangle \\ \langle H_{qr2}, \mu_{qr2}(t_1) + \mu_{qr2} - \mu_{q(r+1)2} \rangle \\ \dots \\ \langle H_{qrz}, \mu_{qrz}(t_1) + \mu_{qrz} - \mu_{q(r+1)z} \rangle \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где  $\mu_{qr2}$  – значение функции принадлежности из базы знаний, соответствующее текущему моменту времени,  $\mu_{q(r+1)2}$  – значение функции принадлежности из базы знаний, соответствующее следующему моменту времени.

2) С учетом степени несоответствия между элементом базы знаний и текущим состоянием пользователя.

В этом случае необходимо использовать правило нечеткого логического вывода [7] при определении последствий воздействия алгоритма на состояние пользователя. Такое правило позволяет уменьшать прогнозную степень изменения параметров состояния оператора вследствие реализации алгоритма, если они отличаются от наблюдаемых при проведении эксперимента, на основе которого составляется база знаний частных алгоритмов.

Целесообразно использовать упрощенную модификацию нечеткого логического вывода и ввести в формулу рассмотренного выше метода весовой коэффициент, пропорциональный расстоянию между нечетким множеством, описывающим текущее состояние и нечетким множеством, входящим в состав базы знаний частных алгоритмов. В этом случае

$$\Pi_{qr}(t_2) = \begin{bmatrix} \langle H_{qr1}, \mu_{qr1}(t_1) + d_r(\mu_{qr1} - \mu_{q(r+1)1}) \rangle \\ \langle H_{qr2}, \mu_{qr2}(t_1) + d_r(\mu_{qr2} - \mu_{q(r+1)2}) \rangle \\ \dots \\ \langle H_{qrz}, \mu_{qrz}(t_1) + d_r(\mu_{qrz} - \mu_{q(r+1)z}) \rangle \end{bmatrix}, \quad (13)$$

где  $d_r$  – весовой коэффициент. Для определения этого коэффициента целесообразно использовать формулу расстояния Хемминга [8, 9]:

$$d_r = \frac{1}{M} \sum_{q=1}^M \frac{1}{N_q} \sum_{j=1}^{N_q} |\mu_{qrj}(t_1) - \mu_{qrj}^H(t_1)|, \quad (14)$$

где  $\mu_{qrj}^H(t_1)$  – измеренное значение функции принадлежности,  $N_q$  – мощность множества  $\Pi_{qr}$ ,  $M$  – количество измеряемых параметров.

При расчете значений функций принадлежности по формулам (12) и (13) необходимо учитывать, что они должны находиться в интервале [0; 1]. Поэтому формулы (12) и (13) должны быть дополнены выражениями

$$\mu_i^K = \begin{cases} \mu_i, \mu_i \in [0; 1], \\ 0, \mu_i < 0, \\ 1, \mu_i > 1, \end{cases} \quad (15)$$

где  $\mu_i$  – расчетное значение функции принадлежности,  $\mu_i^K$  – скорректированное значение функции принадлежности.

#### Модель кодирования пробного решения.

Выбранный способ кодирования должен обеспечивать хранение информации о использованных номерах алгоритмов, а также о моментах времени, в которые использовался тот или иной алгоритм.

Будем считать, что каждый частный алгоритм уникальный номер, начиная от 0 (этот номер соответствует нулевому алгоритму  $\emptyset$ ). Целесообразно использование следующих способов кодирования.

1) Моменты времени окончания интервалов построения пробного решения фиксированы. В соответствии с этим способом перед построением пробного решения генерируется последовательность длин интервалов и, соответственно определяются точки начала и окончания этих интервалов. В дальнейшем эти значения не изменяются, а рассматриваемые пробные решения будут отличаться только порядком использования частных алгоритмов (закреплением их за отдельными участками). В этом случае все частные алгоритмы необходимо пронумеровать в двоичной системе счисления с фиксированной разрядной сеткой (формула для выбора разрядности по количеству частных алгоритмов). Хромосома пробного решения представляет собой двоичную строку, состоящую из номеров алгоритмов использованных на соответствующих интервалах [4].

2) Моменты времени окончания интервалов построения пробного решения не являются фиксированными. В данном случае пробное решение помимо последовательности номеров алгоритмов с повторениями характеризуется последовательностью возрастающих чисел  $t_1, t_2, \dots, t_N$ , каждое из которых является временем окончания выполнения частного алгоритма. При этом предполагается, что не существует интервалов, на которых не выполняется какой-либо алгоритм. Для построения способа кодирования пробного решения предположим, что любой момент времени  $t_1, t_2, \dots, t_N$  может быть представлен в виде  $k\Delta t$ , где  $k = 1, 2, \dots, K$ ;  $\Delta t$  – минимальный интервал времени, используемый при планировании выполнения пробного решения. Таким образом, время начала и окончания действия частного алгоритма является квантованным, что позволяет использовать кодирование пробного значения в виде двоичной последовательности.

Особенностью второго варианта является использование строк переменной длины, поскольку количество участков неодинаково для различных пробных решений.

Пусть интервал реализации пробного решения разбит на  $N$  участков. Соответственно, такое решение состоит из  $N$  частных алгоритмов. Пусть общее количество частных алгоритмов, имеющихся в базе знаний  $N_0$ . Тогда для кодирования номера алгоритма необходима двоичная последовательность длиной

$$L_a = \text{int}(\log_2 N_0) + 1, \quad (16)$$

где  $\text{int}(\ )$  – операция выделения целой части числа.

Учитывая дискретность определения моментов времени, разобьем интервал прогнозирования на элементарные отрезки длительностью  $\Delta t$ . Тогда применение частного алгоритма на некотором интервале обозначается двоичной строкой

$$s_T = s_1, s_2, \quad (17)$$

где  $s_1$  – двоичная строка, обозначающая момент времени начала применения алгоритма,  $s_2$  – двоичная строка, обозначающая момент времени окончания применения алгоритма. Длины обеих строк фиксированы и определяются отношением интервала прогнозирования к длительности элементарного отрезка времени. Каждая строка представляет собой момент времени, выраженный в количествах элементарных отрезков  $\Delta t$ ; для осуществления такого преобразования необходимо разделить значение момента времени  $t_i$  в секундах на длительность  $\Delta t$  и округлить результат до ближайшего целого.

Целесообразно рассматривать отдельно строки, кодирующие моменты времени начала (или длительности) этапов реализации частных алгоритмов (такое кодирование является однозначным, поскольку отсутствие воздействия на пользователя отображается ре-



лизацией алгоритма  $\emptyset$ ) и строки кодирующие номера реализуемых алгоритмов на данном этапе.

Таким образом, пробное решение представляется в виде двух строк

$$s = s_A, s_T. \quad (18)$$

Отличием используемых в данной задаче генетических алгоритмов от их традиционного варианта является одновременное изменение в процессе поиска оптимального решения двух двоичных строк. Каждое пробное решение должно быть проверено на реализуемость (присутствие в нем номеров алгоритмов, имеющих в базе знаний, возможность разбиения интервала прогнозирования на выбранные участки и т. д.) прежде чем оно вводится в состав популяции.

#### **Алгоритм принятия оптимальных решений**

На основе предложенной системы кодирования и алгоритма генерирования пробного решения может быть построен генетический алгоритм поиска оптимального решения. Целесообразно использовать алгоритм в следующем виде.

Шаг 1. Задание параметров генетического алгоритма: объем популяции, коэффициенты селекции, мутации и т. д. [4]

Шаг 2. Формируется популяция пробных решений. Для этого циклически производится генерирование пробных решений. Интервал реализации решения разбивается на отдельные участки случайным образом. Для каждого участка из базы знаний выбирается произвольный частный алгоритм. Полученная последовательность проверяется на реализуемость и при положительном результате вводится в состав популяции.

Шаг 3. Для каждого пробного решения рассчитываются значения параметров состояния оператора по формулам (13)-(15). В соответствии с формулами, предложенными в работе [2] рассчитывается релевантность действий пользователя при данных значениях параметров его психофизиологического состояния. В дальнейшем эта величина используется как целевая функция при поиске оптимального решения.

Шаг 4. Производится пропорциональная селекция пробных решений по алгоритму, предложенному в [5] на основе расчетного значения релевантности действий оператора.

Шаг 5. Для выбранных на этапе селекции пробных решений производится скрещивание (кроссовер) [5]. Для этого в двоичных строках, кодирующих пробные решения (17)-(18) выбирается точка разрыва и оставшиеся части строки переставляются. Таким образом, формируется новый вариант пробного решения.

Шаг 6. Производится варьирование двоичных строк (мутация) [5].

Шаг 7. Повторяются шаги 3-6 для перехода к следующим поколениям генетической оптимизации.

В процессе реализации такого алгоритма контролируется его сходимость и максимальное расчетное значение релевантности действий оператора. Оптимальное пробное решение принимается для реализации, в процессе которой производится измерение параметров состояния и при поступлении новой информации повторно выполняется поиск оптимального решения. Таким образом, обеспечивается обратная связь по состоянию оператора и его коррекция, что позволяет повысить безопасность и производительность функционирования автоматизированной системы.

Если в процессе поиска не удастся получить решение с минимально допустимым уровнем релевантности, это означает, что оператор не может выполнять свои функции, и вероятен отказ автоматизированной системы, для предотвращения которого систему целесообразно перевести в автоматический режим работы без участия оператора. Поскольку значения релевантности прогнозируются на интервале  $T_p$ , отказ оператора будет заблаговременно предсказан, что позволит предупредить выход из строя автоматизированной системы в целом.

**Выводы**

В работе предложены алгоритмы формирования оптимальных решений по изменению состояния оператора как элемента автоматизированной системы. Особенностью предлагаемого подхода является формирование воздействия в виде последовательности выполнения частных алгоритмов, выбираемых из базы знаний. Для формирования решения используется генетические алгоритмы оптимизации, целевой функцией которых является релевантность действий оператора системы. Предложенные способы кодирования решений и алгоритмы поиска их оптимальных вариантов могут быть использованы при проектировании автоматизированных систем и реализованы в алгоритмическом и программном обеспечении системы, что позволит повысить их устойчивость к воздействию как внешних так и внутренних факторов, обусловленных психофизиологическим состоянием оператора.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. — М.: Машиностроение, 1982. — 368 с.
2. Передерий В.И., Еременко А.П. Математические модели и алгоритмы определения релевантности принимаемых решений с учетом психофункциональных характеристик пользователей при управлении автоматизированными динамическими системами // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. — 2007, №2. — С. 34-40.
3. Черноморов Г.А. Теория принятия решений: Учебное пособие / Юж.-Рос. гос. техн. ун-т. Новочеркасск: Ред. журн. «Изв. вузов. Электромеханика», 2002. — 276 с.
4. Емельянов В.В., Курейчик В.В., Курейчик В.М. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. — 432 с.
5. Передерий В.И., Еременко А.П. Математические модели и алгоритмы принятия релевантных решений пользователями автоматизированных систем с учетом личностных и внешних факторов на базе генетических алгоритмов // Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы. — 2008, №2. — С. 28-37.
6. Цвет — от средства воздействия к способу управления / К.И. Кузьмина, Т.М. Семик, Е.С. Карпинка // Проблемы программирования. — 2002. — N 1-2 [спец. вып.]. — С. 454-459.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / Под ред. Д.А. Пospelова. — М.: Наука, 1986. — 312 с.
8. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. — М.: Радио и связь, 1989. — 432 с.
9. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTech. СПб.: БХВ-Петербург, 2003. — 736 с.

СТРУКТУРА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ  
ЗБИРАЛЬНОЮ КАМПАНІЄЮ

Семякова С.М.

Управління збиральною кампанією є складним і трудомістким процесом, бо для прийняття ефективних рішень необхідно аналізувати значний обсяг інформації про властивості та характеристики технічних засобів, задіяних у збиральній кампанії, і середовище їх функціонування. Зазначимо, що традиційні методи організації збиральної кампанії та різні логістичні підходи, що розвиваються, дозволяють частково вирішити цю проблему, бо не можуть враховувати динаміку умов збирання врожаю [1, 2, 3, 4], а існуючі інформаційні системи [5] в основному є облікового характеру й не призначені для підтримки прийняття рішень по управлінню збиральною кампанією. Тому, ефективно управління такими системно-складними процесами як збиральна кампанія можливо забезпечити шляхом використання сучасних інформаційних технологій. Внаслідок того, що технологічний процес збиральної кампанії володіє такими властивостями складної системи, як відсутність математичного опису, стохастичність поведінки, "нетерпимість" до керування, нестаціонарність, невідтворюваність експериментів, то для управління цим процесом більш раціонально застосовувати методи штучного інтелекту в рамках інтелектуальної системи управління збиральною кампанією.

Тому, актуальне є розроблення моделей і алгоритмів *інтелектуальної системи управління збиральною кампанією (ІСУЗК)*, які б забезпечували підтримку прийняття рішень з планування та оперативного управління збиральною кампанією при найбільш повному врахуванні неоднозначного впливу умов експлуатації технічних засобів і можливостей сучасних товаровиробників.

**Метою статті** є розроблення структурної схеми ІСУЗК і функціональних моделей її основних підсистем, які забезпечували б підтримку прийняття ефективних рішень по управлінню збиральною кампанією в сучасних умовах сільськогосподарських підприємств.

**Основні результати дослідження.**

*Об'єктом управління ІСУЗК* є поля з врожаєм зернових культур та технологічні підрозділи сільськогосподарського підприємства, а саме підрозділи збиральної техніки, транспортної техніки, післязбиральної обробки зерна, а також, у випадку залучення техніки сторонніх організацій, підрозділи орендованої збиральної та транспортної техніки.

Ефективне управління об'єктом управління повинне забезпечуватися розв'язанням *задач управління збиральною кампанією*, до яких було віднесено задачу планування, задачу контролю та задачу оперативного управління. Сформулюємо ці задачі.

*Задача планування:* розробити план роботи для усіх технологічних підрозділів технологічного процесу збиральної кампанії і графіки роботи для кожного технічного засобу, які забезпечували б проведення збиральної кампанії з мінімальними витратами при умові обмежених часових, технічних і матеріальних ресурсах.

*Задача контролю:* проведення обліку фактичних показників роботи технологічних підрозділів і технічних засобів, визначення рівня відхилення між запланованими та фактичними показниками роботи, а також контроль за тим, щоб отриманні фактичні показники відповідали погодним і технологічним умовам проведення робіт.

*Задача оперативного управління:* здійснювати з мінімальними витратами перепланування збиральної кампанії з метою усунення відхилень між запланованими та фактичними показниками роботи технологічних підрозділів об'єкта управління.

На основі аналізу функціональних особливостей проведення збиральної кампанії та характеристик об'єкту управління була сформована структура ІСУЗК (рис. 1). До структу-

ри ІСУЗК входить Інтерфейс ОНР (блок 1), База даних, База знань і Розв'язувач задач, який складається з підсистеми планування (блок 2), підсистеми контролю (блок 3) та підсистеми оперативного управління (блок 4). ІСУЗК передбачає особу, що приймає рішення (ОНР), у функції якої входить прийняття рішень по управлінню збиральною кампанією та її матеріально-технічному забезпеченню, які виконує, як правило, керівник сільськогосподарського підприємства або його уповноважений. Функцію зв'язку ОНР з системою забезпечує Інтерфейс ОНР.

Функціонування системи починається з формування портфелю заказів, який ОНР вводить у базу даних системи як початкові дані. Портфель заказів представляє собою завдання на збирання врожаю з полів – інформацію о характеристиках полів с зерном  $\bar{Z}$ . Формування рішень по заданому портфелю заказів проводиться на основі даних про технічне забезпечення збиральної кампанії  $\bar{D}$ .

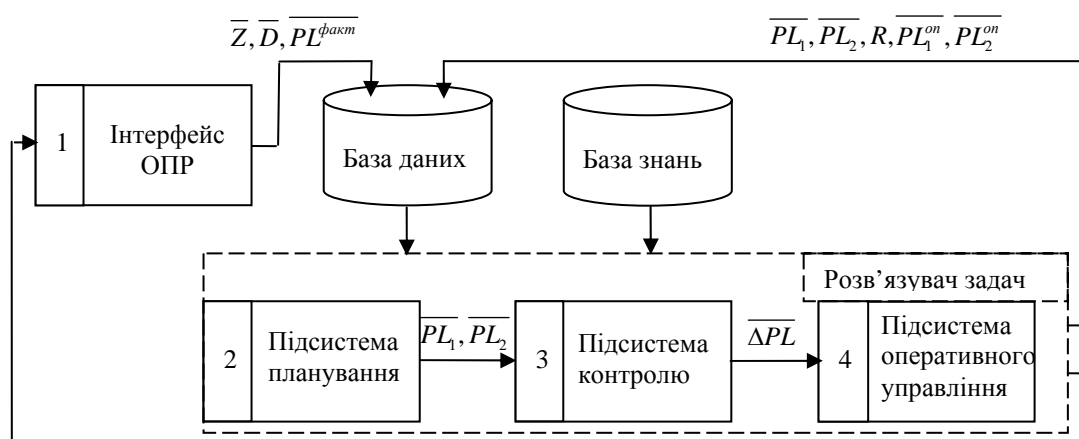


Рис. 1. Загальна структура ІСУЗК

ІСУЗК формує рішення на двох рівнях управління: *верхньому* та *нижньому*. На верхньому рівні визначаються планові завдання для кожного технологічного підрозділу на період збиральної кампанії, а нижній рівень забезпечує виконання цих завдань шляхом ефективного розподілу техніки по технологічним ділянкам і складання графіків роботи для кожного технічного засобу.

На основі початкових даних в підсистемі планування формується календарний плану збиральної кампанії -  $\overline{PL}_1$  (верхній рівень управління), в який входять планові завдання для усіх підрозділів об'єкту управління. Через Інтерфейс ОНР календарний план потрапляє до ОНР. Після узгодження плану з ОНР у підсистемі планування формуються графіки роботи для збиральних і транспортних засобів  $\overline{PL}_2$  (нижній рівень управління). В результаті отриманий план і графіки роботи можуть використовуватися на об'єкті управління при організації збиральної кампанії.

Фактичні результати проведення збиральної кампанії  $\overline{PL}^{fakt}$  у кінці кожного дня вводяться ОНР в Базу даних та поступають у підсистему контролю. Разом з результатами роботи техніки вводиться інформація про погодні умови проведення робіт і інформація про несправності технічних засобів (тривалість усунення несправності), якщо вони мали місце. У блоці 3 визначається відхилення фактичних показників від запланованих  $\Delta\overline{PL} = (\Delta\overline{PL}_1, \Delta\overline{PL}_2)$ . Спочатку знаходиться відхилення для кожного збирального та транспортного засобу  $\Delta\overline{PL}_2$  (нижній рівень), на основі чого перевіряється відповідність значення  $\Delta\overline{PL}_2$  ситуації, що до нього привела, а потім визначається відхилення «план-факт» для кожного підрозділу  $\Delta\overline{PL}_1$  (верхній рівень). Тобто, підсистема планування спо-

чатку робить розрахунки на верхньому рівні управління, а потім на нижньому, а підсистема контролю функціонує навпаки. Підсистема контролю формує рекомендації  $R$ , які дають можливість ОПР визначити причину існуючого відхилення  $\overline{\Delta PL}$ .

Якщо  $\overline{\Delta PL_1}$  перевищує задану ступінь неузгодженості «план-факт», тоді активізується підсистема оперативного управління, де синтезуються нові плани збиральних робіт  $PL_1^{on}$ ,  $PL_2^{on}$ . Нові плани та рекомендації поступають до Баз даних і до ОПР, яка, за необхідності, може приймати рішення про зміну плану роботи об'єкта управління.

Задана загальна структура ІСУЗК у приведеному вигляді дозволяє вирішити поставлені задачі управління збиральною кампанією з урахуванням конкретних технологічних і погодних умов проведення робіт. Також ІСУЗК відноситься до типу гібридних інтелектуальних систем, так як розрахунки нею ґрунтуються на використанні методів штучного інтелекту, а саме генетичних алгоритмів, штучних нейронних мереж і нечітких множин.

Розглянемо функціональні моделі основних підсистем ІСУЗК.

Для розв'язання задачі планування збиральної кампанії в межах підсистеми планування необхідно розв'язати наступні задачі:

1. Визначити необхідну кількість збиральних засобів, як власних так і орендованих, та розподілити їх по полям в обмежений строк з метою мінімізації витрат на збирання врожаю.

2. Визначити необхідну кількість транспортної техніки для своєчасного перевезення зерна з полів і провести закріплення кожного транспортного засобу за збиральним або за групою збиральних засобів в кожну зміну збирання так, щоб мінімізувати час простою збиральної і транспортної техніки.

3. Визначити кількість розвантажувальних механізмів на пункті післязбиральної обробки зерна (ППО) з метою зменшення часу очікування в черзі транспортними засобами операції розвантажування.

4. Спрогнозувати витрати на технічне забезпечення збиральної кампанії, в яке входять витрати на паливо та змащуючі матеріали для збиральних та транспортних засобів, витрати на оренду техніки та витрати від втрат зерна від самоосипання та порчі.

5. Провести узгодження роботи задіяної техніки у часі, і на основі чого сформувати графіки роботи для кожної технічної одиниці на весь період збиральної кампанії.

Для розв'язання приведених вище задач призначена підсистема планування, функціональна схема якої приведена на рис. 2. Підсистема планування, як складова частина блоку Розв'язувач задач ІСУЗК, функціонує при безпосередній взаємодії з Basis даних, Basis знань і ОПР.

Підсистема планування функціонує на основі початкових даних, що вводяться користувачем у Базу даних системи. У першу чергу, у блоці 1 підсистеми планування проводиться ідентифікація асоціативних зв'язків, параметрів динамічної моделі технологічного процесу збиральної кампанії (ТПЗК), а також станів і дій моделі системи. На основі рівнянь динамічної моделі ТПЗК у блоці 2 визначаються показники роботи технічних засобів, а саме площа кожного поля, яку обробляє за зміну комбайн; витрати на паливо для кожного комбайну; тривалість руху транспортного засобу по маршрутному шляху з вантажем та без нього та ін. Початкова інформація про характеристики полів, збиральної техніки та асоціативні зв'язки ТПЗК дають можливість на основі генетичного алгоритму розподілу збиральної техніки по полям у блоці 3 сформувати варіанти розподілу техніки на весь період збиральної кампанії. Також у блоці 3 для кожного варіанту розподілу збиральної техніки проводиться закріплення транспортних засобів за збиральними на основі методів теорії масового обслуговування. У блоці 4 проводиться розрахунок кількості розвантажувальних механізмів на ППО для кожного варіанту

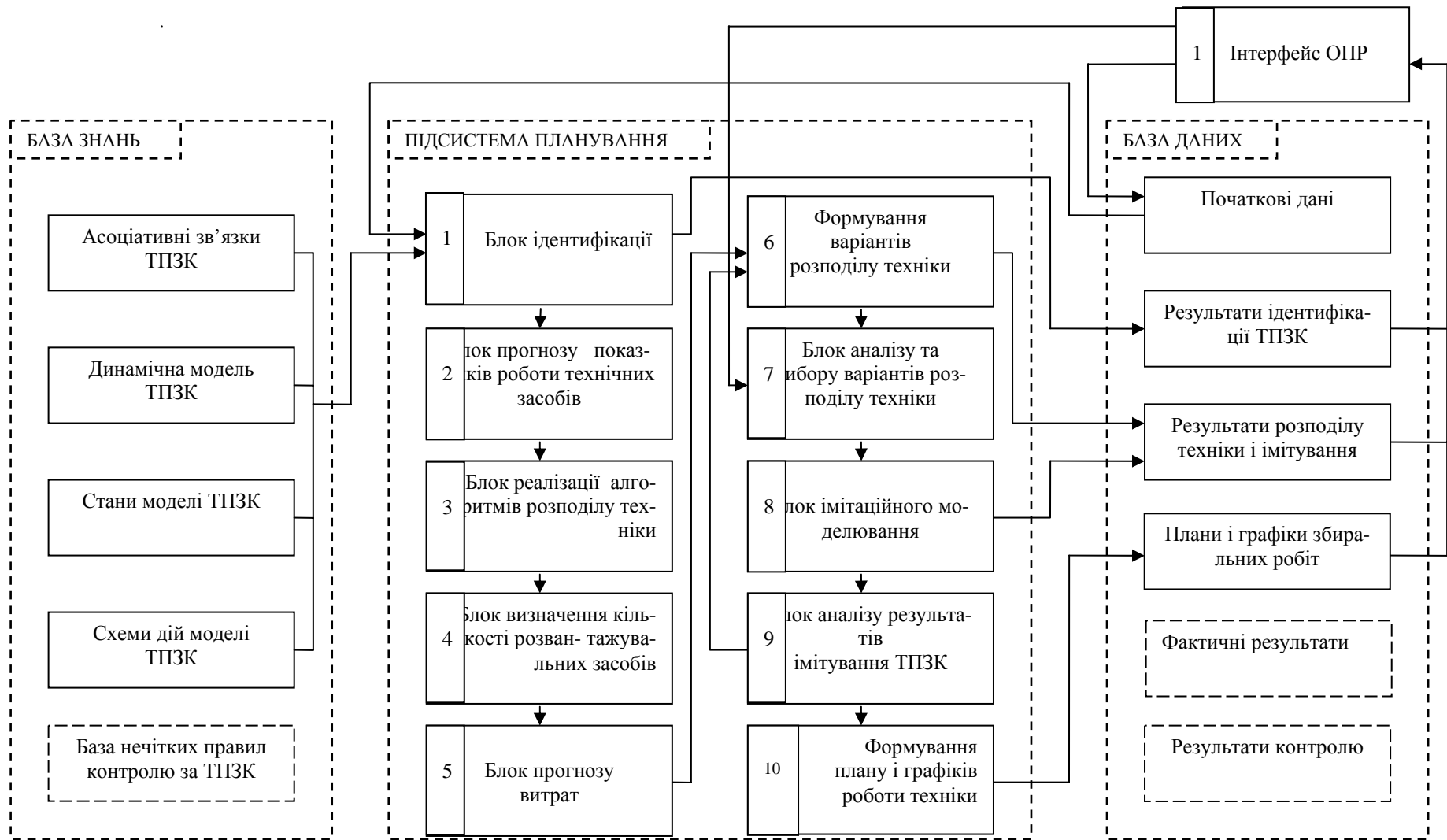


Рис. 2. Функціональна схема підсистеми планування ІСУЗК

розподілу техніки. Витрати на експлуатацію технічних засобів з урахуванням витрат на оренду техніки прогнозуються у блоці 5. У блоці 6 формуються варіанти розподілу техніки з інформацією про витрати на технічне забезпечення робіт, які потрапляють у Базу даних системи. З варіантами розподілу техніки може ознайомитися ОПР і вибрати більш ефективні варіанти (блок 7). Обрані варіанти (або варіант) розподілу техніки у блоці 8 імітаційне моделюються, що дає можливість узгодити роботу техніки у часі. У блоці 9 визначається більш ефективний варіант розподілу техніки з мінімальними простоями техніки, а також виявляються деякі неточності в плані розподілу техніки. У цьому випадку, у блоці 6 проводиться корегування плану розподілу техніки та для виправленого варіанту знову проводиться імітування ТПЗК. За формування календарного плану збиральної кампанії та графіків роботи технічних засобів відповідає блок 10. Плани і графіки збиральної кампанії потрапляють і зберігаються в Базі даних системи. Зазначимо, що блоки 1) -7) підсистеми планування розв'язують задачі верхнього рівня управління, а блоки 8) – 10) – нижнього.

Проведення контролю за технологічним процесом збиральної кампанії – це необхідна умова ефективного управління збиральною кампанією. Відхилення від плану роботи в більшості випадків виникає внаслідок несправностей технічних засобів або за несприятливих погодних умов проведення робіт. Але існують ситуації коли на відхилення «план-факт» впливає і людський фактор, в результаті чого можливе як недовиконання плану так і навпаки. Недовиконання плану може бути наслідком зниження інтенсивності робіт або припущення помилок при вводі початкових даних у систему користувачем, що знижує адекватність моделі реальному процесу. Збільшення планових показників може бути внаслідок підвищення швидкості проведення технологічних операцій, що може привести до додаткових втрат зерна або зниження його якості.

Розглянемо функціональну схему підсистеми контролю, що приведена на рис. 3.

На основі даних з об'єкту управління у блоці 3.1 визначається відсоток виконання плану  $PR_2$  для кожного технічного засобу. У блоці 3.2 на основі даних про погодні умови проведення робіт  $PY$  («несприятливі», «сприятливі») і працездатність засобу  $RZ$  («незадовільна», «задовільна», «добра»), а також на основі нечітких продукційних правил, отримаємо плановий відсоток виконання плану  $PR$  (від 0% до 100%).

Функції приналежності термів лінгвістичних змінних були задані у вигляді лінійної  $Z$ -образної функції, трикутної функції і лінійної  $S$ -образної функції. Функцію приналежності, що характеризує працездатність засобу  $RZ$ , задамо виходячи з тривалості несправності, якщо вона мала місце під час роботи засобу. Визначення термів для вихідної змінної  $PR$  відбувається на основі припущення, що відсоток виконаної роботи відповідає відсотку тривалості зміни, при якому засіб працював.

Нечіткі продукційні правила задамо в наступному вигляді:

- IF  $PY = \text{«несприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«незадовільна»}$  THEN  $PR = \text{«низький»}$  (1)
- IF  $PY = \text{«несприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«задовільна»}$  THEN  $PR = \text{«низький»}$  (1)
- IF  $PY = \text{«несприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«добра»}$  THEN  $PR = \text{«низький»}$  (1)
- IF  $PY = \text{«сприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«незадовільна»}$  THEN  $PR = \text{«низький»}$  (1)
- IF  $PY = \text{«сприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«задовільна»}$  THEN  $PR = \text{«середній»}$  (1)
- IF  $PY = \text{«сприятливі»}$  AND  $PZ = \text{«добра»}$  THEN  $PR = \text{«високий»}$  (1)

Після отримання результату  $PR$  у блоці 3.3 він порівнюється з результатом  $PR_2$ , і на основі цього формуються рекомендації до ОПР.

До причин відрізнення фактичного значення відхилення  $PR_2$  від планового  $PR$  віднесемо наступні твердження:

- 1) недовиконання плану по причині поганих погодних умов;
- 2) недовиконання плану із-за несправності технічного засобу;

- 3) недовиконання плану по технологічним причинам (зміни стану хлібостою, виникнення черги на пункті розвантажування транспортних засобів і т.п.);
- 4) недовиконання плану із-за дії людського фактору;
- 5) недовиконання плану по причині несправності та технологічних причин;
- 6) недовиконання плану по причині несправності та дії людського фактору;
- 7) недовиконання плану по причині несправності з втратою якості проведення робіт;
- 8) недовиконання плану по причині несправності та неадекватності початкових даних;
- 9) перевиконання плану по причині підвищення швидкості збирання врожаю з можливою втратою якості робіт;
- 10) перевиконання плану по причині неадекватності вхідних даних.

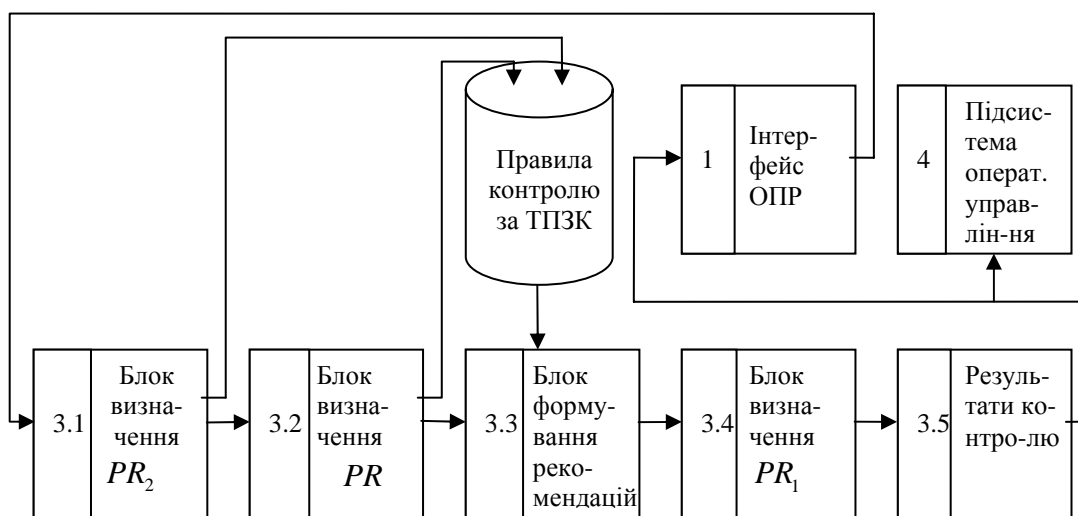


Рис. 3. Функціональна схема підсистеми контролю ІСУЗК

Зазначимо, якщо має місце причина неадекватності вхідних даних, система переходить в режим перенавчання, тобто ОПР вводить нову початкову інформацію, на основі якої знову проводиться ідентифікація моделей системи.

Підсистема контролю починає функціонувати на верхньому рівні, у випадку, коли існує відхилення «план – факт» на нижньому рівні контролю. У блоці 3.4 визначається відхилення «план–факт» по кожному технологічному підрозділу  $PR_1$  за результатами роботи усіх задіяних засобів. Існує випадок, коли  $PR_1$  не перевищує заданого відсотку похибки, тобто знижена ефективність роботи одного засобу може бути перекрита підвищеною ефективністю роботи інших засобів, а також усі несправності техніки були поладжені вже до наступної зміни робіт, тоді немає необхідності в оперативному режимі змінювати план збиральних робіт. Результати роботи підсистеми контролю та рекомендації до ОПР формуються у блоці 3.5 і передаються до Інтерфейсу ОПР (блок 1) та у підсистему оперативного управління (блок 4).

При значних відхиленнях між запланованими та фактичними результатами роботи технологічних підрозділів (на верхньому рівні), активізується підсистема оперативного управління, яка при необхідності формує новий план збиральної кампанії на наступні зміни з метою усунення відхилень «план-факт» з мінімальними витратами. Робота підсистеми оперативного управління співпадає з роботою підсистеми планування за винятком деяких відмінностей в завданні початкових даних, а саме, вона функціонує на початкових даних, які поступають від підсистеми контролю кожний день проведення збиральної кампанії. До початкових даних було віднесено дані про характеристики полів  $\bar{Z}'$  і технічне за-



безпечення робіт  $\overline{D'}$ . Вектор  $\overline{D'}$  відрізняється від вектору  $\overline{D}$  із підсистеми планування тим, що він містить в собі інформацію про характеристики тільки тих технічних засобів, які були заплановані в роботі збиральної кампанії. Спочатку на основі генетичного алгоритму розподілу збиральної техніки та математичної моделі розподілу транспортної техніки проводиться розподіл техніки, характеристики якої містяться у векторі  $\overline{D'}$ . Отриманий план розподілу аналізується як системою так і ОПР й у випадку, коли цей план не підходить (має низьку ефективність), вектор  $\overline{D'}$  автоматично замінюється вектором  $\overline{D^*}$ , який містить характеристики додаткових технічних засобів, що можуть бути задіяні в збиральній кампанії, і знову проводяться розрахунки. Для вектора  $\overline{D^*}$  вірна наступна рівність:

$$\overline{D^*} = \overline{D} \setminus \overline{D^0} \quad (1)$$

де  $\overline{D^0}$  - множина характеристик несправних технічних засобів, що вже не приймають участь в збиральній кампанії.

При розробці моделей і алгоритмів ІСУЗК застосовувалися методи інтелектуального планування, імітаційного моделювання, штучних нейронних мереж, теорії еволюційного моделювання, теорії масового обслуговування, теорії нечітких множин і нечіткої логіки.

Адекватність розроблених моделей підтримки прийняття рішень для ІСУЗК була перевірена на основі даних, що були зібрані на сільськогосподарському підприємстві ТОВ «Росія» у Донецькій області.

**Висновки.** Запропонована структура ІСУЗК і функціональні моделі її основних підсистем забезпечують підтримку прийняття ефективних рішень по організації збиральної кампанії в різних технологічних і погодних умовах сільськогосподарського підприємства.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Масло І. П., Грицишин М., Босий М. Обґрунтування технологій збирання зернових і структури парку зернозбиральних комбайнів // Техніка АПК. – 1999. – №4. – С. 8-9.
2. Гарам В. П., Пашко А. О. Сучасне управління агротехнологічним процесом у рослинництві//Наука та інновації. – 2005. – №2. – С. 110-116.
3. Козарева Т. В. Логістизація економіки АПК //Економіка АПК. – 2003. – №12 – С.23-27.
4. Петрик А. В. Особливості формування транспортних систем в агропромисловому виробництві//Ринок послуг комплексних транспортних систем та прикладні проблеми логістики. – 2004. – С. 177-179.
5. Мельник І., Абрахам З., Дубровин В. Системы для определения рациональных комплексов машин и эффективности машинно-тракторного парка //Техніка АПК. – 1999. – № 6-7. – С. 31.

УПРАВЛІННЯ НАВАНТАЖЕННЯМ І РЕСУРСАМИ ЦЕНТРІВ  
ОБРОБЛЕННЯ ДАНИХ ПРИ ВИДІЛЕНИХ СЕРВЕРАХ

Теленик С.Ф., Ролік О.І., Букасов М.М., Римар Р.В., Ролік К.О.

**Вступ.** Розвиток інформаційних технологій (ІТ) призвів до формування і втілення у кінці ХХ – на початку ХХІ століть концепції інформаційно-телекомунікаційних систем (ІТС). В цих великих розподілених системах на якісно новому рівні реалізуються ідеї, пов'язані з удосконаленням інформаційно-обчислювальних процесів. Так, у 70-х – 80-х роках минулого століття перспективною видавалася ідея концентрації інформаційно-обчислювальних ресурсів у обчислювальних центрах колективного використання (ОЦКВ). Міністерства і відомства з їх розподіленою системою підпорядкованих підприємств, організацій, установ і окремих підрозділів вбачали у ОЦКВ багатообіцяючу форму забезпечення підпорядкованих органів управління обчислювальною технікою і збільшення ефективності її використання. Низка причин стали на заваді втілення цієї ідеї. Сьогодні ОЦКВ повернулися у вигляді центрів оброблення даних (ЦОД) – комплексних організаційно-технічних рішень, призначених для створення високопродуктивних, відмовостійких ІТ-інфраструктур. Орієнтовані на вирішення проблем бізнесу шляхом надання послуг у вигляді інформаційних сервісів ЦОД забезпечують ефективне консолідоване зберігання і оброблення даних користувачів, надання їм прикладних сервісів, а також підтримку функціонування корпоративних застосунків.

Концепція ЦОД втілена багатьма великими корпораціями переважно для забезпечення доступу великої кількості користувачів до певних ресурсів (сервісів, застосунків, обчислювальних потужностей, даних тощо). Виявилось, що ефективна організація ЦОД пов'язана з необхідністю розв'язання низки проблем, насамперед створення умов для функціонування інформаційно-обчислювальних потужностей ЦОД, управління ресурсами, забезпечення надійності та безпеки. Схожі проблеми постають перед будь-якою компанією, яка вкладає кошти у створення системи ЦОД для обслуговування користувачів інших компаній, тобто набуває статусу хостингової компанії.

У статті розглядається підхід до управління розподілом ресурсів ЦОД, призначений забезпечити ефективне їх використання у процесі функціонування ЦОД за схемою виділених серверів. Наводяться моделі і алгоритми розподілу ресурсів, структура відповідних інструментальних засобів.

**1 Проблеми організації роботи ЦОД.** Проблема створення і забезпечення ефективного функціонування ЦОД постає перед корпораціями з розвинутою розподіленою ІТ-інфраструктурою, насамперед хостинговими компаніями. Вкладаючи кошти, компанії сподіваються на прибуток. У будь-якому випадку вони очікують зменшення витрат на експлуатацію ЦОД, зниження вартості обслуговування користувачів, що дозволить, зрештою, закласти основу для ефективної діяльності, як самої компанії, так і клієнтів.

Клієнти своє бачення роботи ІТ-інфраструктури погоджують із хостинговою компанією на рівні вимог, до яких звичайно належать: вартість послуг; доступність і керованість ІТ-інфраструктури; цілісність даних; безпека; надійність; масштабованість.

Досягнення рівня вимог користувачів найменшими коштами становить сутність проблеми створення і забезпечення функціонування ЦОД. Зазвичай цю комплексну проблему розбивають на ряд проблем менших розмірів, але від того не набагато простіших. Однією з них є проблема управління ресурсами і навантаженням ЦОД.

Потрібні гнучкі рішення, які ґрунтуються на оцінюванні і прогнозуванні стану ресурсів і обсягів навантаження і полягають у правильному балансуванні навантаження і ефективному розподілі ресурсів. Для систематичного прийняття правильних рішень необ-

хідні інструментарій та комплекс методик для вирішення задач підтримки IT-інфраструктури. Їх створення становить важливу науково-практичну проблему, розв'язання якої вимагає глибокого розуміння процесів, які відбуваються в хостингових компаніях, функціонування IT-інфраструктури, чіткої постановки конкретних задач дослідження, розроблення математичних моделей і відповідних методів вирішення задач та, насамкінець, реалізації згаданих вище інструментарію та методик.

Комплекс задач дослідження та їх постановки залежать від багатьох чинників, які тією чи іншою мірою впливають на згадані вище процеси. Першим таким чинником є модель хостингу. В цій статті розглядається модель виділених серверів, за якої клієнти не змагаються за ресурси, а мають можливість використовувати резервовані для них фізичні сервери, вважаючи, що це захистить їх від перевантаження серверів, поганої продуктивності і недосконалих програм їх сусідів по хостингу.

Другим важливим чинником є прийнята архітектура побудови програмних систем. У статті пропонуються моделі для традиційної і сервіс-орієнтованої архітектури (COA). Перша з них ґрунтується на абстракціях застосувань та елементів їх побудови. Переважно використовується трирівнева архітектура із сервером БД, сервером застосувань і клієнтом. У COA ідеологія побудови виходить із абстракції сервісів. Мета розроблення системи полягає у створенні комплексу прийняттого рівня абстракцій сервісів, які використовуються багатьма застосуваннями, а не жорстко прив'язуються до одного з них.

Для масштабування систем, гнучкого розподілу їх ресурсів між клієнтами і балансування навантаження, хостингові організації використовують клієнт-серверні і Web-технології, технології віртуалізації і кластеризації.

Клієнт-серверні технології побудови і організації доступу до прикладного програмного забезпечення (ПЗ) призначені для ефективного реалізації необхідної функціональності програмних систем, створення умов для ефективного підтримки діяльності бізнес-персоналу компанії, пов'язаної зі здійсненням системи бізнес-процесів компанії. До цих технологій багато в чому близькі Web-технології побудови і організації доступу до прикладного ПЗ, оскільки їх поява була реакцією на ті ж проблеми. Процеси оброблення інформації бізнес-користувачів в них також розподіляють між трьома типами взаємодіючих програмних компонентів – сервером БД, клієнтом і Web-сервером застосувань. Іноді для організації роботи з користувачами виділяється окремий Web-сервер, який управляє запитами до серверів застосувань.

Застосування клієнт-серверних і Web-технологій забезпечує зниження рівня вимог до робочих станцій, розподіл процесорного навантаження і оптимізацію серверів, масштабування систем і підвищення їх швидкодії, зменшення непродуктивних витрат.

Технології віртуалізації надають користувачу можливість абстрагуватися від особливостей окремих груп ресурсів, об'єднати їх у апаратно-програмні комплекси потрібної конфігурації і спростити управління ними. Віртуалізація платформ полягає у створенні віртуальних машин (VM) – програмних абстракцій, що запускаються на платформі реальних апаратно-програмних (хостових) систем. Віртуалізація ресурсів узагальнює підходи до створення VM і переносить їх на усі види ресурсів – обладнання ЦОД, просторів імен, мереж і т.п.

Технологія кластерного хостингу дозволяє користувачам керувати безпекою, ресурсами і балансуванням навантаження. До того ж, кластерні платформи хостингу управляються даними, що дозволяє багато операцій виконувати без втручання людини. Після замовлення акаунта користувач може використовувати ресурси хостингу, замовляючи їх в межах фізичних обмежень платформи. Користувачі можуть використовувати ресурси декількох серверів, їх застосування розподіляються в реальному часі за рахунок віртуалізації ресурсів, які надаються фізичними серверами. Зміни в акаунті користувача поширюються без затримки на кожний сервер кластера. Комбіноване управління (динамічне балансування запитів між декількома застосуваннями і додавання серверів у кластер) убезпечує іс-

нуючих користувачів від падіння продуктивності і дозволяє успішно справлятися з великими обсягами трафіку.

Але досягнення переваг клієнт-серверних і Web-технологій, кластеризації і віртуалізації вимагає додаткових зусиль, оскільки процеси прийняття рішень стають складнішими і вимагають розвиненого інструментарію їх підтримки. Необхідно визначити склад кластерів, параметри ВМ і ефективно управляти їх навантаженням і ресурсами. З'являється необхідність розроблення моделей, алгоритмів і засобів моніторингу, аналізу, планування і управління інформаційно-обчислювальними процесами ЦОД з урахуванням специфіки архітектурних рішень, особливостей кластеризації і віртуалізації та реалізації їх у системі управління ІТ-інфраструктурою (СУІ) [1-2].

**2 Аналіз існуючих рішень.** Хостингові компанії управляють ресурсами і навантаженням за допомогою спеціалізованих програмно-апаратних рішень. Ринок СУІ насичений продуктами, створеними на основі IT Infrastructure Library (ITIL) і концепції IT Service Management (ITSM). Провідні позиції посідають компанії Microsoft з MS Data Center, IBM з лінійкою продуктів Tivoli, HP з OpenView Service Desk і Automation Manager.

Ефективність СУІ суттєво залежить від моделей і методів розв'язання наукових проблем, пов'язаних із розподілом ресурсів, управлінням ресурсами і навантаженням, балансуванням тощо. На сьогодні проблема розподілу ресурсів і управлінням навантаженням розв'язана не лише в межах єдиної апаратної системи, а й у мережах, насамперед для віртуального хостингу [3-8]. Запропоновано низку підходів для планування і управління ресурсами і навантаженням ІТС [9-12]. Але розподіл і управління серверами і групами серверів при використанні хостинговою компанією моделі виділених серверів вимагає додаткових досліджень. Крім того, розроблення моделей і методів ефективного управління навантаженням і ресурсами ЦОД при хостингу на основі виділених серверів складе важливу частину комплексного рішення для розподілу і управління ресурсами ЦОД, яке можна було б застосовувати в будь-якій ситуації, налаштовуючи його на особливості середовища застосування.

**3 Постановка проблеми розподілу і управління ресурсами при виділених серверах.** Модель хостингу з виділеними серверами підтримується клієнт-серверними і сервіс-орієнтованими технологіями. Фізичні сервери дозволяється об'єднувати в кластери для задоволення вимог клієнтів. Серверний парк ЦОД обслуговує визначену множину користувачів, надаючи їм доступ до множини відповідних застосувань клієнтів хостингової компанії. Сервери характеризуються набором технічних параметрів, а клієнти – набором вимог, залежних від множини користувачів і застосувань клієнтів. Вимоги застосувань такі, що декілька серверів забезпечують екземпляри одного застосування.

Необхідно розробити математичні моделі і відповідні методи розподілу фізичних серверів між клієнтами за доцільними критеріями ефективності за умови виконання ресурсних, технологічних та інших актуальних обмежень.

**4 Опис функціонування ЦОД на основі виділених серверів.** Розглянемо функціонування ЦОД, коли клієнти вибрали модель хостингу на основі виділених серверів. Хостингова компанія і організації-клієнти мають можливість вибрати технології побудови застосувань, кластеризації і віртуалізації. Нижче описано три варіанти системи, яка надає хостингові послуги на основі моделі виділених серверів.

**4.1 Виділені сервери і СОА.** Кожний клієнт одержує у своє використання один фізичний сервер або групу фізичних серверів. В останньому випадку використовуються технології кластеризації для об'єднання фізичних серверів у кластер. На серверах і кластерах можуть використовуватися технології віртуалізації. Кожний із клієнтів створює свої програмні системи на основі СОА. Веб-застосування обробляють веб-запити користувачів клієнта і веб-сервери генерують деякий статичний або динамічний вміст.

Адміністратори встановлюють Веб-сервер, сервер БД і застосування клієнта на фізичних серверах і кластерах клієнта, формуючи обчислювальне середовище для користувачів цього клієнта. Схема, наведена на рис. 1, демонструє організацію доступу до ресурсів при виділених серверах.

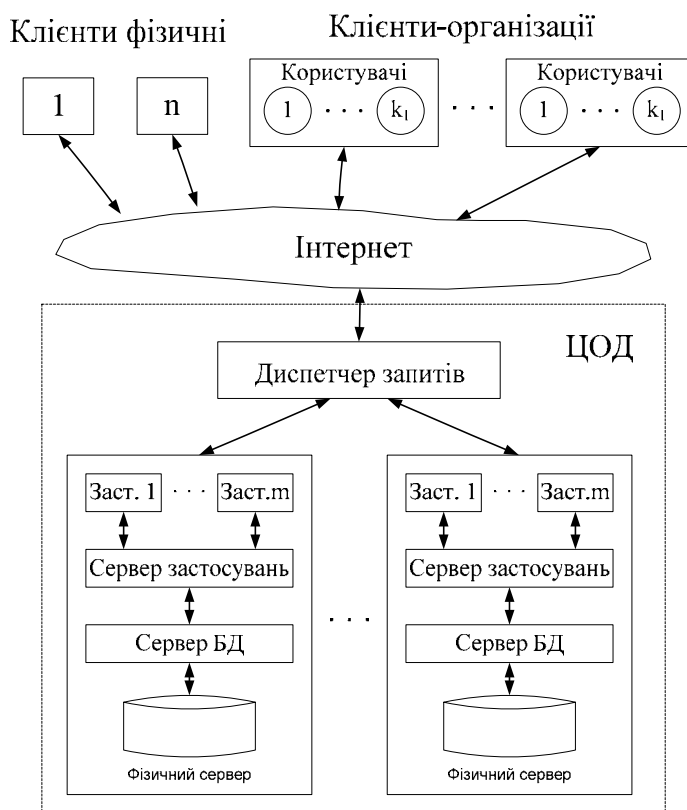


Рис. 1. Схема доступу до ресурсів при виділених серверах

На схемі зображено два фізичних сервери, на кожному з яких розгорнуті сервер БД, web-сервер застосувань і декілька застосувань окремого клієнта. Один ЦОД може обслуговувати багато різноманітних web-серверів застосувань, розгорнутих на фізичних серверах або в кластерах в кількості від  $n \cdot 10$  до  $n \cdot 100$ . Оскільки окремі фізичні сервери ЦОД можуть не мати достатніх обчислювальних потужностей, оперативної пам'яті або інших ресурсів, адміністратори ЦОД створюють для клієнтів з високим рівнем вимог до ресурсів кластери на основі груп фізичних серверів.

Програмні середовища web-серверів застосувань використовують програмні реалізації диспетчерів запитів, щоб доставити web-серверні запити застосуванням. При віртуалізації можуть застосовуватися технології розподілу ресурсів ВМ і навантаження на основі спеціальних правил для вибору ВМ і застосувань. В СУІ також реалізується відстеження всього шляху запитів і запобігання ситуаціям, коли запит втрачається через зависле застосування або інші технічні проблеми.

**4.2 Виділені сервери і традиційна трирівнева архітектура.** Кожному клієнту виділяється окремий фізичний сервер або окрема їх група, причому в останньому випадку можуть використовуватися технології кластеризації. Кожний із клієнтів створює свої програмні системи на основі традиційних клієнт-серверних технологій. Сервери застосувань аналізують запити користувачів, перевіряють певні параметри і направляють запити відповідним застосуванням. Застосування обробляють запити користувачів клієнта і результати через сервер застосувань повертаються користувачам. Сервери застосувань, за необхідності, звертаються за даними до серверів БД.

Адміністратори встановлюють сервер застосувань, сервер БД і застосування клієнта на фізичному сервері, формуючи обчислювальне середовище для користувачів цього

клієнта. У випадку групи серверів таке середовище формується на кластері. Як для окремих серверів, так і для кластерів можуть застосовуватися технології віртуалізації.

Програмні середовища серверів застосувань також використовують програмні реалізації диспетчерів запитів, щоб доставити запити застосуванням, а відповіді користувачам. Вони прив'язують запити до сервера застосувань і передають їх конкретним застосуванням для оброблення. Якщо задіяні технології віртуалізації, то застосовуються технології розподілу ресурсів VM і навантаження на основі спеціальних правил для вибору VM і застосувань.

**4.3 Гібридна архітектура.** Принципово можлива реалізація моделі, коли частина клієнтів будують свої програмні системи на основі COA і використовують канали Інтернет для забезпечення доступу користувачів до своїх Web-застосувань, а інші клієнти використовують канали зв'язку із хостинговою компанією чи виділені канали і традиційні клієнт-серверні технології для забезпечення доступу своїх користувачів до застосувань.

**5. Опис системи управління IT-інфраструктурою.** На сьогодні для будь-якого з наведених варіантів побудови системи надання послуг з виділеними серверами проблема розподілу фізичних серверів і груп серверів між клієнтами залишається не розв'язаною. Коли ЦОД обслуговує значну кількість клієнтів, до великої кількості застосувань яких звертається багато користувачів, причому кожний клієнт і його застосування мають свої системні вимоги, а потужний серверний парк характеризується суттєвим різноманіттям параметрів, проблема найкращого закріплення серверів за клієнтами стає далеко не тривіальною.

Схема СУІ зображена на рис. 2. Власне ця система є розподіленою і на схемі зображено лише компонент, який відповідає за збір інформації щодо стану і завантаженості серверів і застосувань, аналіз зібраної інформації, розподіл серверів між клієнтами. На схемі не зображено той компонент системи, який розміщується на кожному сервері і реалізує функції моніторингу, аналізу і управління застосуваннями. Відповідно не знайшов відображення компонент управління кластером.

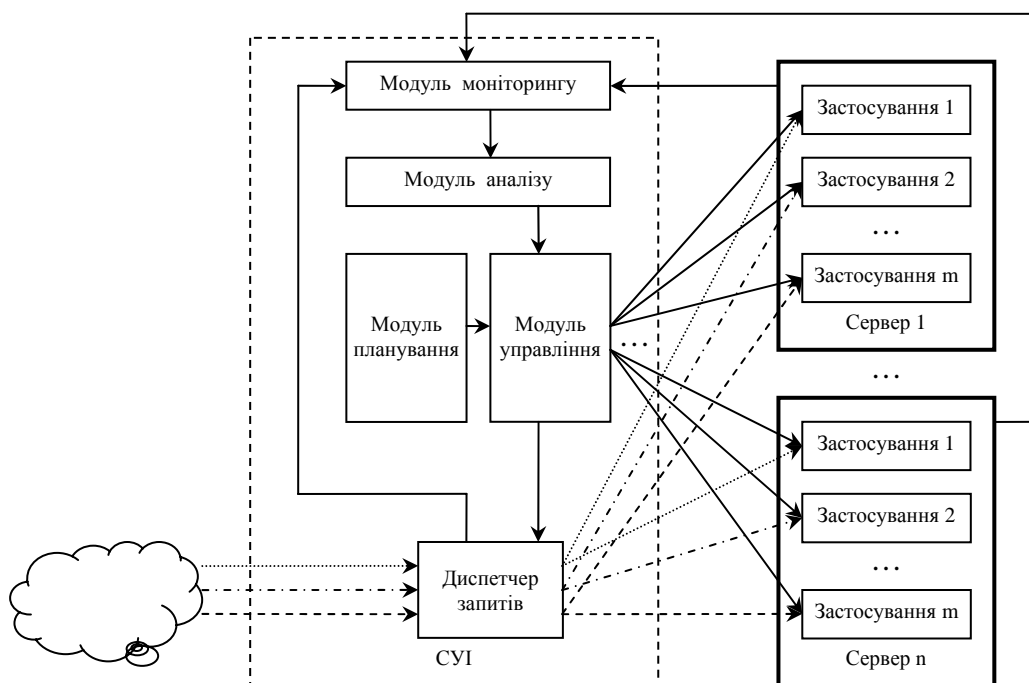


Рис. 2. Структурна схема управління навантаженням і ресурсами

Функціональне призначення елементів системи:

–модуль моніторингу відповідає за збір інформації компонентів системи і дотримання параметрів функціонування;

–модуль аналізу здійснює аналіз інформації стану і визначає ступінь відповідності функціонування системи визначеним критеріям її функціонування;

–диспетчер запитів здійснює маршрутизацію запитів відповідно до розподілу серверів між клієнтами;

–модуль планування визначає нове закріплення фізичних серверів (груп серверів) між клієнтами;

–модуль управління здійснює розгортання Web-серверів і застосувань відповідно до нового закріплення фізичних серверів між клієнтами, їх налаштування і формування правил для диспетчера.

Головний елементом моделі є модуль планування, який розраховує нове закріплення фізичних серверів за клієнтами, залежно від вимог клієнтів, потреб їх застосувань до ресурсів. У кожному новому циклі роботи системи модуль планування розраховує нову матрицю закріплення з метою задовольнити вимоги всіх клієнтів та їх застосувань в ресурсах, не перевищуючи місткості вузлів. На додаток до цього, модуль планування працює, враховуючи такі чинники:

– потенційну часо- і ресурсозатратність процесів згортання і розгортання застосувань на виділених для клієнта серверах;

– якщо існує багато матриць закріплення, які мінімізують витрати на підтримку виділених серверів і забезпечують виконання ресурсних обмежень, то найкращим з закріплень буде те, яке забезпечує рівномірне використання ресурсів;

– технологічні обмеження, які унеможливають використання деяких серверів для деяких клієнтів, наприклад налаштування мережі, присутність програмних бібліотек і т.п.

Вимоги клієнтів і застосувань традиційно поділяються на залежні від навантаження і незалежні від навантаження. Незалежні від навантаження вимоги описують ресурси, які необхідні для розгортання застосування на сервері застосувань. Приклади таких ресурсів – це оперативна пам'ять, і пам'ять на жорстких дисках. Залежні від навантаження вимоги відповідають ресурсам, використання яких залежить від загального навантаження на систему. Прикладами таких ресурсів можуть бути процесор, канали зв'язку. Доцільно також урахувати і потім контролювати якісні вимоги клієнтів, зазначені у SLA.

У статті не розглядаються планування і управління операціями згортання і розгортання екземплярів застосувань, оскільки це притаманне лише віртуальному хостингу. Можна використовувати операції запуску і зупинки ВМ, якщо використовуються технології віртуалізації, але це тема окремої статті.

Потрібна модель закріплення клієнтів за фізичними серверами і групами фізичних серверів з урахуванням наведених вище особливостей ІТ-інфраструктури.

**6. Математична модель.** Для того щоб сформулювати задачу оптимального розподілу ресурсів, введемо наступні позначення для найзагальніших понять, показників та параметрів, за допомогою яких можна описати систему, яка надає послуги користувачам, розподіляючи запити екземплярам застосувань на існуючих серверах:

1)  $N = \{N_1, \dots, N_n\}$  – множина фізичних серверів, кількість яких дорівнює  $n$ ;

2)  $K = \{K_1, \dots, K_m\}$  – множина клієнтів, кількість яких дорівнює  $m$ ;

3) кожний сервер  $N_i, i=1, \dots, n$ , має п'ять параметрів, які разом характеризують його потужність:  $\Omega_i$  – процесорна місткість сервера  $N_i$ ;  $\Gamma_i$  – місткість оперативної пам'яті сервера  $N_i$ ;  $\Phi_i$  – місткість жорстких дисків сервера  $N_i$ ;  $\Lambda_i$  – місткість каналів сервера  $N_i$ ;  $\Delta_i$  – надійність сервера  $N_i$ ;

4) кожний клієнт  $K_j, j=1, \dots, m$ , має вимоги до:  $\omega_j$  – процесорної місткості серверів, на яких розташовані застосування, які обслуговують користувачів клієнта  $K_j$ ;  $\gamma_j$  – до оперативної пам'яті серверів, на яких розташовані застосування, які обслуговують користувачів клієнта  $K_j$ ;  $\varphi_j$  – до пам'яті жорстких дисків серверів, на яких розташовані застосування,

які обслуговують користувачів клієнта  $K_j$ ;  $\lambda_j$  – до місткості каналів серверів, на яких розташовані застосування, які обслуговують користувачів клієнта  $K_j$ ;  $\delta_j$  – до надійності апаратно-програмного комплексу, який обслуговує користувачів клієнта  $K_j$ ;

5) Матриця  $R = |R_{ji}|_{m \times n}$ , де

$$R_{ji} = \begin{cases} 1, \text{ якщо застосування клієнта } K_j \text{ можна розгорнути на сервері } N_i; \\ 0, \text{ в супротивному випадку.} \end{cases}$$

Особливість характеристик серверів і вимог застосувань полягає в тому, що вони поділяються на два класи: залежні від навантаження ( $\Omega_i, \omega_j, \Lambda_i, \lambda_j$ ) і не залежні від навантаження ( $\Gamma_i, \gamma_j, \Phi_i, \phi_j, \Delta_i, \delta_j$ ). Вимоги до залежних від навантаження параметрів серверів визначаються сумарними вимогами користувачів клієнта, а вимоги до незалежних від навантаження параметрів серверів – сумарними вимогами усіх застосувань клієнта.

З опису системи, яка моделюється, легко зрозуміти, що величину  $\omega_j$  можуть забезпечити декілька серверів своєю сумарною процесорною місткістю. Тоді на кожному сервері розміщується екземпляр застосування. Але величини  $\gamma_j$  визначаються потребами застосувань клієнта і якщо пам'ять сервера менше вимог застосування, то це застосування на сервері не може бути розміщеним. Тобто оперативну пам'ять застосуванню клієнта може надати лише той сервер, на якому воно розміщується. Якщо застосування розміщується на декількох серверах, то кожний з них має виділити для нього оперативної пам'яті відповідно до вимог застосування. Це ж стосується і пам'яті жорстких дисків серверів. Тому вимоги кожного клієнта  $K_j, j=1, \dots, m$ , до оперативної пам'яті складаються з сумарних вимог  $\gamma_{\Sigma j}$  до оперативної пам'яті усіх застосувань клієнта  $K_j$  та вимог  $\gamma_{\max j}$  найвимогливішого щодо оперативної пам'яті застосування клієнта  $K_j$ . Аналогічно вимоги кожного клієнта  $K_j, j=1, \dots, m$ , до пам'яті жорстких дисків складаються з сумарних вимог  $\phi_{\Sigma j}$  до пам'яті жорстких дисків усіх застосувань клієнта  $K_j$  та вимог  $\phi_{\max j}$  найвимогливішого щодо пам'яті жорстких дисків застосування клієнта  $K_j$ .

Вводимо змінну:

$$x_{ji} = \begin{cases} 1, \text{ сервер } N_i \text{ виділяється для клієнта } K_j; \\ 0, \text{ у супротивному випадку.} \end{cases}$$

Виходячи з особливостей структури СУІ, задачу розбиваємо на дві:

- 1) планування розміщення застосувань на серверах (на період, за певних ситуацій);
- 2) диспетчерування навантаження протягом планового періоду.

Перша з цих задач, в свою чергу, розбивається на підзадачу закріплення серверів за клієнтами і підзадачу розміщення екземплярів застосувань. Друга підзадача може зводитися до тривіального розміщення усіх прикладів застосувань на сервері, причому у випадку віртуалізації вона становить цікаву задачу розміщення застосувань на віртуальних машинах. Але це тема окремої статті. Якщо клієнт для доступу своїх користувачів до застосувань, розташованих на групі серверів використовує віртуальний хостинг, то можна використовувати моделі та підходи, запропоновані авторами у праці [8].

Диспетчерування при виділених серверах також може звестися до жорстких схем направлення запитів до виділених серверів, але при віртуалізації і віртуальному хостингу на групі виділених для клієнта серверів моделі можуть бути значно цікавішими. Розпочнемо із математичних моделей закріплення серверів за клієнтами.

**6.1 Моделі планування розподілу ресурсів.** Задачу закріплення серверів за клієнтами доцільно розглядати як задачу визначення матриці  $\mathbf{X} = ||x_{ji}||$ , яка визначає прив'язку клієнтів до серверів.

Оптимальне розміщення повинне враховувати такі обмеження:



- 1) сумарні вимоги, незалежні від навантаження, визначених для сервера екземплярів застосувань не перевищують незалежні від навантаження параметри сервера;
- 2) вимоги застосувань, залежні від завантаження, визначаються на основі потенціалу усіх користувачів і повинні бути забезпечені сумарними можливостями залежних від завантаження параметрів тих серверів, на яких розміщуються екземпляри цього застосування;
- 3) обмеження, визначені матрицею  $R$ .

В якості критеріїв можна використовувати:

- 1) максимальну сумарну важливість застосувань, які отримали ресурси;
- 2) рівномірне завантаження серверів;
- 3) максимальні скорочення експлуатаційних витрат за рахунок вивільнення серверів;
- 4) мінімальна сумарна вартість реалізації операцій переходу від попереднього розміщення до нового.

Очевидно, що мова має йти про одну багатокритеріальну задачу. Але особливості критеріїв такі, що доцільніше розглядати декілька моделей із суттєвими відмінностями у забезпеченості серверами.

**6.1.1 Моделі планування при обмежених ресурсах.** Для цього можна використовувати моделі, запропоновані авторами для розподілу обмежених ресурсів ІТС у працях [9-11].

**6.1.2 Моделі планування при надлишку ресурсів.** В залежності від стратегії хостингової організації можна вибрати одну із моделей, які відрізняються критеріями.

*Задача 1.* Якщо кластеризація серверів не підтримується і для хостингової компанії важлива економія ресурсів, то виникає задача мінімізації витрат на підтримку тієї частини серверів, яка забезпечуватиме підтримку запитів користувачів клієнта. Тобто вибирається така мінімальна за витратами на їх підтримку підмножина серверів, які зможуть забезпечити виконання вимог застосувань.

Вважаємо, що дискова пам'ять організована у сховищах SAN-системи, доступ до яких мають усі екземпляри застосувань, на яких би серверах вони б не розміщувалися.

Позначимо через  $s_i$  експлуатаційні витрати на підтримку сервера  $N_i$  (електроенергія, роботи, комплектуючі тощо). Тоді критерій цієї задачі набуде такого вигляду:

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_i \cdot x_{ji} \quad (1)$$

Мінімальне значення треба вибирати із рішень, які відповідають структурі булевих значень матриці  $R=|R_{ji}|_{m \times n}$  та таким обмеженням:

$$\omega_j x_{ji} \leq \Omega_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (2)$$

Обмеження (2) вимагає, щоб потреби усіх користувачів застосувань клієнта  $K_j$  у місткості процесорів задовольняв виділений фізичний сервер  $N_i$ ;

$$\lambda_j x_{ji} \leq \Lambda_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (3)$$

Обмеження (3) вимагає, щоб місткість каналів зв'язку виділеного сервера  $N_i$  забезпечувала ефективну роботу усіх застосувань, які обслуговують користувачів застосувань клієнта  $K_j$ ;

$$\gamma_{\Sigma_j} x_{ji} \leq \Gamma_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (4)$$

Обмеження (4) вимагає, щоб місткість оперативної пам'яті виділеного сервера  $N_i$  була достатньою для роботи усіх застосувань клієнта  $K_j$ ;

$$\varphi_{\Sigma_j} x_{ji} \leq \Phi_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m. \quad (5)$$

Обмеження (5) вимагає, щоб місткість дискової пам'яті виділеного сервера  $N_i$  була достатньою для роботи усіх застосувань клієнта  $K_j$ ;

$$\sum_{j=1}^m x_{ji} \leq 1, i = 1, \dots, n. \quad (6)$$

Обмеження (6) вимагає, щоб кожний сервер виділявся не більше ніж для одного клієнта;

$$\sum_{i=1}^n x_{ji} = 1, j = 1, \dots, m. \quad (7)$$

Обмеження (7) вимагає, щоб для кожного клієнта виділявся точно один сервер;

$$\delta_j x_{ji} \leq \Delta_i, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m. \quad (8)$$

Обмеження (8) вимагає, щоб надійність виділеного сервера  $N_i$  забезпечувала вимоги до надійності клієнта  $K_j$ .

*Задача 2.* Якщо кластеризація серверів підтримується і для хостингової компанії важлива економія ресурсів, то виникає задача мінімізації витрат на підтримку тієї частини серверів, яка забезпечуватиме підтримку запитів користувачів клієнта. Тобто вибирається така мінімальна за витратами на їх підтримку підмножина серверів, які зможуть підтримати необхідну для задоволення вимог існуючих користувачів застосувань, причому кожному клієнту виділяється один фізичний сервер або кластер серверів.

Використовуючи введені позначення, критерій цієї задачі запишемо у такому вигляді:

$$\min \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n s_i \cdot x_{ji}. \quad (9)$$

Мінімальне значення треба вибирати із рішень, які відповідають структурі булевих значень матриці  $R = |R_{ji}|_{m \times n}$  та таким обмеженням:

$$\pi \cdot \sum_{i=1}^n \Omega_i x_{ji} \geq \omega_j, j = 1, \dots, m. \quad (10)$$

Обмеження (10) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кластер серверів задовольняв вимоги усіх користувачів застосувань клієнта  $K_j$  у процесорній місткості. Це обмеження має місце, якщо мова йде про кластер, створюваний для підвищення продуктивності. Тут  $\pi$  – коефіцієнт падіння сумарної процесорної місткості кластера за рахунок необхідності підтримки взаємодії серверів кластера. Взагалі це обмеження повинне виконуватися для кожного сервера кластера, створюваного з метою підвищення надійності, але тоді коефіцієнт  $\pi$  набуває значення 1;

$$\sum_{i=1}^n \Lambda_i x_{ji} \geq \lambda_j, j = 1, \dots, m. \quad (11)$$

Обмеження (11) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кластер серверів задовольняв вимоги усіх користувачів застосувань клієнта  $K_j$  у місткості каналів зв'язку;

$$\sum_{i=1}^n \Gamma_i x_{ji} \geq \gamma_{\Sigma j} \cdot (1 + \alpha), j = 1, \dots, m, \quad (12)$$

де  $\alpha$  – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати оперативної пам'яті при розміщенні застосувань на декількох серверах. Цей коефіцієнт підбирається на основі накопиченого досвіду з урахуванням специфіки застосувань. Використання цього коефіцієнта дозволяє складну задачу закріплення серверів і застосувань декомпонувати на дві підзадачі: закріплення серверів за клієнтами та розміщення екземплярів застосувань на виділених серверах. У загальному випадку при вирішенні другої підзадачі для деяких клієнтів може знадобитися повторне вирішення першої підзадачі з іншим значенням коефіцієнта  $\alpha$ .

Обмеження (12) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кластер серверів задовольняв сумарні вимоги  $\gamma_{\Sigma j}$  до місткості оперативної пам'яті усіх застосувань клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований для підвищенні продуктивності;

$$\gamma_{\Sigma j} x_{ji} \leq \Gamma_i, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m. \quad (13)$$

Обмеження (13) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кожний сервер кластеру задовольняв сумарні вимоги  $\gamma_{\Sigma j}$  до місткості оперативної пам'яті усіх застосувань клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований з метою підвищення надійності;

$$\Gamma_1 x_{j1} \geq \gamma_{\max j} \vee \Gamma_2 x_{j2} \geq \gamma_{\max j} \vee \dots \vee \Gamma_n x_{jn} \geq \gamma_{\max j}, j = 1, \dots, m. \quad (14)$$

Обмеження (14) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи один з серверів кластера задовольняв вимоги  $\gamma_{\max j}$  найвимогливішого щодо оперативної пам'яті застосування клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований для підвищенні продуктивності. Якщо ж кластер створюється з метою підвищення надійності, то ця потреба має бути врахована для кожного сервера, але вона уже врахована обмеженням 13 для цього виду кластерів;

$$\sum_{i=1}^n \Phi_i x_{ji} \geq \varphi_{\Sigma j} (1 + \beta), j = 1, \dots, m, \quad (15)$$

де  $\beta$  – коефіцієнт, що враховує додаткові витрати пам'яті на жорстких дисках при розміщенні застосувань на декількох серверах. Рекомендації щодо вибору його значень аналогічні рекомендаціям щодо вибору коефіцієнта  $\alpha$ .

Обмеження (15) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кластер серверів задовольняв сумарні вимоги  $\varphi_{\Sigma j}$  до місткості пам'яті жорстких дисків усіх застосувань клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований для підвищенні продуктивності;

$$\varphi_{\Sigma j} x_{ji} \leq \Phi_i, i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m. \quad (16)$$

Обмеження (16) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кожний сервер кластеру задовольняв сумарні вимоги  $\varphi_{\Sigma j}$  до місткості пам'яті жорстких дисків усіх застосувань клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований з метою підвищення надійності;

$$\Phi_1 x_{j1} \geq \varphi_{\max j} \vee \Phi_2 x_{j2} \geq \varphi_{\max j} \vee \dots \vee \Phi_n x_{jn} \geq \varphi_{\max j}, j = 1, \dots, m. \quad (17)$$

Обмеження (17) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи один з серверів кластера задовольняв вимоги  $\varphi_{\max j}$  найвимогливішого щодо пам'яті жорстких дисків застосування клієнта  $K_j$ , якщо мова йде про кластер, створований для підвищенні продуктивності. Якщо ж кластер створюється з метою підвищення надійності, то ця потреба має бути врахована для кожного сервера, але вона уже врахована обмеженням 16 для цього виду кластерів;

$$\sum_{j=1}^m x_{ji} \leq 1, i = 1, \dots, n. \quad (18)$$

Обмеження (18) вимагає, щоб кожний сервер виділявся не більше ніж для одного клієнта;

$$\sum_{i=1}^n x_{ji} \geq 1, j = 1, \dots, m \quad (19)$$

Обмеження (19) вимагає, щоб для кожного клієнта виділялося не менше одного сервера;

$$f(\Delta_1 x_{j1}, \dots, \Delta_n x_{jn}) \geq \delta_j, j = 1, \dots, m. \quad (20)$$

Обмеження (20) вимагає, щоб виділений сервер  $N_i$  чи кластер серверів задовольняв вимоги клієнта  $K_j$  до надійності. Тут функція  $f$  визначає підхід до визначення надійності кластера серверів у залежності від надійності серверів.

Для оцінювання надійності сервера (кластера) будемо застосовувати коефіцієнт готовності сервера (кластера). У залежності від того, з якою метою створюються кластери, обмеження (20) може набувати такого вигляду:

1) кластер створюється для забезпечення надійності. У цьому випадку, якщо взяти, наприклад побудову кластера на двох серверах, то значення функція  $f$  можна визначити за допомогою виразу (21).

$$f(\Delta_1, \Delta_2) = \Delta_1 + \Delta_2 - \Delta_1 \cdot \Delta_2, \quad (21)$$

де  $\Delta_i, i = 1, 2$ , – коефіцієнт готовності сервера  $N_i$ .

Тут вимоги застосувань клієнта  $K_j$  до місткості оперативної пам'яті і процесорної місткості повинні виконуватися для кожного сервера кластеру, тобто повинні мати місце обмеження (10), у якому коефіцієнт  $\pi$  набуває значення 1, і (13);

2) кластер створюється для забезпечення продуктивності. У цьому випадку продуктивність кластера визначається за допомогою виразу, наведеного у лівій частині нерівності обмеження (10). Тоді обмеження (10) повинне виконуватися для вимог усіх застосувань клієнта  $K_j$ , а вимоги до оперативної та дискової пам'яті враховуються обмеженнями (12), (14) і (15), (17) відповідно;

3) кластер створюється для забезпечення продуктивності і надійності за проміжною схемою  $n + 1$ , коли  $n$  серверів працює на підвищення продуктивності, а 1 сервер використовується для підвищення надійності. Наприклад, розглянемо наведений на рис.3 варіант схеми  $n + 1$ , де  $n = 1$ , із застосуваннями  $A1$  і  $A2$ , причому застосування  $A1$  є більш пріоритетним.

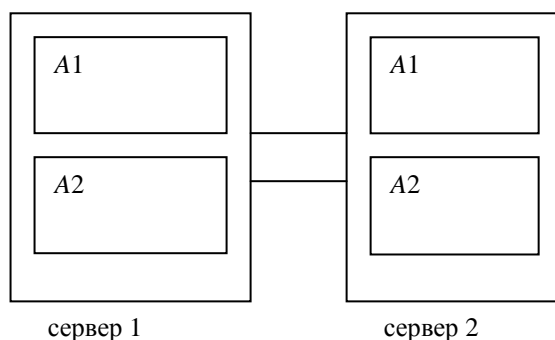


Рис. 3. Варіант схеми 1+1 з двома застосуваннями

Тоді надійність застосування  $A1$ , як більш пріоритетного, визначається надійністю кластера, а надійність застосування  $A2$ , яке є менш пріоритетним, визначається надійністю одночасного функціонування обох серверів.

Тобто у цьому випадку потрібно використовувати поняття надійності сервісів, взявши за основу вираз для визначення продуктивності кластера на основі лівої частини нерівності із (10) і узагальнення схеми, наведеної на рис.3.

Для розрахунку надійності кластерів тоді можна взяти за основу формулу (21), у якій  $\Delta_1$  – це коефіцієнт готовності сервера для забезпечення надійності і  $\Delta_2$  – це найменший із коефіцієнтів готовності серверів із групи  $n$ .

Для розрахунку надійності застосувань за цією схемою можна застосувати формули розрахунку продуктивності для кластерів продуктивності.

*Задача 2'.* Досить цікавий випадок становить задача, коли за клієнтом з метою підвищення продуктивності шляхом балансування навантаження закріплюється декілька серверів, на яких встановлюється однаковий набір екземплярів застосувань. В цьому випадку вимоги до об'єму ресурсів, що не залежать від навантаження, повинні задовольнятися на кожному з цих серверів, а вимоги до ресурсів, що залежать від навантаження, мають забезпечуватись сумарною ємністю ресурсів цих серверів:

$$\pi \sum_{i=1}^n \Omega_i x_{ji} \geq \omega_j, j = 1, \dots, m. \quad (22)$$

Обмеження (22) вимагає, щоб потреби усіх застосувань клієнта  $K_j$  у кількості процесорного часу задовольнялись сумарними процесорними ресурсами серверів;

$$\sum_{i=1}^n \Lambda_i x_{ji} \geq \lambda_j, j = 1, \dots, m. \quad (23)$$

Обмеження (23) вимагає, щоб сумарна місткість каналів зв'язку виділених для користувача  $K_j$  серверів забезпечувала ефективну роботу усіх застосувань. Вимоги, що до незалежних від навантаження ресурсів, а саме оперативної та дискової пам'яті серверів формулюються у вигляді (4) та (5) відповідно. Взнявши за критерій вираз (9) та обмеження (4) – (7), (18) – (20), (22), (23), отримуємо лінійну або нелінійну задачу булевого програмування в залежності від наявності вимог клієнтів до надійності.

*Задача 3.* Якщо для хостингової компанії важлива економія ресурсів, а витрати на реалізацію переходу до нового оптимального плану закріплення серверів порівнювані за витратами на підтримку серверів, то виникає задача мінімізації сумарних витрат на підтримку серверів і реалізацію переходу до нового плану закріплення серверів. Тобто вибирається така мінімальна за сумою витрат на реалізацію переходу до нового оптимального плану закріплення серверів і на їх підтримку підмножина серверів, які зможуть підтримати необхідну для задоволення вимог існуючих користувачів множину екземплярів застосувань. З використанням введених вище позначень критерій цієї задачі можна записати у вигляді (17).

$$\min \left( \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m s_i \cdot x_{ji} + \sum_{j=1}^m p_{ji} |x'_{ji} - x_{ji}| \right) \right) \quad (24)$$

У виразі (24)  $p_{ji}$  позначає витрати, які пов'язані з переходом до нового оптимального плану закріплення серверів у частині, що стосується клієнта  $K_j$  і сервера  $N_i$ ,  $x'_{ji}$  – значення змінної  $x_{ji}$  у попередньому плані. Витрати  $p_{ji}$  враховуються, якщо значення нового і попереднього планів у позиції (j,i) відрізняються.

Мінімальне значення треба вибирати із рішень, які відповідають структурі булевих значень матриці  $R = |R_{ji}|_{m \times n}$  та задовольняють наведені вище обмеження (10) - (20) з урахуванням зауважень до вибору обмежень для різних підходів до створення кластерів, наведених у постановці задачі 2.

Наведені вище задачі оптимізації розміщень – це лінійні та нелінійні варіанти задачі булевого програмування. Оскільки обійти перебірні методи їх вирішення не можна, виправданим буде використання евристичних методів або методів «м'яких» обчислень, насамперед генетичних алгоритмів, застосування яких дає контрольоване наближення до точного результату [13 - 14].

**6. Алгоритм вирішення задачі.** Для вирішення наведених вище задач оптимального розміщення пропонуються варіанти генетичного алгоритму і евристичного алгоритму, який враховує специфіку критеріїв і обмежень. Крім того, пропонується комбінований алгоритм, побудований на використанні методів вирішення задач лінійного програмування і неявного перебору.

**Варіанти генетичного алгоритму.** Розглянемо розроблений на основі основоположних праць універсальний варіант такого алгоритму для задачі 2, яка є складнішою з огляду на не лінійність її обмежень. Цей варіант можна досить легко модифікувати для кожної з наведених задач.

Крок 0. Задаємо точність обчислень  $\sigma$ . Установлюємо  $i = 0$ . Утворення випадкової початкової популяції  $P_k(0) = \{p_1(0), \dots, p_k(0)\}$  з урахуванням можливого відсіювання під час перевірки обмежень.

Крок 1. Оцінюємо кожний ланцюжок популяції щодо виконання обмежень відповідної задачі, наприклад, для задачі 2 обмежень (10) - (20). Для тих ланцюжків  $p_q(0)$ , для

яких обмеження виконуються, виконується оцінка  $f(p_q(0))$  цільової функції відповідної задачі, наприклад, для задачі 1 це (9), і вибір найкращого рішення.

Крок 2. Відбираємо представників для нової популяції (ланцюжків з найкращим значенням функції  $f(p_q(0))$ ).

Крок 3.  $l=l+1$ . Утворюємо нову популяцію застосуванням оператора рекомбінації.

Крок 4. Поліпшуємо популяцію застосуванням оператора мутації.

Крок 5. Оцінюємо кожний ланцюжок популяції щодо виконання обмежень і функцію  $f(p_q(l))$ , якщо обмеження виконуються.

Крок 6. Якщо рішення краще попереднього із заданою точністю  $\sigma$ , то завершуємо виконання алгоритму, в супротивному випадку повертаємося на крок 3.

Вибирається найкраще рішення в утвореній популяції  $P_k(l)$ .

У наведеному варіанті генетичного алгоритму кожний ланцюжок (особина) будь-якої популяції становить двійковий вектор довжини  $t = m \times n$ , яка визначається кількістю фізичних серверів і клієнтів. Елемент  $q$  вектора набуває значення 0 або 1 відповідних змінних  $x_{ji}$ . Довжина ланцюжків постійна.

Відбір особини для нової популяції виконується на основі ранжування за значенням цільової функції особин попередньої популяції, причому ранжуються лише особини, які задовольняють ресурсним та іншим обмеженням.

Для рекомбінування застосовується одноточковий кросинговер з випадковим вибором точки кросинговеру. Реалізація мутацій здійснюється на основі схеми інверсії ділянок ланцюжків.

**Варіанти евристичного алгоритму.** Ці алгоритми базуються на інтуїтивних уявленнях, які враховують роль залежних і незалежних, з яких найкритичніший – оперативна пам'ять, ресурсів, і вигляді критерію. Оскільки процесорну місткість можна забезпечити сукупно декількома серверами, а оперативну пам'ять лише одним сервером, то буде логічним спершу розмістити застосування, які мають вищі потреби в оперативній пам'яті, чим в процесорному часі. Взявши це за правило, далі необхідно лише врахувати особливості критерію. Кожному фізичному серверу  $N_i$  припишемо коефіцієнт  $P_i$ , значенням якого приймемо відношення процесорної місткості сервера  $N_i$  до місткості його оперативної пам'яті, кожному клієнту  $K_j$  – коефіцієнт  $p_j$ , значенням якого приймемо відношення вимог застосувань клієнта  $K_j$  до процесорної місткості до сумарних вимог  $\gamma_{\Sigma j}$  застосувань клієнта  $K_j$  до місткості оперативної пам'яті.

Продемонструємо варіант евристичного алгоритму на прикладі задачі 2. З очевидними застереженнями його можна модифікувати для інших задач.

Попередній етап для будь-якого з наведених нижче варіантів евристичного алгоритму полягає у сортуванні фізичних серверів за значенням їх коефіцієнта  $P$  у порядку зростання і сортуванні клієнтів за значенням їх коефіцієнта  $p$  у порядку спадання.

*Евристичний алгоритм для задачі 1.* Попередній етап виконано.

Крок 1. Пошук клієнта, який має найменше значення коефіцієнта  $p$ .

Крок 2. Пошук сервера з найбільшим значенням коефіцієнта  $P$ .

Крок 3. Якщо для вибраних сервера і клієнта не виконуються обмеження задачі 2 стосовно вимог  $\gamma_{\max j}$  найвимогливішого щодо оперативної пам'яті застосування клієнта  $K_j$ , то повертаємося на крок 2 для пошуку наступного сервера.

Крок 4. Якщо для вибраних сервера і клієнта не виконуються інші ресурсні обмеження задачі 2, то повертаємося на крок 2 для пошуку наступного сервера.

Крок 5. Якщо для вибраних сервера і клієнта виконуються обмеження задачі 2, причому залежні від навантаження вимоги повністю задоволені, то переходимо на крок 6. Якщо виконуються обмеження задачі 2, але сервер не може повністю задовольнити залежні від навантаження вимоги застосування, то переходимо на крок 7.

Крок 6. Клієнт вилучається із упорядкованого списку клієнтів, коригується коефіцієнт  $P$  сервера і він вбудовується в упорядкований список серверів відповідно до нового

значення коефіцієнта. Перехід до кроку 8.

Крок 7. Ресурси сервера, що залишилися, дістаються застосуванням клієнта і сервер вилучається із упорядкованого списку серверів. Переходимо до кроку 2.

Крок 8. Якщо упорядкований список клієнтів порожній, то кінець роботи алгоритму, інакше перехід до кроку 1.

Обчислювальна складність евристичного алгоритму становить  $m \times n$ .

Для інших критеріїв використовується інша логіка вибору серверів у їх впорядкованому списку.

**Комбінований алгоритм.** Для лінійних задач булевого програмування, до яких зведені задачі закріплення серверів за клієнтами, запропоновані ряд методів, в першу чергу неявного перебору, які використовують для скорочення кількості варіантів, які перебираються, крім відомих прийомів, зручний вигляд обмежень задачі. Однак, специфіка матриці обмежень задачі 1 не надто сприяє широкому застосуванню традиційних прийомів скорочення перебору. У той же час вона підштовхує до пошуку комбінованого підходу до вирішення задачі. Порівняно невелика кількість обмежень передбачає застосування ефективних методів вирішення задачі лінійного програмування, оскільки її рішення будуть містити невелику кількість нецілочисельних компонентів. Схема перебору застосовується саме до зазначених нецілочисельних компонентів. Саме такий підхід з обнадійливими результатами був застосований до лінійних задач булевого програмування у праці [1]. В основу підходу покладена схема, яка включає такі етапи:

- 1) Вирішення задачі 1 без умов цілочисельності змінних;
- 2) Підстановка цілочисельних компонентів одержаного рішення у вихідну задачу;
- 3) Вирішення одержаної задачі методом неявного перебору.

На жаль, зростання кількості змінних вирішення задачі першого етапу ускладнюється, оскільки різко зростають вимоги до пам'яті і об'єму обчислень. Сучасний стан лінійного програмування дозволяє вирішувати задачі значно більшої вимірності за допомогою декомпозиції і афіно-масштабуючих алгоритмів [15 - 17].

**7 Результати впровадження.** Запропоновані методи були досліджені стосовно одержання розв'язків близьких до оптимального і часу роботи. Розрахунки виконувалися з різними варіантами кількостей фізичних серверів і клієнтів. При цьому вимоги клієнтів і характеристики фізичних серверів змінювалися. Було проведено розрахунки для більш ніж тисячі варіантів вхідних даних. Вхідні дані генерувалися випадковим чином.

Результати продемонстрували працездатність евристичних методів і варіантів генетичного алгоритму для усіх задач. При цьому евристичні алгоритми переважно одержували розв'язок швидше, але з меншим наближенням до оптимуму.

Для задачі 1 комбінований алгоритм зайняв проміжне місце, поступаючись у часі евристичному і генетичному, він давав точне рішення у межах можливостей моделюючої системи.

Розроблені в статті моделі і методи були покладені в основу реалізації функцій оптимізації створеної в НТУУ «КПІ» системи управління IT-інфраструктурою SmartBase.ITSControl. Ця система, яка реалізована на основі платформи SmartBase [18], впроваджена в одній великій розподіленій ІТС і використовується в декількох проектах, які перебувають на стадії проектування.

**Висновки.** В статті запропоновано підхід до планування завантаження і використання ресурсів ЦОД в умовах віртуального хостингу. Розроблені моделі і методи використані при створенні СУІ. Від попередніх технологій управління навантаженням і використанням ресурсів його відрізняють надання адміністраторам можливості використовувати декілька критеріїв, врахування декількох типів ресурсів, гнучкість у переході до нових планів розміщення екземплярів застосувань.

Подальший розвиток досліджень пов'язаний з розробленням моделей і алгоритмів інших моделей хостингу, що дозволить розширити множину ситуацій, в яких може застосовуватися створена СУІ SmartBase.ITSControl.

ЛІТЕРАТУРА

1. Павлов А.А. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении / А.А.Павлов, С.Ф.Теленик. – К.: Техника, 2002. – 344 с.
2. Теленик С.Ф. Система управління інформаційно-телекомунікаційною системою корпоративної АСУ / С.Ф.Теленик, О.І.Ролік, М.М.Букасов, Р.Л.Соколовський // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: «ВЕК+». – 2006. – №45. – С. 112–126.
3. Vinoski S. Service Discovery 101 / S.Vinoski // IEEE Internet Computing.- Vol. 7.-#1.- 2005.- P. 405–426.
4. Frenkel D. MDM: Applying MDA to Enterprise Computing / D.Frenkel.- John Wiley & Sons, 2003. - 240 p.
5. Wolf J. On balancing load in a clustered web farm / J. Wolf, P. Yu. // ACM Transactions on Internet Technology. - 2001. - Vol. 1.- # 2.- P. 231–261.
6. Ardagna D. SLA based profit optimization in multi-tier web application systems / D. Ardagna, M. Trubian, L. Zhang / Proc. of Int'l Conference On Service Oriented Computing, New York, NY. 2004. P. 173–182.
7. Kimbrel T. Dynamic application placement under service and memory constraints / T. Kimbrel, M. Steinder, M. Sviridenko, A. Tantawi / Proc. of Int'l Workshop on Efficient and Experimental Algorithms, Santorini Island, Greece, May 2005. P.1-12.
8. Теленик С.Ф. Управління ресурсами центрів оброблення даних / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, К.О. Крижова // Вісник ЛНУ імені Івана Франка. – 2009. – №11. – С. 103 – 119.
9. Теленик С.Ф. Моделі управління розподілом обмежених ресурсів в інформаційно-телекомунікаційній мережі / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: Екотех. – 2006. – №44. – С. 243 – 246.
10. Теленик С.Ф. Забезпечення процесів діяльності з визначеним рівнем надійності в ІТС спеціального призначення / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, П.І. Терещенко, М.М. Букасов // Зб. наук. праць ВІПІ НТУУ „КПІ”.- №3.- К., 2007.- С. 134 – 138.
11. Теленик С.Ф. Метод розподілу ресурсів між проектами / С.Ф. Теленик, П.І. Бідюк, О.А. Амонс, К.О. Крижова // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – К.: «ВЕК+». – 2008. – №48. – С. 33 – 41.
12. Теленик С.Ф. Метод формування логічного висновку із залученням експертного комітету / С.Ф. Теленик, П.І. Бідюк, Л.О. Коршевнік, В.С. Хмелюк // Проблеми програмування. – 2008. – №4. – С. 73 – 83.
13. Холланд Дж. Генетические алгоритмы / Дж. Холланд // В мире науки.- 1992.- №9-10.- С. 32 – 40.
14. Leung K.-S. A new model of simulated evolutionary computation – convergence analysis and specifications / K.-S. Leung, Q.-H. Duan, Z.-B. Xu, C.K.Wong // IEEE Transactions on evolutionary computation.- Vol.5.- #1.- 2001.- P. 3 – 16.
15. Лэсдон Л.С. Оптимизация больших систем / Л.С. Лэсдон. – М.: Наука, 1975.- 432с.
16. Дикин И.И. Итеративное решение задач линейного и квадратичного программирования / И.И. Дикин // Доклады АН СССР.- 1967.- Т. 174.- С. 747 – 748.
17. Еремин И.И. Теория линейной оптимизации / И.И. Еремин.- Екатеринбург: Екатеринбург, 1999.- 312 с.
18. Теленик С.Ф. Швидке розроблення застосувань в адаптивній технології SmartBase / С.Ф. Теленик, О.А. Амонс, В.С. Хмелюк, К.О. Крижова // Проблеми програмування. – 2006. – №1–2. Спец. випуск. – С. 299 – 305.



## МЕТОДИ ПРОЕКТУВАННЯ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ КОМП'ЮТЕРНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ ТА ОБРОБКИ СИГНАЛІВ У РЕАЛЬНОМУ ЧАСІ

Цмоць І. Г., Демида Б.А., Подольський М.Р.

**Вступ.** Сучасний етап розвитку комп'ютерних систем управління та обробки сигналів характеризується розширенням галузей застосування, в значній частині з яких вимагається опрацювання за складними алгоритмами у реальному часі різних за інтенсивністю надходження потоків даних на комп'ютерних засобах, що задовольняють обмеженням щодо габаритів, енергоспоживання, вартості та часу розробки [1-3]. Режим реального часу накладає обмеження на час розв'язання задачі  $T_p$ , який не повинен перевищувати часу обміну повідомленнями  $T_{обм}$ , тобто:

$$T_p \leq T_{обм}$$

Час обміну залежить як від об'єму вхідних даних  $N$  і їх розрядності  $n$ , так і від кількості  $K$ , розрядності  $n_k$  та частоти  $F_d$  надходження даних у каналах [3]. Даний час визначається за формулою:

$$T_{обм} = \frac{Nn}{F_d K n_k}$$

Для забезпечення розв'язання задач в реальному часі продуктивність спеціалізованих комп'ютерних систем повинна бути:

$$\Pi \geq \frac{\beta R F_d K n_k}{Nn}$$

де  $R$  складністю алгоритмів розв'язання задач;  $\beta$  – коефіцієнт врахування особливостей засобів реалізації алгоритму [4].

Алгоритми управління та обробки сигналів у спеціалізованих комп'ютерних системах (СКС) можуть реалізовуватися на базі програмних, мікропрограмних або апаратних засобів. Кожний із видів реалізації алгоритмів має свої особливості, переваги і недоліки.

При програмній реалізації алгоритмів управління та обробки сигналів обчислювальні процеси переважно розгортаються в часі з великим об'ємом пересилок інформації між оперативною пам'яттю і операційними пристроями. Програмні засоби є доступними для програміста, перед яким виникає задача мінімізації об'єму програм і часу їх реалізації при заданій точності обчислень. Вказані засоби характеризуються низькою швидкістю і гнучкістю з точки зору можливості модифікації та заміни алгоритмів [5].

Мікропрограмна реалізація обчислень передбачає їхнє розгортання як в часі, так і в просторі. При мікропрограмуванні є доступ до системи мікропрограм процесора, що забезпечується застосуванням постійної пам'яті, програмованих логічних матриць, а також оперативних запам'ятовуючих пристроїв, які використовуються в якості пам'яті мікропрограм [6]. Реалізація в повній мірі потенціальних можливостей мікропрограмних засобів може бути досягнута лише при глибокому вивченні як задачі, яка розв'язується, так і внутрішньої мови процесора. Мікропрограмні засоби реалізації алгоритмів управління та обробки сигналів в порівнянні з програмними є більш швидкодійними.

Успіхи в області інтегральної технології дозволяють все більше перекидати реалізацію алгоритмів управління та обробки сигналів на апаратні засоби, які розгортають обчислення не тільки у часі, а і в просторі [2]. Такі обчислення характеризуються введенням додаткового обладнання і відсутністю проміжних пересилок інформації в процесі обчислення, а також спрощенням функції місцевого управління. В основі структурної організації апаратних засобів лежить принцип адекватного апаратного відображення поточкових графів алгоритмів управління та обробки сигналів на комбінаційну матрицю, процесорні елементи якої реалізують функціональні оператори та з'єднані між собою відповідно з поточковим графом алгоритмом [3]. Синтезовані за таким принципом структури є алгоритмічними. В алгоритмічних структурах алгоритм виконується над вхідними даними при їх

одноразовому проходженні через всі ПЕ. Апаратні засоби дозволять з максимальною швидкістю реалізувати алгоритми управління та обробки сигналів.

Потрібно відзначити, що в СКС реального часу всі види реалізації алгоритмів в безпосередньому вигляді зустрічаються досить рідко. На практиці в СКС для реалізації алгоритмів управління та обробки сигналів у реальному часі використовуються комбіновані підходи з перевагою одного з перерахованих засобів. Вибір того чи іншого засобу як основного для реалізації алгоритмів у СКС реального часу здійснюється із вимог забезпечення режиму реального часу та високої ефективності використання обладнання. У СКС управління та обробка сигналів у режимі реального часу забезпечується розпаралелюванням і конвеєризацією процесів обробки [5]. В зв'язку з цим актуальною задачею є розробка високоефективних СКС узгоджено-паралельної обробки сигналів і управління у реальному часі.

#### **Постановка задачі і мета дослідження**

При реалізації СКС управління та обробки сигналів у реальному часі висока ефективність використання обладнання досягається узгодженням інтенсивності надходження даних  $P_d = k n_d F_d$ , де  $k$  – кількість каналів надходження даних;  $n_d$  – розрядність каналів надходження даних;  $F_d$  – частота надходження даних, із інтенсивністю обчислень (обчислювальною здатністю) СКС, яку визначають так:

$$D_{СКС} = \frac{m_m n_m}{T_k},$$

де,  $m_m$  – кількість каналів надходження даних у сходінках конвеєра,  $n_m$  – розрядність каналів надходження даних у сходінках конвеєра;  $T_k$  – такт конвеєра.

Одним із основних інтегральних параметрів оцінки СКС управління та обробки сигналів у реальному часі є ефективність використання обладнання, який враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам системи за продуктивністю [4]. Кількісна величина ефективності використання обладнання визначається так:

$$E = \frac{R}{t_o (k_1 \sum_{i=1}^s W_{\phi y_i} d_i + k_2 Q + k_3 Y)},$$

де  $R$  – складність алгоритму, яка визначається кількістю елементарних арифметичних операцій необхідних для його реалізації;  $t_o$  – час реалізації алгоритмів управління та обробки сигналів;  $W_{\phi y_i}$  – витрати обладнання на реалізацію  $i$ -го функціонального вузла,  $d_i$  – кількість функціональних вузлів  $i$ -го типу,  $k_1$  – коефіцієнт врахування однорідності  $k_1 = f(s)$ ,  $s$  – кількість видів функціональних вузлів,  $Q$  – загальна кількість зв'язків,  $k_2$  – коефіцієнт врахування регулярності зв'язків  $k_2 = f(\Delta j)$ ,  $\Delta j$  – просторова зв'язкова віддаль,  $Y$  – кількість виводів інтерфейсу,  $k_3$  – коефіцієнт врахування кількості виводів інтерфейсу зв'язку  $k_3 = f(Y)$ .

Для розробки СКС реального часу з високою ефективністю використання обладнання необхідно використовувати НВІС-технологію і просторово-часове розпаралелення. У паралельно-конвеєрній СКС реального часу висока ефективність використання обладнання досягається узгодження інтенсивності надходження потоків даних з обчислювальною інтенсивністю системи [3]. Розробка СКС реального часу з високою ефективністю використання обладнання вимагає широкого використання сучасної елементної бази (напівзамовних і замовних НВІС, однокристальних процесорів обробки сигналів), розробки нових методів, алгоритмів і спеціалізованих структур, орієнтованих на НВІС-реалізацію. Інтенсивність надходження даних, складність алгоритмів обробки та обмеження, що висуваються до часу, габаритів і споживаної потужності є визначальними при виборі архітектури спеціалізованої комп'ютерної системи управління та обробки сигналів у реальному часі [4].

**Метою дослідження** є вибір принципів і засобів реалізації, визначення основних шляхів підвищення ефективності використання обладнання, розроблення методу проектування високоефективних СКС управління та обробки сигналів у реальному часі.

#### **Виклад основного матеріалу**

**Компонентно-ієрархічний підхід до проектування СКС управління та обробки сигналів у реальному часі.** Розглянемо три основні варіанти побудови СКС управління та

обробки сигналів у реальному часі[3]:

- на основі універсальних і функціонально-орієнтованих мікропроцесорів шляхом розробки спеціалізованого програмного забезпечення;
- універсального обчислювального ядра доповненого базовими апаратно-програмними компонентами, які реалізують часомісткі алгоритми функціонування ШНМ;
- у вигляді спеціалізованої алгоритмічної системи, архітектура та організація обчислювального процесу в якій відображає структуру алгоритму розв'язання задачі.

Перший варіант є доступним для широкого кола користувачів. Істотною його перевагою є можливість використання раніше розроблених програм. Його недоліками є невисока швидкодія, функціональна і структурна надлишковість комп'ютерних засобів.

Другий варіант є перспективним, оскільки він передбачає поєднання універсальних і спеціальних засобів. Таке поєднання забезпечує високу ефективність використання обладнання при створенні систем для опрацювання у реальному часі потоків даних за алгоритмами, які є нерегулярними з великою кількістю логічних операцій. При цьому розробка апаратних засобів із заданими технічними параметрами зводиться до доповнення обчислювального ядра додатковими апаратно-програмними компонентами.

Третій варіант орієнтований на обробку у реальному часі інтенсивних потоків даних за складними алгоритмами. При цьому висока ефективність використання обладнання досягається узгодженням обчислювальної здатності апаратних засобів з інтенсивністю надходження потоків даних. Використання для побудови апаратних засобів обчислювальних полів на основі ПЛІС з динамічним репрограмуванням відкриває нові можливості, які пов'язані з оперативним переналаштуванням ПЛІС на реалізацію конкретного алгоритму [6].

Другий і третій варіанти є найперспективнішими для синтезу СКС управління та обробки сигналів у реальному часі з високою ефективністю використання обладнання.

Розробку СКС реального часу доцільно здійснювати на основі компонентно-ієрархічного підходу, який передбачає поділ процесу розробки на ієрархічні рівні та види забезпечення (алгоритмічне, апаратне та програмне) [3]. Для реалізації такого підходу використовується метод декомпозиції, який передбачає розбиття процесу проектування СКС реального часу на окремі компоненти. На кожному рівні ієрархії проектування СКС розв'язується задачі відповідної складності, які характеризуються як одиницями інформації, так і алгоритмами обробки. За складністю розв'язувані задачі діляться на чотири ієрархічні рівні. Збільшенню номера рівня ієрархії відповідає збільшення деталізації алгоритмічних, апаратних і програмних засобів. При цьому на вищих рівнях ієрархії одиниці інформації, алгоритми, програмні та апаратні засоби представляють собою впорядковані сукупності одиниць інформації та композиції алгоритмів, програмних і апаратних засобів нижчих рівнів ієрархії (табл.1). Методологія послідовної декомпозиції, яка використовується при розробці СКС реального часу, відображає процес розробки "зверху-вниз".

Табл.1

Рівні та види розробок СКС реального часу

Ієрархічний рівень	Види забезпечення та виконувані розробки		
	Алгоритмічне	Апаратне	Програмне
1-й	Алгоритми функціонування СКС	Структура апаратних засобів СКС	Структура програмних засобів СКС
2-й	Алгоритми функціонування процесорів та їх складових	Структури процесорів	Модуль програми реалізації алгоритмів обробки
3-й	Алгоритми реалізації базових операцій (макрооперацій)	Структури операційних пристроїв для реалізації базових операцій (макрооперацій)	Підпрограми реалізації базових операцій (макрооперацій)
4-й	Алгоритми реалізації арифметичних операцій	Структури арифметичних пристроїв	Підпрограми реалізації арифметичних операцій

На першому ієрархічному рівні проектування СКС реального часу розробляються алгоритми функціонування, структури апаратних і програмних засобів СКС.

На другому ієрархічному рівні проектування СКС розв'язуються задачі проектування процесорів, що реалізують ортогональні тригонометричні та дискретні хвильові перетворення, цифрову та медіанну фільтрації, сортування даних і нейромережеві засоби для класифікації та розпізнавання зображень. Алгоритми реалізації перелічених компонентів подаються у вигляді функціонального графу з використанням функціональних операторів на рівні базових операцій. На основі аналізу функціонального графу визначаються перелік процедур для програмної і апаратної реалізації. Для виділених процедур розробляються паралельні алгоритми, НВІС-структури та програми [2].

Третій ієрархічний рівень проектування СКС зв'язаний з проектуванням операційних блоків, які реалізують базові операції алгоритмів цифрової обробки сигналів: множення комплексних чисел, обчислення базових операцій швидких алгоритмів ортогональних тригонометричних перетворень, обчислення сум парних добутоків, піднесення до степеня та макрооперації логічних обчислень. Для реалізації елементів третього рівня розробляються паралельні алгоритми, НВІС-структури та підпрограми.

До четвертого рівня ієрархії проектування СКС відносяться арифметичні пристроїв, які реалізують операції множення, ділення, обчислення квадратного кореня, обчислення максимальних і мінімальних значень. В функціональному і структурному відношеннях елементи четвертого рівня ґрунтуються на операціях: передачі, інвертування, зсуву, порівняння, додавання та віднімання. На основі цього операційного базису розробляються паралельні алгоритми, НВІС-структури та підпрограми реалізації елементів третього рівня.

Компонентно-ієрархічну структуру СКС реального часу можна описати за допомогою такого виразу:

$$C_{СКС}^1 = \bigcup_{i=1}^n C_{СКС}^{2i} \bigcup_{j=1}^m C_{СКС}^{3j} \bigcup_{p=1}^h C_{СКС}^{4p},$$

де  $C_{СКС}^1$ ,  $C_{СКС}^{2j}$ ,  $C_{СКС}^{3j}$ ,  $C_{СКС}^{4p}$  - засоби відповідно першого, другого, третього і четвертого ієрархічних рівнів;  $n$  - кількість типів процесорів;  $m$  - кількість типів операційних блоків;  $h$  - кількість типів арифметичних пристроїв.

**Принципи побудови СКС управління та обробки сигналів у реальному часі.** Розробку та оптимізацію апаратно-програмних параметрів СКС управління та обробки сигналів у реальному часі пропонується здійснювати на основі інтегрованого підходу, який охоплює [4]:

- алгоритмічні, апаратні, програмні засоби та сучасну елементну базу;
- сучасні методи та алгоритми управління та цифрової обробки сигналів;
- методи та засоби автоматизованого проектування апаратного і програмного забезпечення СКС реального часу;
- нові, орієнтовані на НВІС-реалізації, алгоритмічні, архітектурні та схемотехнічні рішення.

В основу побудови апаратних засобів СКС управління та обробки сигналів у реальному часі необхідно покласти принципи, які дозволять зменшити вартість, терміни і розширити галузі їх застосування. Аналіз показує, що забезпечити дані вимоги можна при використанні таких принципів побудови [3,4]:

- змінного складу обладнання, що передбачає наявність ядра СКС та змінних модулів (алгоритмічних пристроїв), за допомогою яких ядро адаптується до вимог конкретного застосування;
- модульності, який передбачає розробку компонентів СКС у вигляді функціонально завершених пристроїв (модулів), що мають вихід на стандартний інтерфейс;
- узгодженості інтенсивності надходження даних з обчислювальною здатністю апаратних засобів СКС;

- конвеєризації та просторового паралелізму обробки даних;
- відкритості програмного забезпечення, що передбачає можливості нарощування та його вдосконалення, максимального використання стандартних драйверів та програмних засобів;
- спеціалізації та адаптації апаратно-програмних засобів до структури алгоритмів обробки та інтенсивності надходження даних;
- програмованості архітектури шляхом використання репрограмованих логічних інтегральних мікросхем;
- використання паралельної пам'яті для зберігання інформації та обміну між компонентами системи.

**Етапи синтезу СКС управління та обробки сигналів у реальному часі.** Синтез СКС складається із наступних етапів:

- розробки методів і алгоритмів узгоджено-паралельної обробки;
- визначення основних характеристик СКС;
- перехід від алгоритму до структури СКС.

При виборі та розробці методів і алгоритмів узгоджено-паралельної обробки враховуються вимоги **R** і характеристики **H**, але визначальним є забезпечення обмежень **B**. Для оцінки розроблених алгоритмів використовуються характеристики: інформаційні, операційні та точності. До інформаційних характеристик відносяться: кількість констант, вхідних, вихідних і проміжних даних, кількість каналів і їх розрядність, кількість і види операцій. Операційні характеристики дозволяють оцінити час реалізації та обчислювальну здатність. До характеристик точності алгоритму відносяться: розрядність операційних пристроїв, способи округлення. У СКС узгоджено-паралельної обробки сигналів у реальному часі необхідно забезпечити узгодженість інтенсивності надходження даних  $P_d$  із обчислювальною інтенсивністю  $D_{СКС}$  комп'ютерної системи на всіх етапах обробки.

**Шляхи підвищення ефективності використання обладнання.** В СКС управління та обробки сигналів у реальному часі висока ефективність використання обладнання досягається мінімізацією витрат обладнання на їх реалізацію при забезпеченні реального часу [3]. Перехід від алгоритму розв'язання задачі в реальному часі до структури СКС формально зводиться до мінімізації витрат обладнання:

$$W_{СКС} = W_{III} + W_{II} + W_{IV} + \sum_{i=1}^k W_{PE_i} m_i$$

де  $W_{СКС}$ ,  $W_{IV}$ ,  $W_{III}$ ,  $W_{II}$ ,  $W_{PE}$  - витрати обладнання відповідно на реалізацію СКС, пристрою управління, інтерфейсних пристроїв, пам'яті, процесорних елементів;  $k$  – кількість типів процесорних елементів,  $i$ -й процесорний елемент,  $m_i$  – кількість процесорних елементів  $i$ -о типу, при забезпеченні такої умови:

$$\frac{Nn}{F_d k n_d} \geq \frac{T_k N n}{m_m n_m} \quad (1)$$

де  $N$  – кількість даних;  $n$  – розрядність даних.

Основними шляхами мінімізації затрат обладнання при проектуванні СКС управління та обробки сигналів у реальному часі є:

- вибір ефективних методів і алгоритмів розв'язання задач і реалізації функціональних операторів;
- зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних;
- узгодження інтенсивності надходження даних  $P_d$  із обчислювальною здатністю  $D_{СКС}$  апаратних засобів СКС.

**Метод просторово-часового відображення алгоритмів управління та обробки сигналів у узгоджено-паралельній структурі.** Одна з найбільш відповідальних задач при проектуванні СКС є перехід від алгоритму розв'язання задачі до структури СКС. Алгоритми

тми розв'язання задач можна описувати через залежність між входом і виходом або детально пояснюючи їх внутрішню структуру. Подання алгоритмів у формі стандартного математичного запису не дозволяє достатньо повно оцінити можливості розпаралелення та знайти способи їх ефективної реалізації на існуючих обчислювальних засобах або створити нові ефективні структури. Тому для вибору ефективного варіанту реалізації алгоритму є потреба подати його у формі, яка одночасно відображає просторові та часові характеристики [7-9].

Однією з форм подання алгоритму, яка дозволяє оцінити його обчислювальні та структурні характеристики, є зображення алгоритму у вигляді функціонального графу (ФГ). Він описує залежність обчислень, які виконуються в алгоритмі. Символьний запис графу алгоритму представляється як композиція функціональних операторів і має вигляд:  $F=(\Phi, \Gamma)$ , де  $\Phi=\{\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_n\}$  – множина функціональних операторів,  $\Gamma$  – закон відображення зв'язків між операторами. Графічно ФГ відображається у вигляді вершин, що відповідають операторам алгоритму  $\Phi_i$  та дуг, які відображають зв'язки між операторами, тобто залежності даних в алгоритмі. Відображення алгоритму в формі ФГ не дозволяє в повній мірі відобразити просторово-часові характеристики алгоритму [2].

Виявити паралелізм алгоритму та управляти ним, забезпечуючи тим самим можливість знаходити оптимальні просторово-часові рішення, які використовуються при синтезі обчислювальної структури і її основних елементів, дозволяє відображення алгоритму у ярусно-паралельній формі (ЯПФ) [5,7,8]. При такій формі подання алгоритму здійснюється розподіл всіх його функціональних операторів  $\Phi_i$  за ярусами таким чином, що в  $j$ -му ярусі розміщені функціональні оператори, які залежать хоча б від одного функціонального оператора  $(j-1)$ -го ярусу і не залежать від операторів наступних ярусів. В середині ярусу функціональні оператори між собою не мають з'єднань.

Кожний  $j$ -й ярус алгоритму описується наступними параметрами:

- наборами незалежних функціональних операторів  $\Phi_{jk}$ , де  $j$  – номер ярусу,  $k$  – номер функціонального оператора в ярусі;
- набором каналів надходження даних і видачі проміжних результатів;
- розрядністю кожного каналу зв'язку.

Кількість ярусів визначає висоту  $h$ , а максимальна ширина ярусів визначає її ширину  $L$  ЯПФ відображення алгоритму. При відображенні орієнтованого графа алгоритму у ЯПФ номери ярусів  $j$  є часовими індексами, а номери  $k$  функціональних операторів у ярусі є просторовими індексами. За допомогою просторово-часових індексів у системі координат час-простір задається розміщення функціональних операторів. Параметри потокового графу: складність функціональних операторів  $\Phi_i$ , ширина  $L$  і висота  $h$  є взаємно залежними, зміна одного з них веде до зміни інших.

Відображення орієнтованого графу у ЯПФ будемо називати потоковим графом (ПГ). Перехід від алгоритму розв'язання задачі до ПГ необхідно здійснюється в три етапи:

- декомпозиція алгоритму розв'язання задачі;
- проектування комунікацій (обмін даними) між функціональними операторами;
- перехід від ФГ алгоритму до ПГ.

На етапі декомпозиції алгоритм розв'язання задачі  $\Phi$  розбивається на функціональні оператори  $\Phi_i$ , між якими устанавлюються зв'язки, що відповідають даному алгоритму. Чим більшу ступінь деталізації алгоритму отримуємо у результаті декомпозиції, тим гнучкішим буде алгоритм і тим легше можна здійснити адаптацію його до виконання умови (1). Декомпозицію можна здійснювати за методом декомпозиції даних або функціональної декомпозиції. Використання методу функціональної декомпозиції дозволяє отримати просторово-часове відображення структури алгоритму на рівні операцій  $\Phi_i$ , які використовуються при НВІС-реалізаціях [7,8]. При використанні методу декомпозиції даних спочатку сегментуються дані, а потім алгоритми обробки. Вибір методу декомпозиції залежить як від структури даних, так і від алгоритму розв'язання задачі. На практиці для

синтезу високоефективних алгоритмічних структур реального часу використовується метод функціональної декомпозиції, при якому алгоритм  $\Phi$  розбивається на операції  $\Phi_i$ , кожна із яких може бути реалізована операційними блоками певного рівня ієрархії. Час і спосіб виконання операції  $\Phi_i$  операційним блоком є одними із основних параметрів при визначенні конвеєрного такту роботи  $T_k$  і розрядності каналів надходження даних  $n_k$  для алгоритмічних структур реального часу. Результатом першого етапу розробки є граф схеми алгоритму, де функціональні оператори  $\Phi_i$  мають приблизно однаковий час виконання, а їх складність визначається засобами реалізації.

На етапі проектування комунікацій для конвеєрної алгоритмічної реалізації алгоритму необхідно визначити структуру каналів обміну даними між функціональними операторами  $\Phi_i$ . Для чого виконується перехід від граф-схеми алгоритму до потокового графу, в якому здійснюється просторово-часове розміщення і закріплення функціональних операторів  $\Phi_i$  за ярусами. Структура зв'язків у потоковому графі між функціональними операторами  $\Phi_{jk}$  сусідніх ярусів визначає кількість каналів надходження даних  $m_j$  і структуру з'єднань між операційними блоками при апаратній реалізації алгоритму. У більшості алгоритмів цифрової обробки сигналів передача даних між ярусами виконується методами досконалого тасування або обмінної перестановки.

Для переходу до відображення алгоритму в ПГ необхідно його записати у вигляді матриці  $n \times l$ , де "1" відповідає наявності каналу зв'язку, "0" – відсутності зв'язку [5]. Матриця формується таким чином, що для кожного функціонального оператора  $\Phi_i$  джерела інформації формується стрічка, яка відображає його зв'язки з іншими функціональними операторами. Якщо позначити через вектори  $\vec{V}_{\phi_1}, \dots, \vec{V}_{\phi_n}$  відповідні стовпці матриці, то можна визначити результуючий вектор стовпець:

$$\vec{V}_0 = \vec{V}_{\phi_1} + \vec{V}_{\phi_2} + \dots + \vec{V}_{\phi_n}$$

В векторі  $\vec{V}_0$  визначаємо номери елементів, які дорівнюють нулю, наприклад, десятій. За визначеним номером знаходимо функціональний оператор, що не має нащадків і відповідно утворює нульовий ярус, в даному випадку  $\Phi_{10}$ . Далі за формулою обчислюємо:

$$\vec{V}_1 = \vec{V}_0 - \vec{V}_{\phi_{10}}$$

У векторі  $\vec{V}_1$  знаходимо номери нульових елементів, за якими визначаємо функціональні оператори, що утворюють перший ярус. Аналогічно обчислюємо наступні вектори та визначаємо функціональні оператори, що утворюють наступні яруси.

Для переходу від алгоритму розв'язання задачі до структури СКС реального часу необхідно розробити узгоджений ПГ [4]. Процес розробки узгодженого ПГ виконується за два етапи:

- укрупнення функціональних операторів;
- планування обчислень.

Розроблений ПГ дозволяє оцінити обчислювальну здатність  $D_k$  проектованої СКС. Вихідними даними для визначення обчислювальної здатності  $D_k$  є  $m_m$  - кількість каналів надходження даних,  $n_m$  - розрядність каналів даних, складність функціональних операторів  $\Phi_i$ , особливості і швидкодія елементної бази. Використовувана елементна база і її швидкодія є визначальними для оцінки такту роботи  $T_k$  апаратних засобів СКС. Для оцінки узгодженості інтенсивності надходження даних  $P_d$  із обчислювальною здатністю  $D_{СКС}$  вводиться коефіцієнт узгодженості, який визначається так:

$$R = \frac{D_{СКС}}{P_d}$$

Узгодження обчислювальної здатності  $D_{СКС}$  апаратних засобів СКС із інтенсивністю надходження даних  $P_d$  досягається шляхом зміни тривалості такту  $T_k$  або кількості  $m_m$  і розрядності  $n_m$  каналів надходження даних у потоковому графі. При розробці узгодженого ПГ алгоритму для реалізації СКС з високою ефективністю використання обладнання не-

обхідно у першу чергу максимального використати особливості та швидкодію елементної бази, тобто визначити складність функціональних операторів  $\Phi_i$  і мінімізувати тривалість такту  $T_k$ . У другу чергу, змінювати кількість  $m_m$  і розрядність  $n_m$  каналів у ПГ, що напряму зв'язано з використовуваною елементною базою. Зміна параметрів ПГ алгоритму має забезпечити узгодження обчислювальної здатності  $D_{CKC}$  апаратних засобів СКС із інтенсивністю надходження даних  $P_d$ .

У випадку коли  $R=1$ , то розроблений узгоджений ПГ забезпечує отримання узгоджено-паралельної структури СКС реального часу з високою ефективністю використання обладнання.

Якщо  $R<1$ , то для забезпечення обробки потоків даних у реальному часі необхідне збільшення обчислювальної здатності  $D_{CKC}$ , яке може бути досягнуте збільшенням кількості каналів  $m_m$ , їх розрядності  $n_m$  або зменшенням такту конвеєра  $T_k$ , що досягається зменшенням складності функціональних операторів  $\Phi_i$ . У випадку коли зміною перерахованих параметрів не вдається досягнути необхідної обчислювальної здатності  $D_{CKC}$ , то тоді використовується паралельне включення алгоритмічних апаратних засобів, кількість яких визначається виразом:

$$h = \lceil 1/R \rceil$$

де  $\lceil \rceil$  - знак округлення до більшого цілого.

У випадку коли  $R>1$ , то для забезпечення високої ефективності використання обладнання необхідно переходити до третього етапу розробки – укрупнення функціональних операторів  $\Phi_{jk}$ . На цьому етапі здійснюється об'єднання функціональних операторів  $\Phi_{jk}$  і каналів передачі даних у ярусах потокового графа, або об'єднання функціональних операторів сусідніх ярусів. Граф алгоритму, який отримуємо у результаті такого об'єднання будемо називати узгодженим потоковим графом. Коефіцієнт об'єднання  $v$  визначається так:

$$v \leq \lfloor D_{CKC}/P_d \rfloor$$

де  $\lfloor \rfloor$  - знак округлення до меншого цілого.

При об'єднанні функціональних операторів  $v$  сусідніх ярусів утворюється один ярус функціональних макрооператорів, у якому за  $v$  ітерацій виконується обчислення таких функціональних макрооператорів  $V$ . Обчислення у середині ярусу здійснюється із тактом  $T_k$ , який визначається складність функціональних операторів  $\Phi_{jk}$  а між ярусами з макротактом  $T_{mk} = vT_k$ . Об'єднання функціональних операторів сусідніх ярусів приводить до зменшення у  $v$  разів кількості ярусів. Таке об'єднання доцільно здійснювати коли яруси ПГ є однотипними. Інше укрупнення здійснюють шляхом об'єднання функціональних операторів і каналів передачі даних у межах ярусу. Для випадку коли  $v \geq L$  укрупнення здійснюють шляхом лінійної проекції, при якій всі функціональні оператори ярусу ПГ відображаються у один функціональний макрооператор, а канали передачі даних – у оператор затримки та перестановки даних. Для забезпечення узгодженості може використовуватися комбіноване укрупнення, яке передбачає об'єднання функціональних операторів і каналів передачі даних як у середині ярусу, так і між ярусами.

Структура узгодженого потокового графу алгоритму відображається орієнтованим графом  $G = \langle V, E, D(E) \rangle$ , де  $V$  - функціональні макрооператори ярусу;  $E$  – орієнтовані дуги, які моделюють зв'язки між функціональними макрооператорами. Кожна дуга  $e \in E$  зв'язує вихід одного функціонального макрооператора з входом другого та володіє вагою, рівною значенню затримки  $D(e)$  [2].

Етап укрупнення тісно пов'язаний з етапом планування, на якому після об'єднання функціональних операторів для збереження інформації про структуру потокового графу алгоритму здійснюється планування обчислень, визначаються величини затримок і перестановки даних. Для відтворення обчислень у кожний ярус узгодженого графа вводяться оператори управління затримки та перестановки даних [7,8].

При апаратному відображенні узгодженого ПГ алгоритму кожному функціональному макрооператору  $V$  ставляться у відповідність багатофункціональні операційні пристрої,



які забезпечують виконання операцій ярусу, операторам затримки - буферна паралельна пам'ять, яка може забезпечити необхідну затримку та перестановку даних, а операторам управління - пристрої керування, які керують багатofункціональними операційними пристроями і буферною пам'яттю.

Процес розробки узгодженого потокового графа алгоритму є ітераційним, він тісно пов'язаний з покращенням характеристик алгоритму.

#### **Висновки**

1. Для вибору апаратних засобів для СКС реального часу доцільно використовувати критерій ефективності використання обладнання, який враховує кількість виводів інтерфейсу, однорідність структури, кількість і локальність зв'язків, зв'язує продуктивність з витратами обладнання та дає оцінку елементам системи за продуктивністю.

2. Основними шляхами підвищення ефективності використання обладнання в СКС реального часу є: вибір ефективних методів і алгоритмів розв'язання задач; зменшення розрядності операційних пристроїв, ємності пам'яті, кількості і розрядності каналів передачі даних; узгодження інтенсивності надходження даних із обчислювальною здатністю апаратних засобів на всіх рівнях.

3. Визначено, що узгодження інтенсивності надходження даних із обчислювальною здатністю СКС реального часу може здійснюватися шляхом зміни тривалості конвеєрного такту, кількості і розрядності каналів надходження даних.

4. Основними етапами синтезу СКС реального часу є: вибір та розробка методів і алгоритмів узгоджено-паралельної обробки; визначення основних характеристик апаратних засобів; перехід від алгоритму до узгодженої-паралельної структури СКС.

5. Для переходу від алгоритму до структури апаратних засобів СКС реального часу використовується узгоджений потоковий граф, основними етапами формування якого є: декомпозиція алгоритму розв'язання задачі; проектування комунікацій (обмін даними) між функціональними операторами; укрупнення функціональних операторів; планування обчислень.

#### **ЛІТЕРАТУРА**

1. Каневский Ю.С. Системные процессоры. – К: Техника, 1991, -173с.
2. Кун С. Матричные процессоры на СБИС. М: Мир, 1991, -672 с.
3. Цмоць І.Г. Інформаційні технології та спеціалізовані засоби обробки сигналів і зображень у реальному часі. – Львів: УАД, 2005.- 227с.
4. Цмоць І.Г., Я.П. Кісь, В.Р. Іванців. Принципи розробки та оцінка основних характеристик комп'ютерних систем реального часу. Науково-технічний журнал "Технічні вісті"1/10,2/11. 2008. с.46-49.
5. Параллельная обработка информации: в 5т./ АН УССР. Физ-мех. ин-т. – Киев: Наукова думка, 1984. – т5: Проблемно-ориентированные и специализированные средства обработки информации / А.И. Аксенов, В.В. Аристов, Е.Ю. Барзилович и др.; Под ред. Б.Н. Малиновского и Грицика В. В. – 1990. – 504с.
6. Грушицкий Р.И., Мурсаев А.Х., Угрюмов Е.П. Проектирование систем на микросхемах программируемой логики. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608с.
7. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 608с.
8. Немнюгин С.А., Стесик О.Л. Параллельное программирование для многопроцессорных систем. – СПб.: БХВ – Петербург, 2002. – 400с.
9. Касьянов В.Н., Евстигнеев В.А. Графы в программировании: обработка, визуализация и применение. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 1104с.

## ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ ОБ'ЄКТАМИ ТА СИСТЕМАМИ

УДК 621.398

### АЛГОРИТМ СИНТЕЗУ СИСТЕМ ЗІ ЗМІННОЮ СТРУКТУРОЮ У КОВЗНОМУ РЕЖИМІ

Писаренко А.В., Дробот І.Ю.

У сучасній техніці безперервно збільшується кількість задач, для яких доцільно або необхідно використовувати принципи управління об'єктами, що в ході свого функціонування змінюють свою структуру або параметри. До таких принципів належать теорія адаптивних систем, теорія робастних систем, тощо.

Дотепер розроблено багато способів побудови адаптивних систем зі змінною структурою та їм присвячено багато публікацій, в числі яких роботи Б.Н. Петрова, В.І. Костюка, В.К. Фомина, О.А. Красовського та ін. Використання змінних структур розглянуто Ємельяновим В.С.

У даній статті досліджується алгоритм управління об'єктом зі змінними параметрами у ковзному режимі та вплив деяких параметрів під час синтезу на якість системи.

Розглянемо лінійний об'єкт, що описується у просторі станів:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}}(t) &= \mathbf{A}(t)\mathbf{X}(t) + \mathbf{B}u(t), \\ y(t) &= \mathbf{C}\mathbf{X}(t); \end{aligned} \quad (1)$$

де  $\mathbf{X}(t)$ - вектор змінних стану об'єкту,  $\mathbf{A}(t)$  - матриця об'єкту, деякі елементи якої змінюються з часом.

Зауваження: розглядаючи зміну елементів матриці  $\mathbf{A}(t)$  об'єкту ми маємо на увазі не тільки систему зі змінними параметрами, але й структурою, у сенсі того, що різні об'єкти одного і того ж порядку описуються матрицями однієї розмірності і особливості функціонування таких об'єктів визначаються лише комбінацією елементів матриць при векторно-матричному описі.

Ціль управління  $\lim_{t \rightarrow \infty} \mathbf{X}(t) = 0$  та необхідно забезпечити ковзний режим за площиною  $\sigma(\mathbf{X}) = \Theta^T \mathbf{X} = 0$ .

Управління згідно алгоритму швидкісного градієнту обираємо у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} u &= -\gamma \operatorname{sign} \{ \Theta^T \mathbf{B} \sigma(\mathbf{X}) \}, \\ \gamma &= \gamma_0 |\mathbf{X}|, \\ \gamma_0 &\geq \sup_{a_{ij}} \left\| \left( \Theta^T \mathbf{B} \right)^{-1} \Theta^T \mathbf{A} + \Theta^T \right\| / \rho, \end{aligned} \quad (2)$$

де  $\|\mathbf{X}\| = \sqrt{\sum_{i=1}^n x_i^2}$  - евклідова норма вектору  $\mathbf{X} \in R^n$ ,  $\sup \|\cdot\|$  - супремум норми.

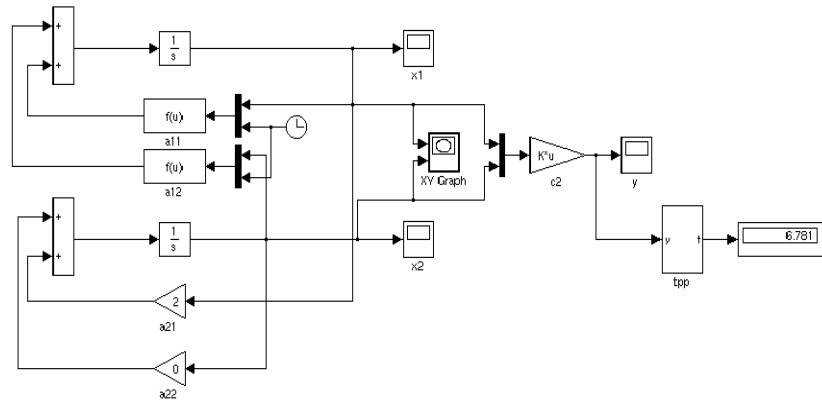
Розглянемо застосування викладеного методу до об'єкту другого порядку, що описується наступними рівняннями стану:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + b_{11}u, \\ \dot{x}_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + b_{21}u, \\ y = c_1x_1 + c_2x_2, \end{cases} \quad (3)$$

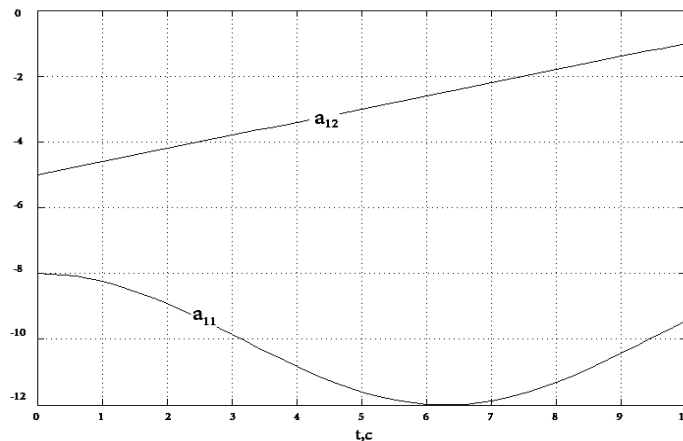
де  $a_{11} \in [-12; -8]$ ,  $a_{12} \in [-5; -1]$ ,  $a_{21} = 2$ ,  $a_{22} = 0$ ,  $b_1 = 4$ ,  $b_2 = 0$ ,  $c_1 = 0$ ,  $c_2 = 6.25$ .

Початкові умови:  $x_1(0) = 1$ ,  $x_2(0) = 2$ .

Побудуємо модель об'єкту у *MATLAB/Simulink*, яка представлена на рис. 1а. Закони зміни коефіцієнтів  $a_{11}$  та  $a_{12}$  представлені на рис. 1б.



а)



б)

Рис. 1. Модель об'єкту зі змінною структурою

Модель, зображена на рис.1а, імітує зміну двох елементів матриці  $\mathbf{A}(t)$  об'єкту з часом. Також модель дозволяє розраховувати час перехідного процесу  $t_{pp} = 6.78c$  та будувє фазовий портрет.

Графіки змінних стану представлені на рис. 2а. Фазовий портрет зображений на рис. 2б.

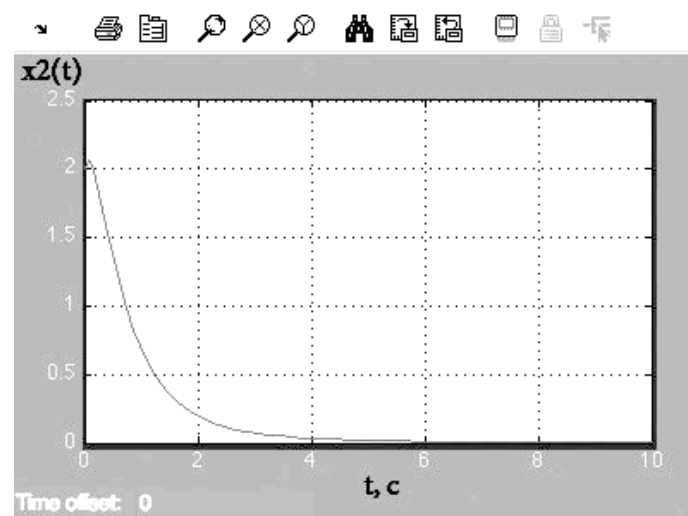
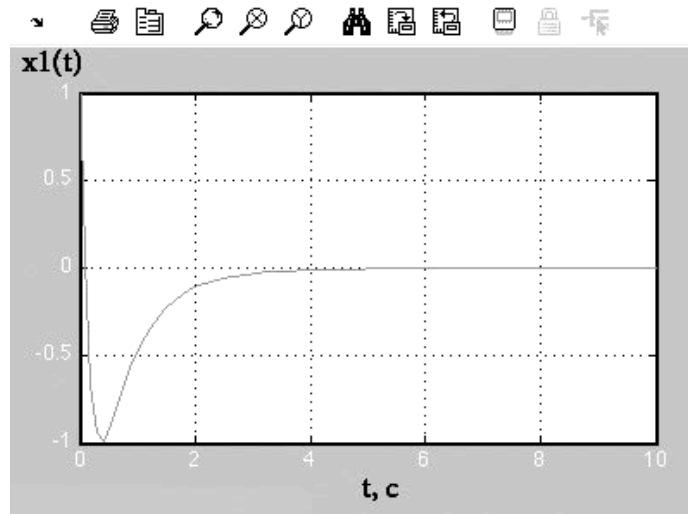
Виконаємо синтез управління для обраної системи, що ґрунтується на алгоритмі швидкісного градієнту та гарантує ковзний режим.

Обираємо вигляд поверхні ковзання (для системи другого порядку - прямої) у вигляді

$$\sigma(\mathbf{X}) = \Theta^T \mathbf{X} = 0, \Theta = \begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix},$$

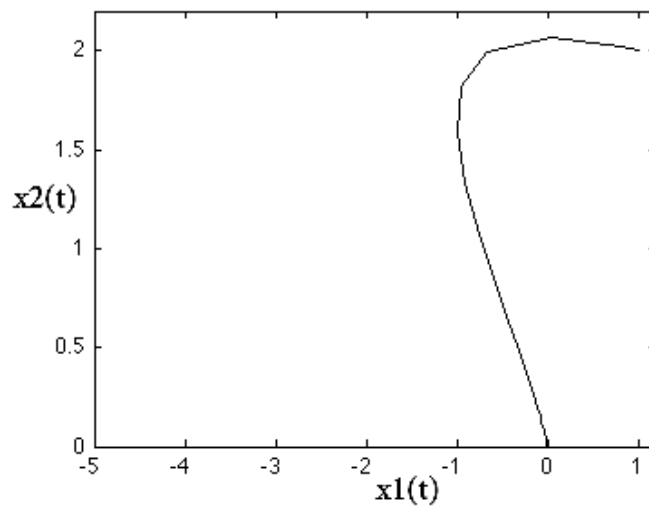
$$\sigma(\mathbf{X}) = \begin{bmatrix} \theta \\ 1 \end{bmatrix}^T \cdot \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} = \theta x_1 + x_2 = 0, \quad (4)$$

$$x_2 = -\theta x_1.$$



a)

X Y Plot



б)

Рис. 2. Процеси, що протікають у системі

Тоді у ковзному режимі  $\sigma(\mathbf{X}) = 0$  система (3) буде описуватися рівняннями

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = (a_{11} - \theta a_{12}) x_1, \\ x_2 = -\theta x_1. \end{cases} \quad (5)$$

Виберемо значення параметру  $\theta$  з рівняння

$$a_{11} - \theta a_{12} = -\rho. \tag{6}$$

При цьому роз'язок системи (5) має вигляд

$$\begin{aligned} x_1(t) &= x_1(0)e^{-\rho t}, \\ x_2(t) &= -\theta x_1(0)e^{-\rho t}. \end{aligned} \tag{7}$$

Видно, що при  $\rho > 0$  система (7) експоненційно стійка та швидкість сходимості (якість системи) забезпечується вибором значень  $\rho$ .

Слід зазначити, що при виборі  $\theta$  з рівняння (6) треба розраховувати на найгірший варіант значень  $a_{11}$  та  $a_{12}$ , що означає виконання умови

$$\begin{aligned} a_{11} - \theta a_{12} &\leq -\rho, \forall a_{11}, a_{12} \Rightarrow \\ \theta &\geq \frac{a_{11} + \rho}{a_{12}}. \end{aligned} \tag{8}$$

Оберемо  $\rho = 1$  та знайдемо значення  $\theta$ , використовуючи (8) для граничних значень  $a_{11}$  та  $a_{12}$ .

Таблиця 1

Визначення параметру  $\theta$

$a_{11}$	$a_{12}$	$\theta$
-12	-5	$\geq 2,2$
-12	-1	$\geq 11$
-8	-5	$\geq 1,4$
-8	-1	$\geq 7$

Обираємо  $\theta \geq 11 = 12$ . Тоді пряма ковзання буде мати рівняння  $\sigma(\mathbf{X}) = 12x_1 + x_2 = 0 \Rightarrow x_2 = -12x_1$ .

Розрахуємо управління в системі за допомогою (2).

$$\begin{aligned} u &= -\gamma \text{sign} \{ \Theta^T \mathbf{B} \sigma(\mathbf{X}) \} = -\gamma \text{sign} \left\{ \begin{bmatrix} 12 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 4 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot (12x_1 + x_2) \right\} = \\ &= -\gamma \text{sign} \{ 576x_1 + 48x_2 \}. \\ \gamma &= \gamma_0 (|x_1| + |x_2|). \end{aligned}$$

Щоб визначити значення  $\gamma_0$  згідно формули (2) так само як і викладено вище для визначення  $\theta$  розглянемо граничні значення  $a_{11}$  та  $a_{12}$ .

Таблиця 2

Визначення параметру  $\gamma_0$

$a_{11}$	$a_{12}$	$\gamma_0$
-12	-5	$\geq 9,09$
-12	-1	$\geq 9$
-8	-5	$\geq 10,08$
-8	-1	$\geq 10$

Оберемо  $\gamma_0 = 11$ . Тоді остаточно запишемо закон управління у явному вигляді:

$$u = -11 (|x_1| + |x_2|) \text{sign} \{ 576x_1 + 48x_2 \}. \tag{9}$$

Схема моделі, що реалізує розраховане управління зображена на рис. 3.

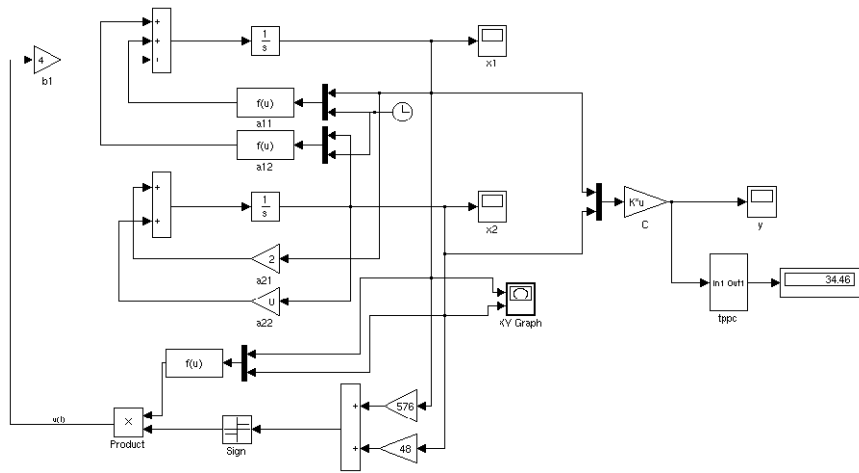


Рис. 3 Схема моделі, що реалізує закон управління (9)

Графіки зміни  $x_1(t)$  та  $x_2(t)$  зображені на рис. 4а. Фазовий портрет – на рис. 4б.

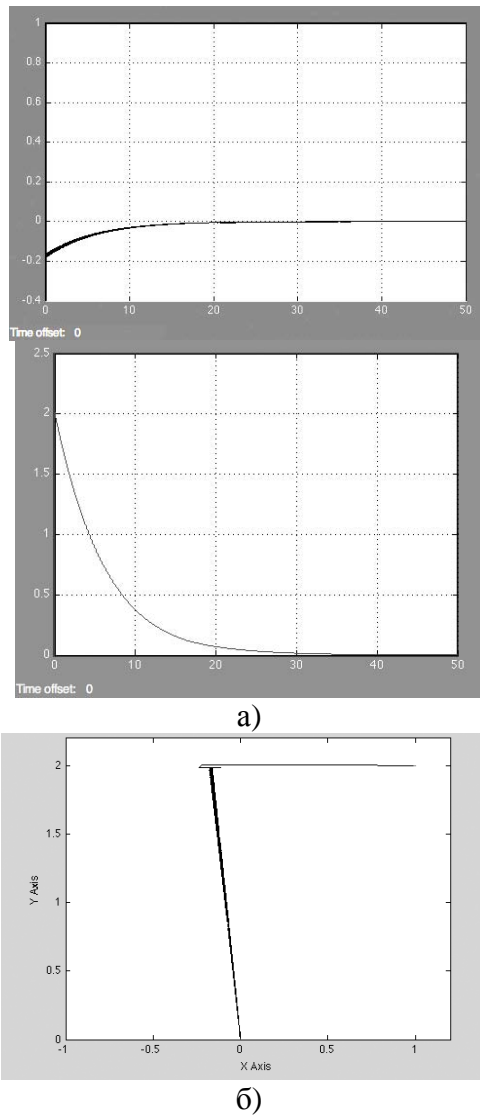


Рис. 4. Процеси, що протікають у системі

Як видно з наведених процесів на рис. 4 система знаходиться у ковзному режимі вздовж розрахованої прямої  $x_2 = -12x_1$ , але вибір значення  $\rho = 1$  дає час перехідного процесу  $t_{pp} = 34.46c$ , що є незадовільним, бо навіть більший за час перехідного процесу у вихідній системі.

Виконаємо синтез для різних значень параметру  $\rho$ . Результати зведемо у таблицю 3.

Таблиця 3

Дослідження впливу параметру  $\rho$  на якість перехідного процесу

$\rho$	$t_{pp}, c$	Фазовий портрет
1	34,46	
3	25,34	
10	6,299	
15	3,72	
50	$\infty$ не стійка	

Як видно з таблиці 3 для системи існує найбільш оптимальне з точки зору швидкості перехідного процесу значення параметру  $\rho$ , яке дозволяє отримати робастну систему управління для об'єкту зі змінною структурою.

Таким чином було експериментально підтверджено працездатність описаного методу та показано, як вибір параметру  $\rho$  впливає на якість системи.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учеб. для вузов/ Под ред. Н.Д. Егупова. – 2 изд. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 743 с.

## ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ КОНТАКТНОЇ МЕМБРАННОЇ ДИСТИЛЯЦІЇ

Ладієва Л.Р., Дубік Р.М.

### Вступ

Задачі отримання чистої і високоякісної води з вод різної солоності, очистка стічних вод, концентрування солей з промивних вод можуть вирішуватись за допомогою перспективного методу контактної мембранної дистиляції (КМД). Ефективність процесу значно зростає при оптимізації цього процесу. При оптимальному керуванні процесом основні проблеми пов'язані з вибором критерію оптимальності і методу розв'язку задачі.

Запропоновано побудову оптимального лінійного закону керування як задачі багатокритеріальної оптимізації з використанням методу досягнення цілі (досягнення цілі Гембіки). І порівняно результати такого підходу з відомими способами: лінійно квадратичною оптимізацією і з розміщенням полюсів замкненої системи.

В статті розглянуто процес розділення розчинів, де основним елементом є порувата гідрофобна мембрана, що представляє собою селективний бар'єр, через який проходять пари розчинника. В одному каналі мембрани рухається більш нагрітий розчин, в іншому каналі рухається більш холодний дистилят з чистого розчинника. Завдяки різниці парціальних тисків насиченої пари розчинника з боку гарячого розчину випаровується пара, яка дифундує через пори мембрани і конденсується на мембрані з боку холодного розчину.

Для цілей керування розроблена математична модель процесу КМД (1), що враховує переніс тепла крізь полімерну структуру мембрани та з потоком пари розчинника [1], що включає в себе рівняння динаміки для каналів розчину і дистиляту, і рівняння матеріального балансу для цільового продукту. Дифузійний масо переніс через мембрану розглядається для перехідного режиму течії.

$$\frac{d}{dt} X = A(X - X^{30}) + B(U - U^{30}), \quad (1)$$

$$\text{де } X = \begin{bmatrix} \theta_{PK} \\ \theta_{DK} \\ b_{PK} \end{bmatrix}; U = \begin{bmatrix} u_P \\ u_D \\ \theta_{PH} \\ \theta_{DH} \end{bmatrix};$$

$u_P, u_D$  - швидкість подачі розчину і дистиляту  $m/c$ ;  $\theta_{PH}, \theta_{DH}$  - температура розчину солі і дистиляту на вході в мембранний модуль (ММ),  $K$ ;  $\theta_{PK}, \theta_{DK}$  - температура розчину і дистиляту на виході з ММ,  $K$ ;  $b_{PH}, b_{PK}$  - відповідно початкова і кінцева концентрація солі,  $кг/кг$ ;

$$A = \begin{bmatrix} -6,6734 \cdot 10^{-1} & 8,3506 \cdot 10^{-4} & 0 \\ 7,0546 \cdot 10^{-4} & -6,7995 \cdot 10^{-1} & 0 \\ 2,3521 \cdot 10^{-8} & 0 & -6,6659 \cdot 10^{-1} \end{bmatrix};$$

$$B = \begin{bmatrix} 2,4279 \cdot 10^{-1} & 0 & 6,6589 & 0 \\ 0 & 2,2389 \cdot 10^{-1} & 0 & 6,7955 \cdot 10^{-1} \\ 4,4447 \cdot 10^{-1} & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix};$$



$$\text{початкові умови: } X|_{t=0} = \begin{bmatrix} \theta_{PH} \\ \theta_{DH} \\ b_{PH} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 74 \\ 20 \\ 0,1 \end{bmatrix};$$

каналом керування було обрано "швидкість подачі розчину – перепад температур на виході мембранного модуля", тобто  $(U - U^{zd})^T = [u_p - u_p^{zd} \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T$ .

Для оптимального керування був обраний оптимальний лінійний регулятор з квадратичним показником якості

$$J = \min \int_0^{\infty} \left( (X - X^{zd})^T Q (X - X^{zd}) + (u_p - u_p^{zd})^2 r \right) dt, \quad (2)$$

де  $Q$  – матриця вагових коефіцієнтів,  $r$  – ваговий коефіцієнт.

Оптимальне керування обчислювалося у вигляді

$$u_p - u_p^{zd} = -K(X - X^{zd}), \quad (3)$$

де  $K$  – оптимальна матрична ланка зворотного зв'язку

$$K = r^{-1} B^T P = [9,5741 \cdot 10^{-7} \quad 1,0854 \cdot 10^{-9} \quad 1,7547 \cdot 10^{-6}], \quad (4)$$

а  $P$  знаходилась з розв'язку матричного нелінійного рівняння Рікатті

$$\begin{aligned} A^T P + PA - P B r^{-1} B^T P + Q &= 0 \Rightarrow \\ \Rightarrow P &= \begin{bmatrix} 1,4985 \cdot 10^{-4} & 1,6989 \cdot 10^{-7} & -4,5213 \cdot 10^{-11} \\ 1,6989 \cdot 10^{-7} & 1,4707 \cdot 10^{-4} & -8,1762 \cdot 10^{-14} \\ -4,5213 \cdot 10^{-11} & -8,1762 \cdot 10^{-14} & 1,5002 \cdot 10^{-4} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

Також розраховувались власні значення  $E$  замкненої системи

$$E = [-6,7999 \cdot 10^{-1} \quad -6,6729 \cdot 10^{-1} \quad -6,6659 \cdot 10^{-1}]^T \quad (6)$$

Для порівняння отриманих результатів використано метод, що базується на розміщенні полюсів за допомогою зворотного зв'язку за станом. Відповідний метод базується на використанні зворотного зв'язку по всім змінним стану. При цьому корені характеристичного рівняння (7) розміщуються так, щоб перехідний процес системи задовольняв висунутим вимогам.

$$\det(pI - A + BK) = \prod_{i=1}^3 (p - p_i), \quad (7)$$

де  $p_i = [-6,7999 \cdot 10^{-1} \quad -6,6729 \cdot 10^{-1} \quad -6,6659 \cdot 10^{-1}]^T$  – задані значення полюсів системи замкнено системи  $(A - BK)$ , що були отримані з попереднього способу.

Оптимальне керування має вигляд (3), а матричний коефіцієнт підсилення, має вигляд

$$K = [k_1 \quad k_2 \quad k_3] = [9,5741 \cdot 10^{-7} \quad 1,0854 \cdot 10^{-9} \quad 1,7547 \cdot 10^{-6}], \quad (8)$$

тоді

$$\frac{d}{dt} X = A(X - X^{zd}) + B(u_p^{zd} - K(X - X^{zd})) \equiv (A - BK)(X - X^{zd}) + B u_p^{zd}. \quad (9)$$

Третій спосіб – це метод досягнення цілі (досягнення цілі Гембіки), що відноситься до методів багатокритеріальної оптимізації [2].

Наведемо загальну постановку задачі. Дана постановка включає вираз для декілька намірів  $E^* = \{E_1^*, E_2^*, E_3^*\}$ , який пов'язаний з декількома цілями  $E(K) = \{E_1(K), E_2(K), E_3(K)\}$  тобто з власними значеннями замкненої системи. Таке формулювання задачі допускає, що мета може бути або недо - або передосягнутою, і що дає можливість відносно точно вира-

зити початкові наміри. Відносний ступінь недо - або передосягненості поставлених намірів контролюється за допомогою вектора зважених коефіцієнтів  $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \omega_3\}$  і представлений як стандартна задача оптимізації за допомогою наступного формулювання

$$\min_{\gamma \in \mathbb{R}, K \in \Omega} \gamma \tag{10}$$

за умови, що

$$E_i(K) - \omega_i \gamma \leq E_i^* \quad i = 1, \dots, 3.$$

Член  $\omega_i \gamma$  вносить в дану задачу елемент послаблення, що, інакше кажучи, позначає жорсткість заданого наміру. Ваговий вектор  $\Omega$  дає можливість достатньо точно виразити міру взаємозв'язку між двома цілями. Наприклад, установка вагового вектора  $\Omega$  як рівного початковому наміру указує на те, що досягнутий той же самий відсоток недо - або передосягнення цілі  $E^*$ . За допомогою установки в нуль окремого вагового коефіцієнта (тобто  $\Omega_i = 0$ ) можна внести жорсткі обмеження в поставлену задачу. Метод досягнення цілі має певні переваги, а саме, на нього може бути накладена задача нелінійного програмування.. В задачі програмування досягнення цілі знайдена більш відповідна функція цілі, яка отримана шляхом накладення рівняння (11) на задачу мінімакса

$$\min_{K \in \mathbb{R}^n} \max_i \{\Lambda_i\}, \tag{11}$$

де

$$\Lambda_i = \frac{E_i(K) - E_i^*}{\omega_i} \quad i = 1, \dots, 3$$

Враховуючи висновки Брайтона [2] для мінімаксної оптимізації на основі методу квадратичного програмування, для задачі досягнення цілі згідно рівнянню (12) приводить до наступної постановки задачі

$$\psi(K, \gamma) = \gamma + \sum_{i=1}^m r_i \max\{0, E_i(K) - \omega_i \gamma - E_i^*\} \tag{12}$$

Хоча функція цілі згідно рівнянню (11) використовується як основа процедури лінійного пошуку, то, хоча  $\Psi(K, \gamma)$  може і зменшуватися для якогось кроку в заданому напрямі пошуку, максимум функції  $\Lambda_i$  може, як це не парадоксально, збільшуватися. Це знаходиться у згоді з погіршенням найсприятливішої цілі. Оскільки найнесприятливіша ціль також є частиною значення цільової функції  $\gamma$ , то в даному випадку допускається якийсь крок, який, збільшує цільову функцію, що підлягає мінімізації. І навпаки величина  $\psi(K, \gamma)$  може зростати при зменшенні максимуму  $\Lambda_i$  тим самим, маючи на увазі якесь відкидання кроку, що приводить до покращення найсприятливішої цілі.

Унаслідок швидкої збіжності методу послідовно квадратичного програмування, вимога, що б функція цілі строго зменшувалася, іноді приводить до більшого числа розрахунків функції при упродовженні методу послідовно квадратичного програмування з використанням функції цілі.

Більш конкретизуємо постановку задачі для даного прикладу. Система описується рівняннями (8). Задані значення полюсів системи з замкненим контуром визначаються з матриць  $A$ ,  $B$  та  $K$  тобто, цільова функція  $E(K)$  задається як власні значення  $(A - BK)$ . Бажані значення полюсів системи з замкненим контуром повинні бути на дійсній вісі комплексної півплощини  $E(K^*)$ ,  $K^*$  - оптимальний матричний коефіцієнт підсилення. Причому, жоден з елементів матриці  $K$  не може перевищувати  $K_u = [1 \ 1 \ 1]$  або бути менше ніж  $K_l = -[1 \ 1 \ 1]$ .

Після трьох ітерацій отримано: оптимальний матричний коефіцієнт підсилення  $K = [-6,5687 \cdot 10^{-7} \ 1,8706 \cdot 10^{-8} \ -1,9189 \cdot 10^{-6}]$ ; максимальне порушення обмеження  $1,096 \cdot 10^{-7}$ ; коефіцієнт досягнення  $1,3476 \cdot 10^{-20}$  указує, що ціль точно була досягнута.

Для забезпечення однакової частки для пере- або не досягнення в активній цілі в даному розв'язку вагова матриця  $\Omega$  задається як абсолютні значення  $E(K)$ .

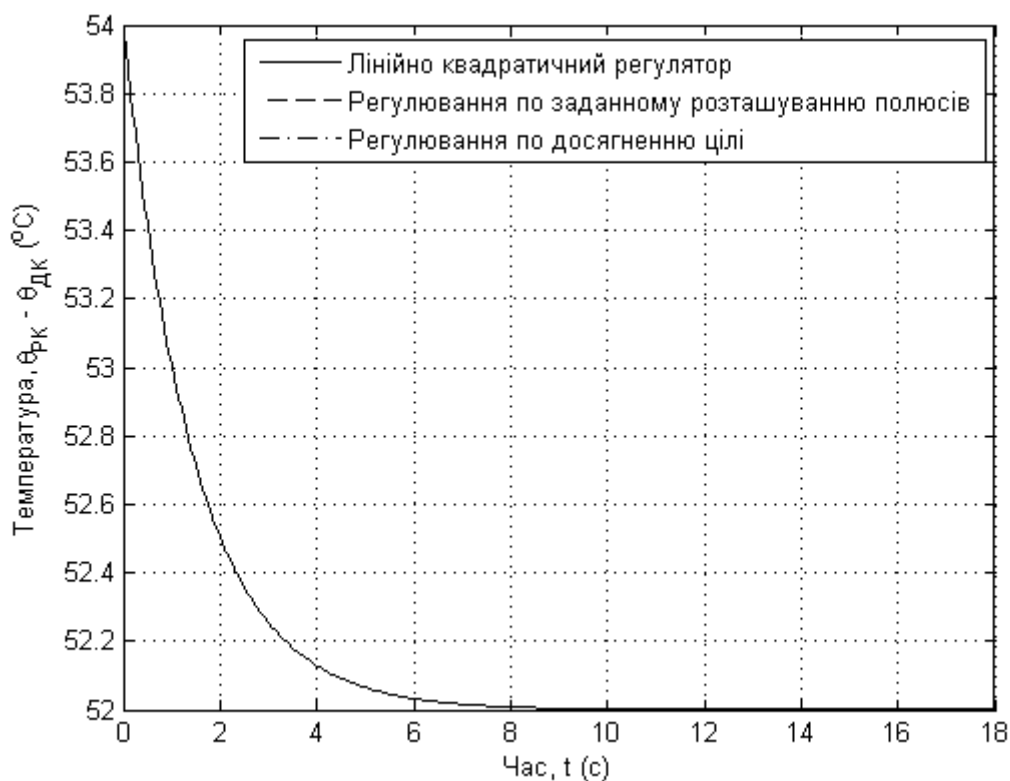


Рис. 1. Перехідні процеси «Швидкість подачі розчину – перепад температур на виході мембранного модуля»

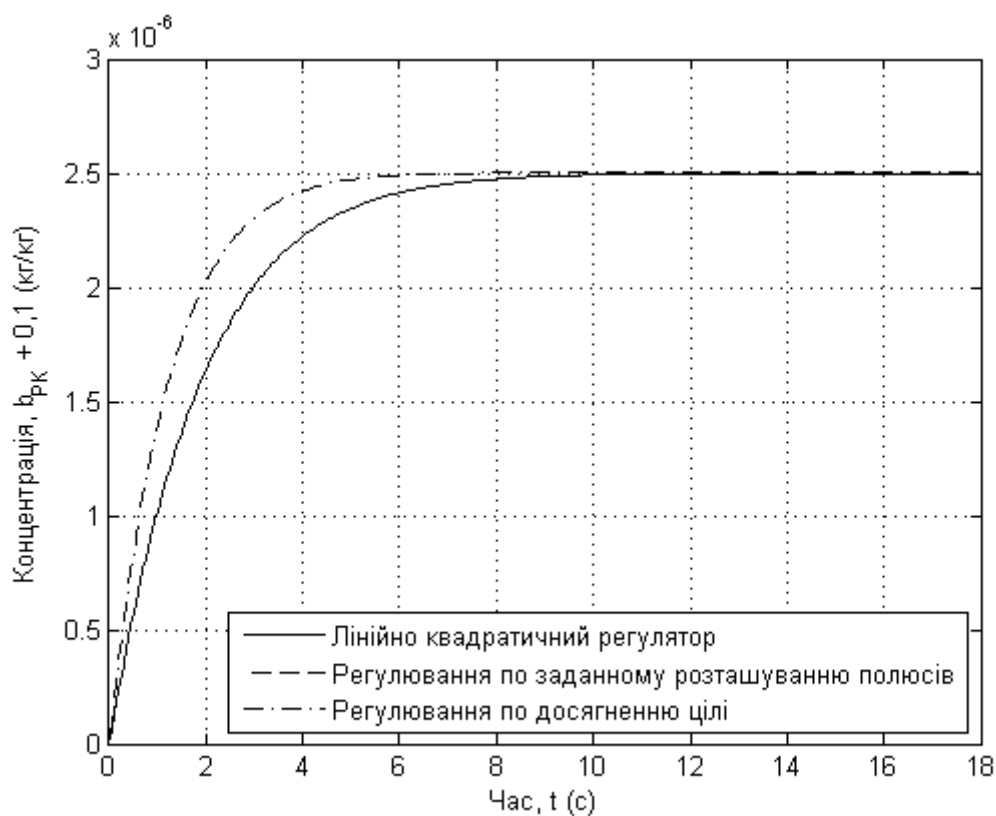


Рис. 2. Перехідні процеси «Швидкість подачі розчину – концентрація розчину солі»

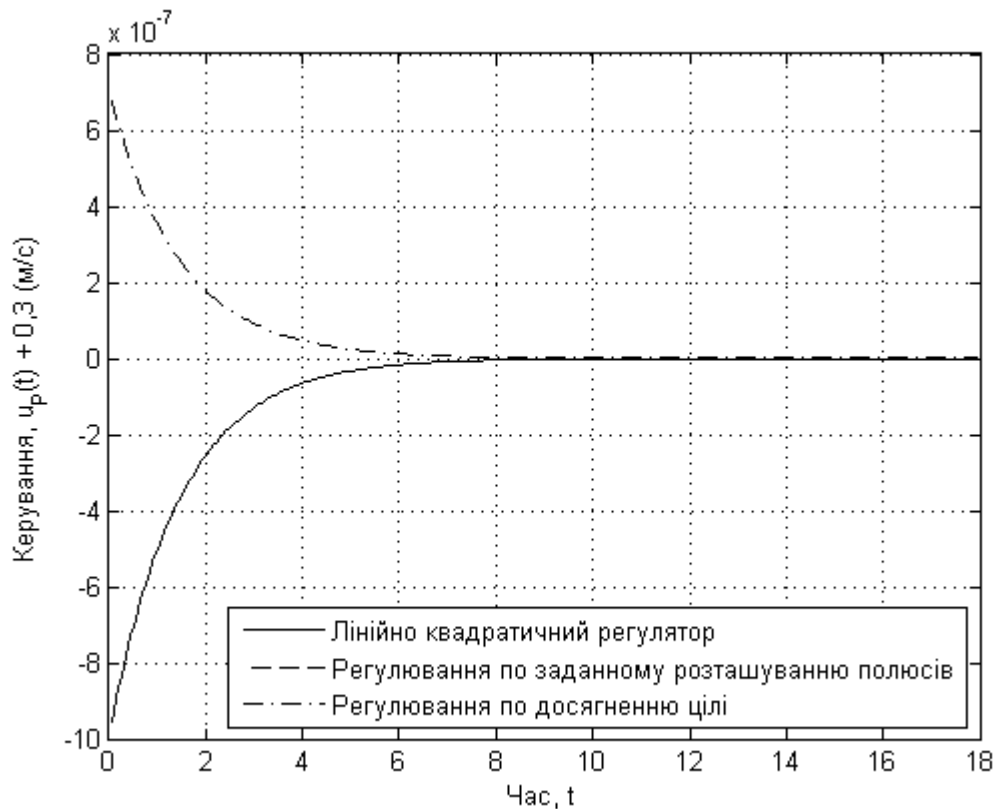


Рис. 3. Оптимальні керування

### Висновки

Перехідні процеси системи керування за каналами  $u_p \rightarrow (\theta_{PK} - \theta_{DK})$  і  $u_p \rightarrow b_{PK}$  отримані розглянутими способами і представлені на рис. 1, 2 відповідно. Як видно з графіків якість перехідного процесу з використанням методу досягнення цілі краща у порівнянні з іншими методами. На рис. 3 показані траєкторії оптимального керування розрахована різними способами. На основі отриманих результатів можна зробити висновок, що для синтезу закону керування процесом КМД можна використовувати метод досягнення цілі.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Дубік Р.М. Математична модель розділення неоднорідних рідких систем. / Р.М.Дубік, Л.Р. Ладієва // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. -2009. - №1(23). - с. 49-54.
2. Жученко А.І. Нелінійне програмування з використанням MATLAB. / А.І. Жученко, Л.Р. Ладієва, Р.М. Дубік // НТУУ «КПІ». -2008. -с. 50-56.

## ЕКСТРЕМАЛЬНА АДАПТИВНА СИСТЕМА З НЕПАРАМЕТРИЧНОЮ ІДЕНТИФІКАЦІЄЮ ТА БАГАТОПАРАМЕТРИЧНИМ РЕГУЛЯТОРОМ

Ладанюк А.П., Кроніковський Д.О.

### Вступ

Досить багато об'єктів керування функціонують в екстремальних режимах, тобто в режимах досягнення  $\max(\min)$  бажаного показника  $Q(t)$ . Як приклад можна навести котлоагрегати, печі, двигуни внутрішнього згорання та ін. Завдання керування – це дотримання системою критичної точки  $(u^*, Q^*)$  рис.1, де  $u^*$ -це оптимальна дія управління, за якої керований показник  $Q$  досягає свого екстремального значення  $Q^*$ .

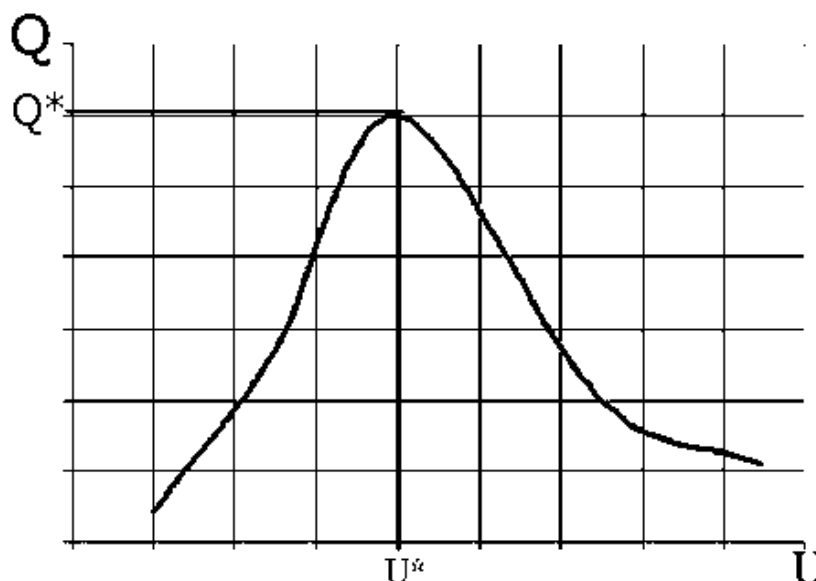


Рис. 1. Екстремальна статична характеристика

Для динамічних об'єктів робоча точка змінює своє положення з часом, що зумовлює складність керування такими об'єктами та вимагає створення адаптивної системи, яка б реагувала на деформацію та дрейф статичних характеристик об'єкта.

Алгоритм роботи більшості відомих регуляторів з автоматичним настроюванням або адаптацією [ 1.. .4] складається з наступних етапів:

- ідентифікація параметрів моделі об'єкта керування;
- розрахунок коефіцієнтів регулятора;
- уведення коефіцієнтів у регулятор і запуск його функціонування.

Розрахунок коефіцієнтів виконується за формулами, які отримані аналітично. Аналітичні методи використовуються тричі:

- для опису моделі;
- для її ідентифікації;
- для розрахунку параметрів регулятора за рівняннями моделі.

Оскільки аналітичні рішення існують тільки для простих задач, такий підхід вимагає множини припущень, що спрощують модель та зменшують точність (про відсутність нелінійності типу "обмеження", про те, що об'єкт описується моделлю першого або другого порядку, рідше моделлю зі спеціальною структурою [3], припущення про відсутність похибки дискретизації та ін. [4]).

**Постановка задачі**

При рішенні задачі синтезу адаптивної системи доцільно врахувати як технологічні, так і технічні обмеження. Технологічне обмеження, як наявність допустимого інтервалу зміни для помилки керування  $\varepsilon(t)$  врахується у вигляді нерівності:

$$|\varepsilon(t)| \leq E, \tag{1}$$

де  $t$  - змінна часу;  $E$  - максимальне значення сигналу  $\varepsilon(t)$ , при якому не порушуються технологічні вимоги до якості виробництва продукції. Технічне ж обмеження, яке накладає складність реалізації системи керування, а також певні встановлені лімітування на виконавчі механізми, подається у вигляді нерівності:

$$|u(t)| \leq U, \tag{2}$$

де  $U$ — максимально припустимий керуючий вплив.

При розрахунку параметрів регулятора передбачається, що похибка чисельного диференціювання й інтегрування відсутні. Передбачається також, що критерій якості регулювання заданий жорстко під час одержання розрахункових формул і надалі змінюватися не може. Наприклад, використовується критерій мінімуму дисперсії [5], "експертний критерій" [6], заданий декремент загасання [7], максимальний ступінь стійкості [3].

Внаслідок прийнятих допущень з'являється погрішність моделі, через яку фактичне настроювання регулятора не є оптимальним, навіть якщо розрахункові формули отримані з умов мінімуму деякого критерію якості регулювання. Використовуючи при їх верифікації замість експерименту результати моделювання, стає можливим позбавитися тих недоліків, які присутні при аналітичних розрахунках.

Нами пропонується замість наближеної параметричної аналітичної моделі використати отриману характеристику реального об'єкта керування без її подання в аналітичній формі, тобто табличну модель перехідної характеристики та сигналу управління. Основною перевагою даної системи є виключення етапу параметричної ідентифікації об'єкта, що зменшує кількість аналітичних розрахунків та час розробки системи. Це стало можливим завдяки використанню перехідної характеристики та принципу інтегралу Дюамеля.

**Методика дослідження**

Дана система поєднує алгоритми структурної та параметричної адаптації з багатопараметричними алгоритмами керування.

Метою створення такої системи є постійний моніторинг робочої точки та забезпечення високої якості керування за рахунок використання багатопараметричного ПІДДЗ регулятора.

Загальна схема даної системи наведена на рис.2:

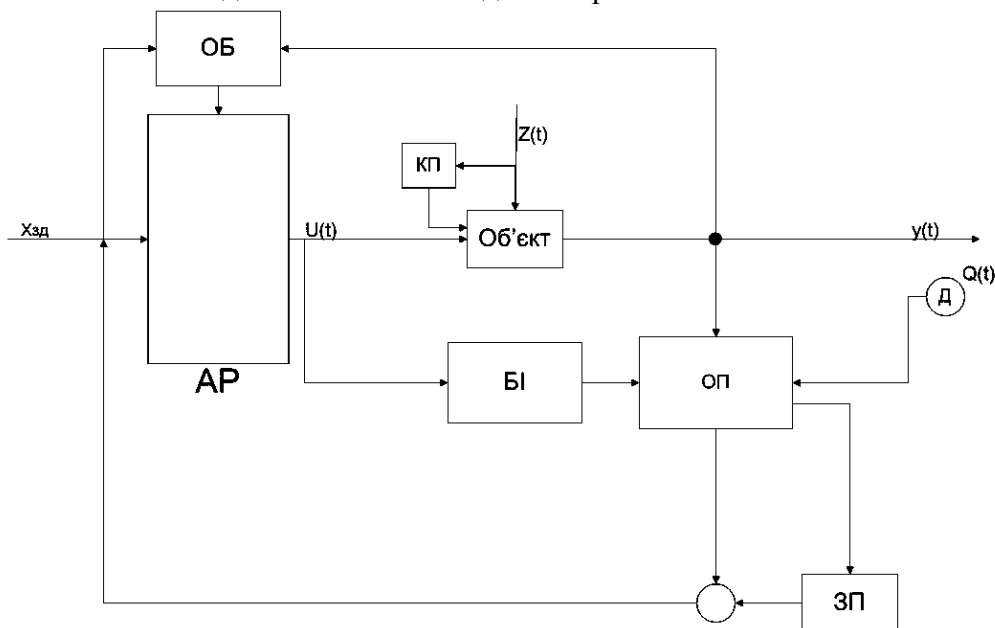


Рис. 2. Схема адаптивної системи керування з непараметричною ідентифікацією об'єкта

На першому етапі на вхід регулятора подається сигнал максимального завдання, що завідома передбачає перехід системи через екстремальний бар'єр  $x_{зад}^{opt}$ , тобто знаходження системи в екстремальній точці, яка і є бажаною робочою точкою. Регулятор (АР) на цьому кроці має настройки  $K_{П0}$  та  $K_{Ю}$  (ПІ алгоритм). Блок ідентифікації (БІ) через обрані інтервали часу фіксує дискретні значення перехідної характеристики об'єкта  $h(t)$ , управляючої дії  $u(t)$  та значення якості  $Q(t)$ , генеруючи масиви даних. Розмір масивів даних залежить виключно від значення кроку вимірювань, а крок, в свою чергу впливає на точність та складність майбутніх обчислень [8,9,10].

Маючи масиви перехідної характеристики  $h(t)$ , управляючої дії  $u(t)$  та використавши інтеграл Дюамеля, ми можемо знайти вихід об'єкта  $y(t)$ . Зручніше з точки зору математичного моделювання встановити зв'язок одразу з трьома параметрами  $h(t)$ ,  $u(t)$ ,  $Q(t)$ , використавши теорію трьохмірного інтегрування методом Дюамеля (графічне представлення на рис.3), проте це сильно обтяжить обчислювальний процес, тому доцільніше використавши інтеграл Дюамеля знайти вихід об'єкта  $y(t)$ , а залежність  $Q(t)$  і  $h(t)$  подати у вигляді поліноміальної залежності. Степінь полінома доцільно обмежити четвертим, адже це дасть точність до тисячних, що тотожно точності датчиків.

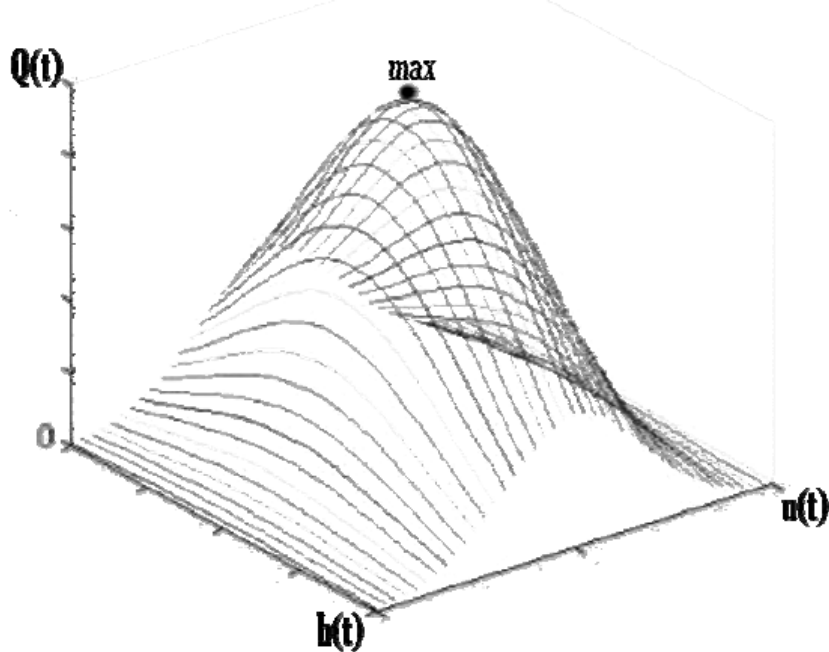


Рис. 3. Трьохмірне експериментальне представлення моделі

На другому етапі блок ідентифікації (БІ) передає параметри максимуму якості  $Q(t)^{max(min)}$  та відповідне значення  $h(t)^{opt}$  в операційний процесор (ОП). Значення  $h(t)^{opt}$  та  $Q(t)^{max(min)}$  заносяться в запам'ятовуючий пристрій (ЗП), який формує нове  $x_{зад}^{opt}$ .

Після цих змін обчислювальний блок (ОБ) за виконання умови:

$$|x_{зад}^{opt} - y(t)| < \varepsilon \quad (3)$$

підключає до ПІ регулятора складові Д<sub>1</sub>, Д<sub>2</sub>, Д<sub>3</sub>, значення яких обчислюються при розв'язанні системи (1,2,4-6):

$$u(t) = K_n e(t) + K_I \int_0^t e(\tau) d\tau + K_D \frac{de(t)}{dt} + K_{D2} \frac{d^2 e(t)}{dt^2} + K_{D3} \frac{d^3 e(t)}{dt^3}, \quad (4)$$

$$y(t) = u(0)h(t) - \int_0^t \frac{du(\tau)}{d\tau} h(t - \tau) d\tau; \quad (5)$$

$$Q(t) = F(h(t)). \quad (6)$$

Числові методи вирішення системи описані в працях [1,4], причому для моделювання використовуються зглажені функції. Методи згладжування описані в роботі [6].

Після визначення оптимальних настройок багатопараметричного регулятора  $K_n$ ,  $K_I$ ,  $K_D$ ,  $K_{D2}$ ,  $K_{D3}$  система переходить від режиму навчання в режим керування.

Система функціонуватиме без змін, поки не виконається умова:

$$|Q(t)^{\text{пот}} - Q(t)^{\text{max(min)}}| > \Delta Q^{\text{доп}}, \quad (7)$$

де  $Q(t)^{\text{пот}}$ ,  $Q(t)^{\text{max(min)}}$  – поточне та бажане значення якісного показника;  
 $\Delta Q^{\text{доп}}$  - максимальне допустиме відхилення;

При виконанні даної умови система знову переходить в режим навчання, тобто алгоритм починається з першого кроку.

**Імітаційне моделювання**

Для дослідження системи було обрано як об'єкт процес фільтрування згущеної суспензії соку І сатурації в камерних вакуум-фільтрах цукрового заводу. Модель була представлена у вигляді диференціальних рівнянь. Уточнення коефіцієнтів в явному вигляді відбуватися не буде, оскільки даний алгоритм базується на непараметричній ідентифікації. Як регулюючу дію було обрано тиск в зоні фільтрування, який регулюється реверсивним вакуум компресором. Це опціональна схема, яка забезпечує мінімізацію втрати сахарози в фільтраційному осаді. Система здатна корегувати недоліки роботи вакуум конденсаційної установки, роботи головок вакуум фільтрів, якості регенерації фільтр-тканини, опору в трубопроводах та інших факторів.

Відомо, що оптимальним тиском, в залежності від якості буряка є 0,03-0,045 МПа, при цьому втрати сахарози в фільтраційному осаді складатимуть 0,08-0,11 % до маси буряка. При зменшенні тиску відбувається утворення тріщин в фільтраційному осаді, що приводить до зменшення якості фільтрації, та втрати сахарози на подальших етапах. Отже, перед нами задача екстремального керування тиску в зоні фільтрації.

При моделюванні системи для дослідження якості роботи було штучно введена швидка зміна робочої точки в діапазоні 0,028-0,047 МПа.

Якісний параметр, що необхідно контролювати – це вміст сахарози в фільтраційному осаді.

Непараметрично ідентифікувавши об'єкт, система веде пошук оптимального значення тиску, враховуючи, що на даний момент параметри об'єкту є незмінними. Знайшовши  $P^{\text{opt}}$ , ОБ знаходить оптимальне значення П та І складових регулятора, після чого підключаються Д, Д2, Д3 складові, що забезпечують необхідну швидкодію та якість функціонування системи. Оскільки початкові параметри  $K_{\text{П0}}$  та  $K_{\text{І0}}$  не є оптимальними, то на рис.4. в збільшеному вигляді на перших секундах функціонування ми бачимо значну динамічну похибку.

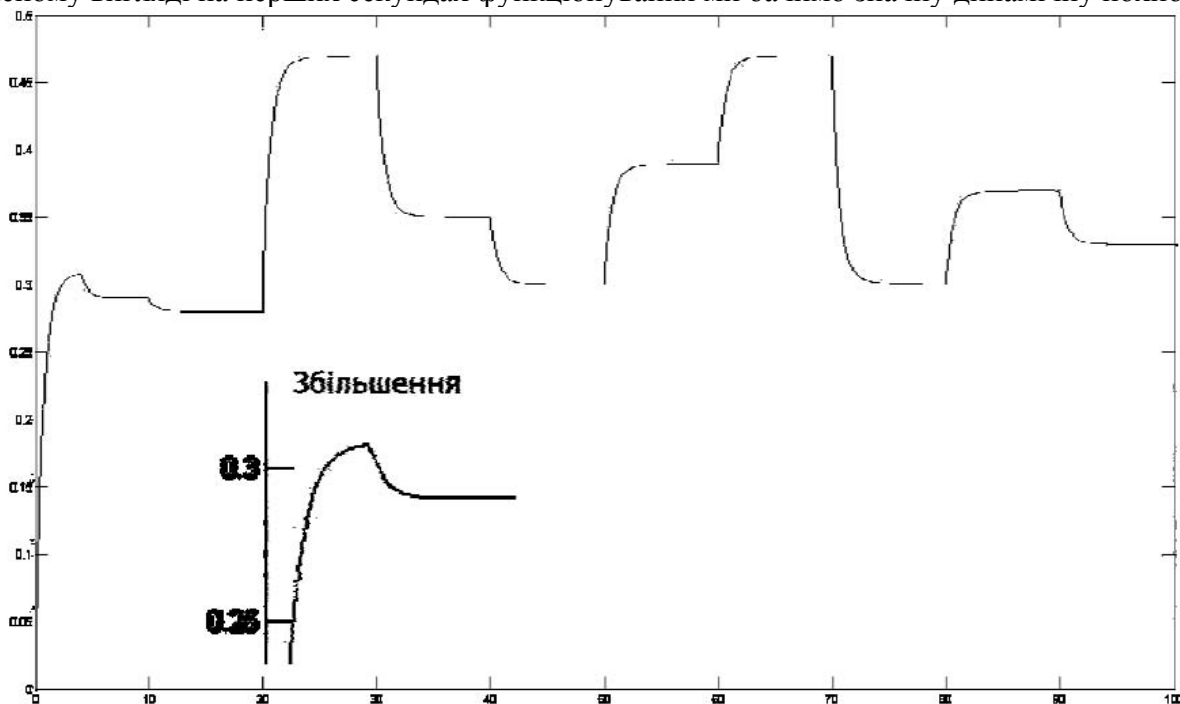


Рис. 4. Ступінчата перехідна характеристика між новими значеннями оптимального тиску  $P_i^{\text{opt}}$



В збільшеному вигляді на рис.4. наведено динамічну похибку першого кроку за початкових параметрів регулювання  $K_{p0}$  та  $K_{i0}$ .

Блок ідентифікації, отримавши нове значення вмісту сахарози, що задовольняє умові(7), формує необхідне значення тиску  $P^{opt}$ , яке, в свою чергу, задовольнятиме умові екстремуму  $\max \min |Q(t)|$ . На рис.4. показані крокові переходи значень оптимального тиску  $P^{opt}_i$ .

#### Отримані результати та висновки

За статистикою на заводах залишковий тиск в вакуум-фільтрах формується за рахунок надійності роботи вакуум-конденсаційної установки та наявного зносу головок вакуум-фільтрів. Нормальним явищем є значення залишкового тиску в межах 0,03-0,055 МПа. В той же час відомо, що втрата сахарози при оптимальному значенні тиску 0,08% від маси буряка, при 0,04-0,047 МПа - до 0,20%, а при 0,067МПа-0,3-0,5% [13].

Отже, впровадження даної системи може дати, як кінцевий результат, підвищення виходу цукру до 0,30%, що є значним ефектом у виробництві.

В основі побудови алгоритму адаптації системи керування покладено числові методи обробки експериментальних даних та багатопараметричні алгоритми керування.

Даний алгоритм можна вважати адаптивним багатопараметричним регулятором з самонастройкою. Він є універсальним для екстремальних режимів і здатний забезпечити необхідну якість регулювання. Єдиним обмеженням, яке виникає під час впровадження, є обмеження потужності технічної бази контролера. Проте це не означає, що алгоритм не буде працездатним, адже можна піти на спрощення системи пошуку оптимальних параметрів настройки, збільшити крок ідентифікації чи знизити степінь полінома.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Денисенко В.В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием. М.: Горячая линия - Телеком, 2009.
2. Штепінберг Ш.Е., Серезин Л.П., Залуцкий И.Е., Варламов И.Г. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования // Промышленные АСУ и контроллеры. 2004. № 7.
3. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Оптимальные автоматически настраивающиеся общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 10.
4. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. ISA -The Instrumentation, Systems, and Automation Society, 2006.
5. Ротач В.Я. Теория автоматического управления. М.: МЭИ, 2004.
6. Ротач В.Я. К расчету оптимальных параметров реальных ПИД регуляторов по экспертным критериям // Промышленные АСУ и контроллеры. 2006. № 2.
7. Ziegler J.G., Nichols N.B. Optimum settings for automatic controllers // Trans. ASME. 1942. Vol. 64.
8. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1980.
9. Dierckx P. Curve and surface fitting with splines: Claredon Press. Oxford, 1996.
10. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Шубладзе А.А. Оптимальные автоматически настраивающиеся общепромышленные регуляторы // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 10.
11. Шубладзе А.М. Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИД-законов управления. II // Автоматика и телемеханика. 1987. № 6.
12. Шубладзе А.М. Достаточные условия экстремума в системах максимальной степени устойчивости. I // Автоматика и телемеханика. 1997. № 3.
13. А.Р.Сапронов. Технология сахарного производства: учебное пособие.— М.:Агропромиздат, 1986.-431с.

## МОДЕЛЬ НЕЧІТКОГО ВИВОДУ ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛІННЯ ПЕРЕТВОРЮВАЧЕМ ЧАСТОТИ В СИСТЕМАХ АВТОНОМНОГО ЖИВЛЕННЯ

Лебеденко Ю.О., Рудакова Г.В.

### Постановка проблеми

В теперішній час через подорожчання енергоносіїв великий інтерес представляє використання нетрадиційних джерел енергії та розробка і впровадження енергозберігаючих технологій.

Одним із найбільш суттєвих недоліків альтернативних джерел є нестабільність вихідних параметрів. Наприклад, у вітроенергетичних установках існує проблема – швидкість вітру дуже мінлива, тому на виході вітрогенератора можуть бути досить різні значення амплітуди та частоти, що не підходить для використання у звичайних умовах. Саме тому на таких установках зазвичай встановлюють систему стабілізації параметрів.

Науково-технічний прогрес в області силової напівпровідникової техніки привів до широкого використання у енергетичних комплексах статичних перетворювачів, які мають істотні техніко-економічними переваги перед іншими перетворювачами електроенергії.

Найважливішою проблемою, що виникає при дослідженні і проектуванні таких енергетичних установок, є проблема підвищення якості несинусоїдальних електромагнітних процесів. Рішення вказаної проблеми стикається з рядом труднощів, пов'язаних перш за все із складністю математичних моделей систем стабілізації і великою кількістю суперечливих вимог, що пред'являються до них.

Відомо, що у системах електропостачання у зв'язку зі збільшенням споживачів електроенергії, що працюють в імпульсному режимі, виникає високий рівень вищих гармонік, що приводить до: збільшення повного споживаного струму; збільшення втрат в живильних кабелях і трансформаторі; додаткового нагрівання трансформаторів; відхилення параметрів живлячої напруги від державних стандартів, що спричиняє можливі проблеми в роботі інших пристроїв, підключених до цієї ж мережі; штрафних санкцій з боку енергопостачальної організації

Крім того, комутаційна апаратура повинна бути розрахована на струм з урахуванням гармонійних переключувань, щоб уникнути необґрунтованих спрацьовувань захисних пристроїв, а у випадку використання автономних джерел живлення, їхня потужність та повний струм повинні обиратися з урахуванням гармонійних складових. Цей факт обмежує використання перетворювачів в системах автономного живлення, наприклад, для судового обладнання.

У зв'язку із цим питання зменшення впливу перетворювача частоти на мережу залишається актуальним.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

В останній час найбільше поширення в системах перетворення параметрів електричної енергії набули двокаскадні перетворювачі частоти (з ланкою постійного струму). Але існує інший клас перетворювачів – безпосередні перетворювачі частоти [1, 2], які мають певні переваги порівняно з двокаскадними. Це, по-перше, високий ККД, по-друге, добрі масогабаритні показники завдяки відсутності необхідності у громіздких фільтрах, а також легкість організації рекуперації до мережі.

За допомогою безпосередніх перетворювачів частоти (БПЧ), побудованих на повністю керованих силових напівпровідникових ключах з імпульсно-модуляційними алгоритмами управління, можна досягти майже синусоїдальної форми вихідного струму, а також, з'являється можливість за рахунок алгоритму перемикання вентилів зменшити вплив перетворювача на живильну мережу.

В загальному випадку безпосередній перетворювач частоти,  $n$ -фазний по входу і  $m$ -фазний по виходу, містить  $m$  груп  $n$ -пульсних ключів. Перетворювач частоти, приєднаний до  $n$ -фазного джерела змінного струму з частотою  $f_{ex}$ , управляється таким чином, щоб отримати  $m$ -фазну вихідну напругу з бажаною частотою  $f_{eux}$ . Криві вихідної напруги утворюються з ділянок кривих вхідної напруги, що слідує одна за одною.

Напругу  $j$ -ї вихідної фази перетворювача  $U_{euxj}$  можна представити через вхідні напруги  $U_{exi}$  і відповідні перемикальні функції  $h_{ji}(t)$ :

$$U_{euxj} = \sum_{i=1}^n h_{ji}(t)U_{exi}, \quad j = 1..m. \quad (1)$$

Система рівнянь для вихідних напруг може бути записана коротше у наступній матричній формі:

$$U_{eux} = \mathbf{H}(t) \cdot U_{ex}. \quad (2)$$

Перемикальна матриця  $\mathbf{H}$ , елементи якої є перемикальними функціями, визначає співвідношення між вхідними і отримуваними вихідними напругами і, отже, описує дію силових ключів перетворювача частоти.

Для забезпечення формування необхідної якості вихідної напруги повинна виконуватися умова

$$\int_0^t (U_{j}^*(t) - U_{euxj}(t)) \cdot dt \leq \varepsilon_{\max}, \quad (3)$$

де  $U_{j}^*(t)$  - сигнал завдання  $j$ -ї фази,  $U_{euxj}(t)$  - вихідна напруга  $j$ -ї фази.

Ступінь впливу перетворювача на живильну мережу можна визначити за допомогою коефіцієнта перекручувань:

$$k_B = \sqrt{\frac{\int (I_{ex}(t) - I_{ex}^*(t))^2 dt}{\int (I_{ex}(t))^2 dt}}, \quad (4)$$

де  $I_{ex}(t)$  - повний фазний струм;  $I_{ex}^*(t)$  - основна гармоніка фазного струму.

Для зменшення негативного впливу перетворювача необхідно, щоб коефіцієнт перекручувань був мінімальним [3]. Тобто виникає задача мінімізації функціоналу (4) при обмеженнях (3). Для узагальненого випадку  $n$ -фазного по входу перетворювача функціонал мети можна визначити як

$$\bar{k}_B^2 = \sum_{i=1}^n k_{Bi}^2 \rightarrow \min. \quad (5)$$

Для визначення основної гармоніки фазного струму можна використовувати метод балансу потужностей [4], але такий підхід не враховує втрати потужності у силових ключах. В роботі [5] для визначення  $I_{ex}^*(t)$  використовується фільтр, наприклад, вираз  $I_{ex}(t) - I_{ex}^*(t)$  у чисельнику (4) можна визначити за допомогою режекторного фільтру.

Через те, що навантаження інерційне, можна спрогнозувати, який з допустимих варіантів перемикання надасть мінімальне значення функціоналу (5).

В [3, 4] було запропоновано різні варіанти стратегій перемикання ключів перетворювача, що дозволяють значно покращити спектральний склад вхідного струму перетворювача, але їх реалізація потребує великих обчислювальних витрат.

Спростити процес обчислення моментів комутації можна завдяки впровадженню нечітких алгоритмів управління силовими ключами перетворювача.

**Постановка завдання.** Ціллю статті є розробка моделі нечіткої системи управління силовими ключами безпосереднього перетворювача частоти, що може бути застосований у системі стабілізації параметрів автономного джерела живлення. Така система дозволить мінімізувати негативний вплив перетворювача на джерело живлення, та вирішити проблему формування необхідної напруги на виході при зменшенні обсягу обчислювальних витрат.

**Розв'язання проблеми.** Система оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти повинна аналізувати наступну інформацію:

- рівень вхідної напруги перетворювача у порівнянні з рівнем завдання для визначення множини допустимих варіантів перемикань силових ключів;
- критерій якості генерації вихідної напруги (3) для визначення моментів перемикання;
- квадратичний коефіцієнт перекручування вхідного струму  $\bar{k}_B^2$  для визначення оптимального варіанту перемикання з множини допустимих.

Розглянемо реалізацію алгоритму оптимального управління на основі системи нечіткого виводу.

Основою для проведення операції нечіткого логічного виводу є база правил, що містить нечіткі висловлення у формі "ЯКЩО-ТО" і функції належності для відповідних лінгвістичних термів.

У загальному випадку механізм логічного виводу включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий вивід, композиція й приведення до чіткості, або дефазифікація. Алгоритми нечіткого виводу розрізняються головним чином видом використовуваних правил, логічних операцій і різновидом методу дефазифікації. Для розробки системи доцільно використовувати модель нечіткого виводу Мамдані [6, 7].

Спираючись на алгоритм дії системи управління та на чисельні дані, на основі нечітких множин сформуємо базу правил про стан ключа силового перетворювача, що комутує  $i$ -у вхідну фазу до  $j$ -ї вихідної.

Терм-множини вхідних нечітких лінгвістичних змінних та обмеження для них мають вигляд:

**T1<sub>i</sub>** - «вхідна напруга  $i$ -ї вхідної фази перетворювача», що визначається як різниця між напругою на вході перетворювача та напругою завдання, В:

$$\Delta U_{ex\ i} = \{\text{«менша»}, \text{«більша»}\}, \Delta U_{ex\ i} \in [(-U_{ex\ max\ i} - U_{i}^*)(U_{ex\ max\ i} + U_{i}^*)], \quad i = 1 \dots n. \quad (6)$$

Для терму  $U_{ex\ i}$  обмеження  $\pm(-U_{ex\ max\ i} - U_{i}^*)$  означає максимально можливу різницю між напругою, що формується джерелом живлення, та напругою завдання

**T2<sub>j</sub>** - «рівень інтегральної помилки за напругою на виході  $j$ -ї фази перетворювача»:

$$\varepsilon_j = \{\text{«низька»}, \text{«середня»}, \text{«висока»}\}, \quad \varepsilon_j \in [-\varepsilon_{\max} \quad \varepsilon_{\max}]. \quad j = 1 \dots m. \quad (7)$$

Обмеження для терму  $\varepsilon$  означає максимально допустиму інтегральну помилку за напругою на виході виході  $j$ -ї фази перетворювача  $\pm \varepsilon_{\max}$ .

**T3<sub>i</sub>** - «перекручування на вході  $i$ -ї вхідної фази перетворювача»:

$$k_B = \{\text{«низьке»}, \text{«середнє»}, \text{«високе»}\}, \quad k_B \in [0 \quad k_{B\max}]. \quad (8)$$

Терм-множина вихідних нечітких лінгвістичних змінних:

**T4<sub>ij</sub>** - «вмикання ключа, що комутує  $i$ -у вхідну фазу до  $j$ -ї вихідної»:

$$h_{ij} = \{\text{«0»}, \text{«1»}\}, \quad h_{ij} \in [0 \quad 1], \quad i = 1 \dots n, \quad j = 1 \dots m. \quad (9)$$

Обмеження терм-множини «вмикання ключа» означає, що в залежності від значення вхідних терм-множин, відповідний ключ  $K_{i,j}$  може бути ввімкненим, або розімкненим.

Евристичні правила-продукції формулюються таким чином:

1. IF  $T1_i$  IS «менша» AND  $T2_j$  IS «висока»  
AND  $T3_i$  IS «низьке» THAN  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$ .
2. IF  $T1_i$  IS «більша» AND  $T2_j$  IS «низька»  
AND  $T3_i$  IS «низьке» THAN  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$ .
3. IF  $T1_i$  IS «менша» AND  $T2_j$  IS «середня»  
AND  $T3_i$  IS «низьке» AND  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$  THAN  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$ .
4. IF  $T1_i$  IS «більша» AND  $T2_j$  IS «середня»  
AND  $T3_i$  IS «низьке» AND  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$  THAN  $T4_{ij} = \langle 1 \rangle$ .

Спираючись на ці правила, можливе створення нечіткої моделі визначення перемикальної функції  $h_{ji}$  безпосереднього перетворювача частоти. Моделювання проводилося у пакеті Fuzzy Logic середовища MatLab.

Графічне зображення моделі нечіткого виводу по Мамдані в редакторі системи FIS наведено на рис. 1.

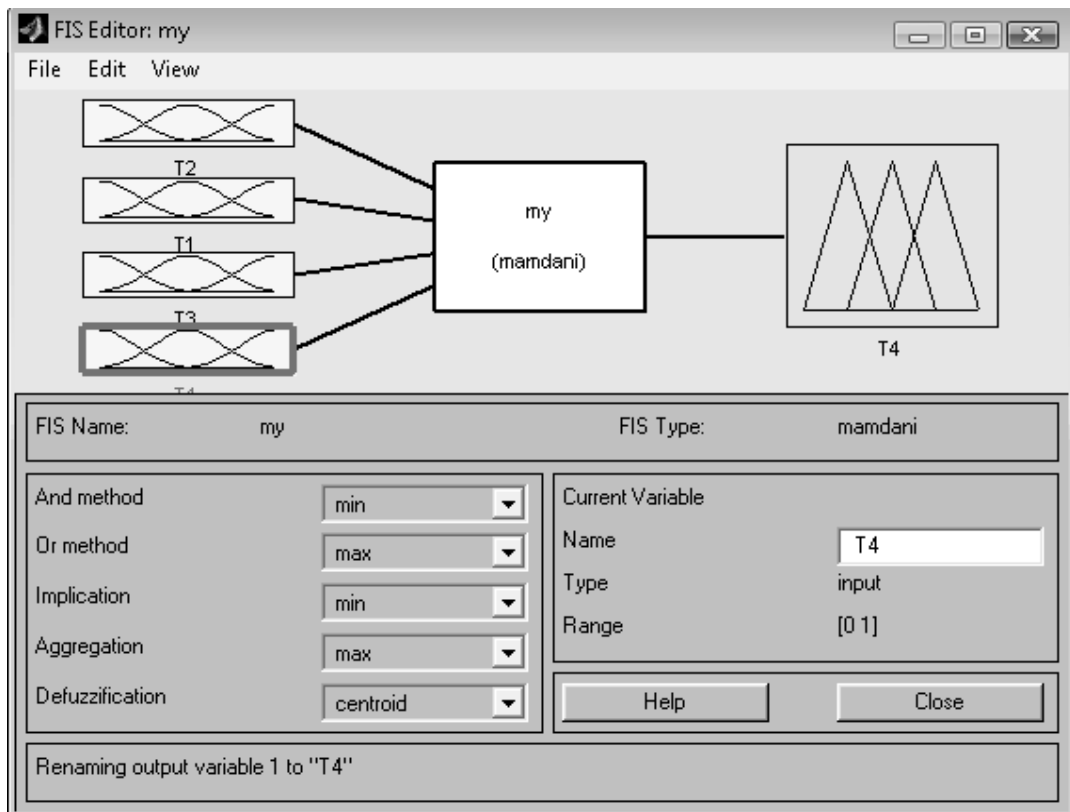


Рис. 1. Нечітка модель визначення перемикальної функції  $h_{ji}$  БПЧ

Функції належності для кожного терма кожної лінгвістичної змінної наведено на рис. 2.

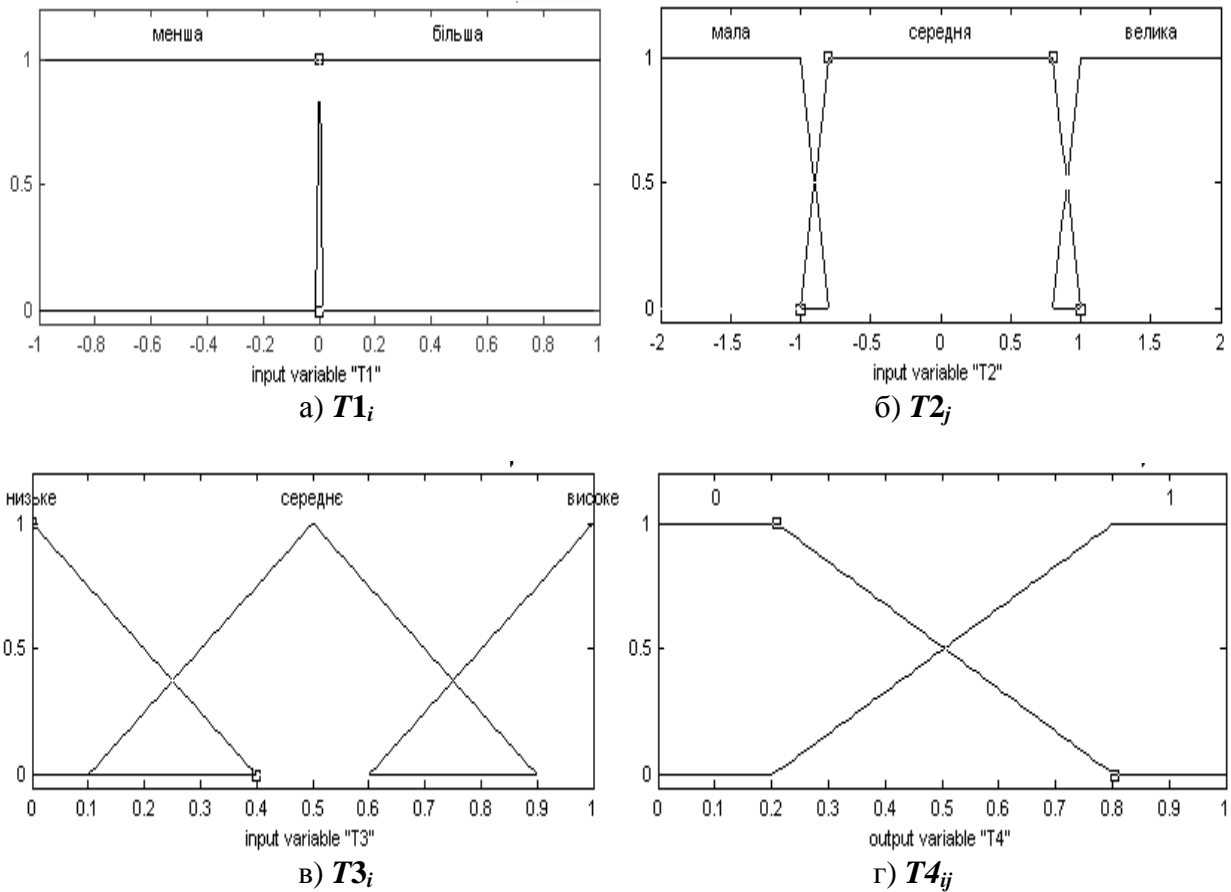


Рис. 2. Функції належності терм-множин нечіткої моделі визначення перемикальної функції  $h_{ji}$  БПЧ

Правила нечіткого виводу для розроблюваної системи представляються за допомогою редактора правил систем нечіткого виводу FIS. Кожному введеному правилу, привласнюється ваговий коефіцієнт, рівний 1. Поверхня рішення наведена на рис. 3. Результати моделювання процедури нечіткого виводу для визначення перемикальної функції показано на рис.4.

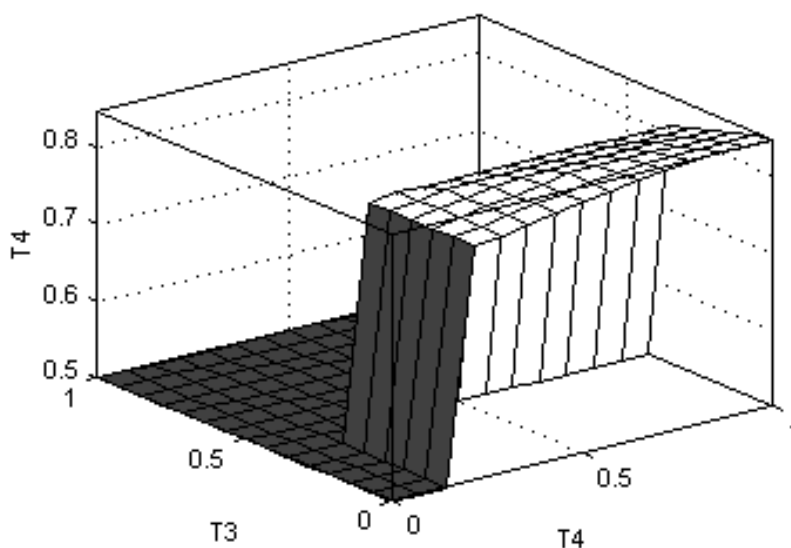


Рис. 3. Поверхня рішення

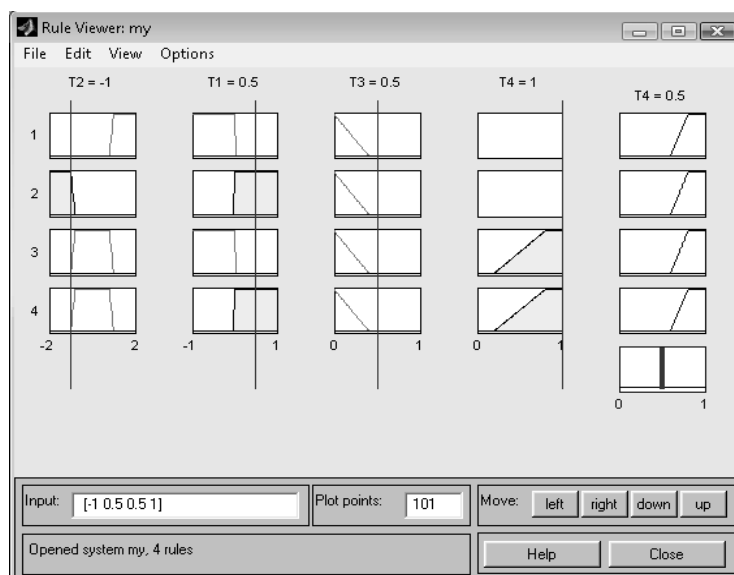


Рис. 4. Результати моделювання нечіткого виводу

У випадку, зображеному на рис. 4 ситуація змодельована для входних змінних:  $T2 = -\varepsilon_{\max}$ ,  $T1 = 0,5$  В (тобто перевищує напругу завдання),  $T3 = 0,5 k_{B_{\max}}$ , ключ на момент моделювання замкнений ( $h = 1$ ). Вихідні змінні показують, що для даного запиту, положення ключа повинне бути замкненим.

**Висновки.** Розроблена модель нечіткого виводу дозволяє швидко аналізувати стан процесів у перетворювачі та приймати рішення щодо вибору оптимального варіанту перемикання силових ключів за критерієм мінімуму переключувань вхідного струму безпосереднього перетворювача частоти.

Таку модель можна використовувати в складі систем стабілізації параметрів автономних джерел живлення, що дозволить, з одного боку, покращити якість перетвореної електроенергії для споживачів, а з іншого – зменшити негативний вплив перетворювача на джерело електроенергії завдяки мінімізації переключувань вхідного струму.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Непосредственные преобразователи частоты для электропривода / Чехет Э.М., Мордач В.В., Соболев В.Н. – К.: Наукова думка, 1988. – 222 с.
2. Джюджи Л., Пелли Б. Силовые полупроводниковые преобразователи частоты: Теория, характеристики, применение. Пер. с англ. — М.: Энергоатомиздат, 1983. — 400 с.
3. Лебеденко Ю.О. Оптимальне управління безпосереднім перетворювачем частоти за критерієм мінімізації негативного впливу на живильну мережу // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон, 2007. – №1(18) - С. 132-135.
4. Шрейнер Р.Т., Ефимов А.А., Корюков К.Н. // Прогнозирующее релейно-векторное управление активным непосредственным преобразователем частоты. // АПТ-2002 НГТИ 10-13 ноября 2002.- С.194 – 198.
5. Лебеденко Ю.А. Выбор стратегии управления непосредственными преобразователями частоты // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – Херсон, 2006. – №1(17) - С. 138-144.
6. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. – С. – Птб.: БХВ, 2003. – 720 с.
7. Штовба С.Д. Проектирование нечетких систем средствами Matlab. – М.: Горячая линия – Телеком, 2007. – 288 с.

ФОРМИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРИНЦИПОВ УПРАВЛЕНИЯ  
ПОДВИЖНЫМ ОБЪЕКТОМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА  
СТРУКТУРНО — ПЕРЕКЛЮЧАЕМЫХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ

Тимченко В.Л.

Для класса подвижных объектов динамика и внешние возмущения достаточно описаны, и наибольший интерес представляет создание инженерных методов исследования качеств многомерных динамических моделей и синтеза оптимальных управляющих воздействий. Применение для решения данных задач классических методов оптимального управления приводит к ряду вычислительных сложностей, например, необходимости решения краевых задач [1,2]. Аналитическое решение краевых задач с учетом многомерности управляемого объекта затруднительно и громоздко, а численные решения в ряде случаев не дают достаточно быстрой сходимости [3,6]. Различные подходы к оптимизации динамики объектов управления в цепях обратных связей получили развитие в работах [4,5], однако они не дают решения для задачи построения оптимальной траектории движения объекта управления.

Под динамическими принципами управления подвижными объектами понимаются методы, основанные на использовании текущей информации о компонентах вектора выходных координат объекта управления, то есть динамических характеристик – функций изменения соответствующих производных фазовых координат объекта. Поскольку указанная информация может быть получена на основе измерения выходных координат объекта управления, реализация динамических принципов для многомерного объекта осуществляется путем применения системы обратных связей. Метод структурно-переключаемых обратных связей [7,8] реализует динамические принципы управления и позволяет решать практические задачи построения оптимальных траекторий движения динамического объекта для разных критериев оптимальности и вида граничных условий. При этом движение по отрезкам оптимальной траектории обеспечивается управляющими функциями в цепях обратной связи, которые имеют возможность переключения для перехода с текущего отрезка траектории движения на заданный отрезок.

Данный метод состоит из основных этапов:

- планирование оптимальной траектории;
- определение моментов переключения управляющих функций в цепи обратной связи объекта;
- синтез управляющих функций в цепи обратной связи динамического объекта.

Планирование траектории перехода объекта из исходной точки в конечную точку для заданных критериев оптимальности и граничных условий будет заключаться в определении необходимого количества отрезков траектории с постоянными значениями соответствующих производных, а также моментов времени переключения управляющих функций в цепи обратной связи при переходе с начального отрезка на заданный. Переключение управляющих функций изменяет структурную конфигурацию обратных связей и решает задачу обеспечения необходимого порядка производной фазовой переменной с соответствующим позитивным или негативным постоянным значением. Синтез управляющих функций при этом будет заключаться в определении управляющих воздействий в цепи обратной связи объекта управления, при которых на определенных отрезках фазовой траектории выполняются условия постоянства соответствующих производных фазовой переменной.

Рассмотрим принципы формирования оптимальных траекторий движения для линейного объекта с применением метода структурно-переключаемых обратных связей. Исследуем движение объекта с минимальным расходом кинетической энергии на плоскости



на прямолинейном отрезке траектории для переменной координаты  $x(t)$  при равных начальных и конечных условиях по двум возможным фазовым траекториям, которые описываются следующими уравнениями

$$x(T_1) = x(0) + \dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2}{2!} + \dots + x^{(m)}(0)\frac{T_1^m}{m!}; \quad (1)$$

$$x(T_2) = x(0) + \dot{x}(0)T_2 + \ddot{x}(0)\frac{T_2^2}{2!} + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_2^r}{r!}; \quad (2)$$

где  $x(0)$ ,  $x(T_1) = x(T_2)$  - начальные и конечные координаты движения;  
 $T_1$ ,  $T_2$  - время движения по каждой из траекторий;  
 $m$ ,  $r$  - порядок высших производных фазовых координат.

Тогда изменение кинетической энергии объекта массой  $M$  для первой траектории движения будет иметь вид

$$\Delta E_1 = \frac{Mv_x^2(T_1)}{2} - \frac{M[\dot{x}(0)]^2}{2},$$

где  $v_x(T_1) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T_1 + \dots + x^{(m)}(0)\frac{T_1^{m-1}}{(m-1)!};$

для второй

$$\Delta E_2 = \frac{Mv_x^2(T_2)}{2} - \frac{M[\dot{x}(0)]^2}{2},$$

где  $v_x(T_2) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T_2 + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_2^{r-1}}{(r-1)!}.$

Для оценки энергии, необходимой для перехода объекта управления из начального состояния в конечное состояние по фазовой траектории (1), получим

$$\begin{aligned} \Delta E_1 = E_{1T} - E_{10} &= \frac{M}{2}[\dot{x}^2(T_1) - \dot{x}^2(0)] = \frac{M}{2}\{[\dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2}{2!} + \\ &\dots + x^{(m-1)}(0)\frac{T_1^{m-1}}{(m-1)!}]^2 - \dot{x}^2(0)\}. \end{aligned}$$

Для фазовой траектории (2) будем иметь

$$\begin{aligned} \Delta E_2 = E_{2T} - E_{20} &= \frac{M}{2}[\dot{x}^2(T_2) - \dot{x}^2(0)] = \frac{M}{2}\{[\dot{x}(0)T_2 + \\ &+ \ddot{x}(0)\frac{T_2^2}{2!} + \dots + x^{(r-1)}(0)\frac{T_2^{r-1}}{(r-1)!}]^2 - \dot{x}^2(0)\}. \end{aligned}$$

Приняв  $m = r + 1$ , для  $\Delta E = E_1 - E_2$  запишем

$$\begin{aligned} \Delta E &= \frac{M}{2}\{[\dot{x}(0)T_1 + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_1^r}{r!}]^2 - \dot{x}^2(0)\} - \frac{M}{2}\{[\dot{x}(0)T_2 + \dots + x^{(r-1)}(0)\frac{T_2^{r-1}}{(r-1)!}]^2 - \dot{x}^2(0)\} = \\ &= \frac{M}{2}[\dot{x}(0)(T_1 + T_2) + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_1^r + T_2^r}{r!}][S + x^{(r)}(0)\frac{T_1^r}{r!}] > 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где  $S = \dot{x}(0)(T_1 - T_2) + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2 - T_2^2}{2!} + x^{(r-1)}(0)\frac{T_1^{r-1} - T_2^{r-1}}{(r-1)!},$

а также

$$\begin{aligned}
 x(T_1) - x(T_2) &= \dot{x}(0)(T_1 - T_2) + \ddot{x}(0) \frac{T_1^2 - T_2^2}{2!} + x^{(r-1)}(0) \frac{T_1^{r-1} - T_2^{r-1}}{(r-1)!} + \\
 &+ x^{(r)}(0) \frac{T_1^r - T_2^r}{r!} + x^{(r+1)}(0) \frac{T_1^{r+1} - T_2^{r+1}}{(r+1)!} = S + x^{(r)}(0) \frac{T_1^r - T_2^r}{r!} + x^{(r+1)}(0) \frac{T_1^{r+1} - T_2^{r+1}}{(r+1)!} = 0,
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

Получив из последнего уравнения промежуточную сумму  $S$ , условие  $\Delta E > 0$  запишется следующим образом

$$-x^{(r)}(0) \frac{T_1^r - T_2^r}{(r)!} - x^{(r+1)}(0) \frac{T_1^{r+1} - T_2^{r+1}}{(r+1)!} + x^{(r)}(0) \frac{T_1^r}{(r)!} > 0,$$

откуда следует

$$x^{(r)}(0) \frac{T_2^r}{r!} - x^{(r+1)}(0) \frac{T_1^{r+1}}{(r+1)!} > 0.$$

Поскольку  $T_2 > T_1$ , то

$$x^{(r)}(0) \frac{T_2^r}{r!} > x^{(r)}(0) \frac{T_1^r}{r!},$$

и с учетом

$$x^{(r)}(0) \frac{T_1^r}{r!} > x^{(r+1)}(0) \frac{T_1^{r+1}}{(r+1)!}$$

следует выполнение неравенства (3).

Таким образом, при движении по второй траектории затраты энергии меньше. Следовательно, можно сделать вывод, что траектория, определяемая уравнением (2), есть оптимальной по расходу энергии. При этом в случае  $(m - r) = 1$  разница кинетических энергий  $\Delta E = \min$ , а с ростом  $(m - r)$  величина  $\Delta E$  будет также возрастать. Последующий анализ показывает, что оптимальной по минимуму расходу энергии является траектория с наименьшим количеством производных фазовых переменных, необходимых для выполнения всех конечных условий.

Рассмотрим дальше условия существования оптимальных по времени траекторий, т.е. с максимальным быстродействием. Запишем уравнения движения для простого примера следующим образом

$$\begin{aligned}
 x(T_1) &= x(0) + \dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0) \frac{T_1^2}{2!}; \\
 x(T_2) &= x(0) + \dot{x}(0)T_2.
 \end{aligned}$$

Поскольку  $x(T_1) = x(T_2)$ , можем записать

$$\begin{aligned}
 x(0) + \dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0) \frac{T_1^2}{2!} - x(0) - \dot{x}(0)T_2 &= 0; \\
 \ddot{x}(0) \frac{T_1^2}{2!} + \dot{x}(0)T_1 - \dot{x}(0)T_2 &= 0.
 \end{aligned}$$

Разделив последнее уравнение на  $T_1$ , получим

$$\begin{aligned}
 \ddot{x}(0) \frac{T_1}{2!} + \dot{x}(0) - \dot{x}(0) \frac{T_2}{T_1} &= 0; \\
 \frac{T_2}{T_1} &= \frac{\ddot{x}(0) T_1}{\dot{x}(0) 2!} + 1.
 \end{aligned}$$

Из последнего уравнения определяем при позитивных значениях производных, что  $T_2 > T_1$ . Проведенные расчеты можно применить к общим уравнениям. Из (4) запишем для  $m = r + 1$

$$\begin{aligned} & \dot{x}(0)T_1 + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2}{2!} + \dots + x^{(m)}(0)\frac{T_1^m}{m!} - \dot{x}(0)T_2 - \ddot{x}(0)\frac{T_2^2}{2!} - \dots - x^{(r)}(0)\frac{T_2^r}{r!} = \\ & = \dot{x}(0)(T_1 - T_2) + \ddot{x}(0)\frac{T_1^2 - T_2^2}{2!} + \dots + x^{(r)}(0)\frac{T_1^r - T_2^r}{(r)!} + x^{(r+1)}(0)\frac{T_1^{r+1}}{(r+1)!} = \\ & = S^* + x^{(r+1)}(0)\frac{T_1^{r+1}}{(r+1)!} = 0. \end{aligned}$$

Анализ последнего уравнения показывает, что его решение возможно, с учетом  $x^{(r+1)}(0) > 0$ , при  $S^* < 0$  и тогда следует  $T_1 < T_2$ . При  $m = r + i$  последнее выражение запишется следующим образом

$$S^* + x^{(r+1)}(0)\frac{T_1^{r+1}}{(r+1)!} + \dots + x^{(r+i)}(0)\frac{T_1^{r+i}}{(r+i)!} = 0,$$

откуда следует с уменьшением  $S^*$ , что с ростом разницы  $(m - r)$  при всех аналогичных условиях значение  $T_1$  уменьшается сравнительно с  $T_2$ .

Таким образом, можно сделать обобщенный вывод о требованиях к оптимальности движения динамического объекта при позитивных значениях производных: траектория будет оптимальной по быстродействию при движении с максимально возможным количеством производных вектора координат, при этом это будет траектория с наибольшим расходом энергии.

**Пример.1.** Рассмотрим решение задачи оптимального управления динамическим объектом второго порядка  $\ddot{x} = u$  для начальных условий  $\dot{x}(0) = 0$ ;  $x(0) = 0$ ; конечных

$$\dot{x}(T) = 1; \quad x(T) = 1 \text{ и энергетического критерия } J = \frac{1}{2} \int_0^T u^2 dt = \min.$$

Применение принципа максимума [1] дает при  $T=1$  для оптимальной функции управления  $u_{opt.} = -6t + 4$ . Объект движется по фазовой траектории с постоянной третьей производной и изменяющейся по пропорциональному закону второй производной выходной координаты. Значение критерия оптимальности при этом равняется

$$J = \frac{1}{2} \int_0^1 (-6t + 4)^2 dt = 2.$$

В то же время из вывода, полученного выше, следует, что оптимальной с точки зрения затраты энергии будет фазовая траектория с минимумом производных выходной координаты, необходимых для выполнения граничных условий. Таким образом, фазовые траектории будут иметь вид

$$x(T) = x(0) + \dot{x}(0)T + \ddot{x}(0)\frac{T^2}{2}; \tag{5}$$

$$\dot{x}(T) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T.$$

$$\text{Получим } \ddot{x}(0) = u_{opt.} = 0.5; T = 2; J = \frac{1}{2} \int_0^2 (0.5)^2 dt = 0.25.$$

Результат расчета расхода энергии показывает, что фазовые траектории (5) являются действительно оптимальными. При этом отметим, что результат получен без требований ко времени движения динамического объекта. В то же время, если задать требуемое время, например,  $T = 4$ , уравнения (5) не будут выполняться и фазовые траектории необходимо записать в виде

$$x(T) = x(0) + \dot{x}(0)T + \ddot{x}(0)\frac{T^2}{2} + \dddot{x}(0)\frac{T^3}{6};$$

$$\dot{x}(T) = \dot{x}(0) + \ddot{x}(0)T + \dddot{x}(0)\frac{T^2}{2}.$$

С учетом численных значений получим

$$1 = 8\dot{x}(0) + \frac{32}{3}\ddot{x}(0);$$

$$1 = 4\dot{x}(0) + 8\ddot{x}(0).$$

Решение последней системы дает  $\dot{x}(0) = -\frac{1}{8}; \ddot{x}(0) = \frac{3}{16}; J = \frac{1}{2} \int_0^4 (\frac{3}{16}t - \frac{1}{8})^2 dt = 0.195$ ,

т.е. движение по фазовым траекториям с меньшими затратами энергии но с худшим быстрыедействием.

**Пример.2.** Рассмотрим задачу оптимального управления объектом  $\ddot{x} = u$  для начальных условий  $\dot{x}(1) = 1; x(1) = 1$ ; конечных  $\dot{x}(T) = 0; x(T) = 0$  и энергетического критерия оптимальности  $J = \frac{1}{2} \int_0^t u^2 dt = \min$ . Осуществляем переход по следующим, с точки зрения минимума энергетических расходов, фазовым траекториям

$$0 = 1 + T + \ddot{x}(0)\frac{T^2}{2} + \dddot{x}(0)\frac{T^3}{6}; \tag{6}$$

$$0 = 1 + \dot{x}(0)T + \ddot{x}(0)\frac{T^2}{2}.$$

Для  $T = 1$  получаем  $\ddot{x}(0) = -10; \dddot{x}(0) = 18; \ddot{x}(t) = u_{opt.} = 18t - 10$ .

Для поиска оптимального решения выразим  $\ddot{x}(0)$  и  $\dddot{x}(0)$  из системы (6)  
 $\ddot{x}(0) = -\frac{4T + 6}{T^2}; \dddot{x}(0) = \frac{6T + 12}{T^3}$ . Теперь рассмотрим непосредственно критерий оптимальности для управления вида  $u_{opt.} = \ddot{x}(0)t + \dddot{x}(0)$

$$J = \frac{1}{2} \int_0^T [\ddot{x}(0)t + \dddot{x}(0)]^2 dt = \frac{T^3}{6} \ddot{x}^2(0) + \frac{T^2}{2} \dot{x}(0)\ddot{x}(0) + \frac{T}{2} \dot{x}^2(0) = \frac{2}{T} + \frac{6}{T^2} + \frac{6}{T^3} = \min.$$

Поиск минимума дает  $T \rightarrow \infty$ . Таким образом, в задаче движения с минимумом использованной энергии для замкнутого решения необходимо задавать время переходного процесса.

Построение оптимальных траекторий и определение моментов времени переключения управляющих функций методом переключаемых обратных связей осуществляется путем решения системы алгебраических уравнений, а применение управляющих функций в цепях обратной связи не требует непосредственного измерения производных фазовых переменных на выходе объекта управления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов — М.:Наука, 1974. — 392 с.
2. Чаки Ф. Современная теория управления — М.: Мир, 1975. — 424 с.
3. Беллман Р. Квазилинеаризация и нелинейные краевые задачи / Беллман Р., Калаба Р. — М.:Мир, 1968. — 184 с.
4. Габасов Р., Реализация ограниченной обратной связи в нелинейной задаче регулирования/Габасов Р., Кириллова Ф.М., Ружицкая Е.А.//Кибернетика и системный анализ. — К., 2009. — № 1. — С.108 — 117.
5. Ларин В.Б. Стабилизация системы обратной связью по выходной переменной//Проблемы упр. и информатики. — К., 2004. — № 2. — С.5 — 18.
6. Ларин В.Б. О симметризации двухточечной краевой задачи // Проблемы упр. и информатики. — К., 2002. — № 3. — С.30 — 38.
7. Kondratenko Y.P. Optimal feedback switching method for linear control systems / Kondratenko Y.P., Timchenko V.L. // Systems and Networks: Mathematical Theory and Applications (Mathematical Research). — Berlin: Academia Verlag, 1994. Vol.79. — P.291 — 292.
8. Тимченко В.Л. Синтез управляющих функций на основе структурно-переключаемых обратных связей при управлении многомерным объектом//Труды Одесского политехнического университета, Вып.2(24), 2005г. — стр.155-160.

## МЕТОДИ ПОБУДОВИ АДАПТИВНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

УДК.621.311

### МЕТОДИ НАСТРОЙКИ НЕЧЕТКОГО АДАПТИВНОГО ПИД-РЕГУЛЯТОРА

Михайленко В.С., Ложечников В.Ф.

При управлении сложными объектами, функционирующими в условиях нестационарности, широкое применение нашли адаптивные регуляторы, реализующие типовые ПИ- или ПИД-законы регулирования. Адаптивные контроллеры зарубежных и отечественных производителей: Ремиконт, Овен, Сименс, Микрол и т.д., как правило, реализуют метод Зиглера-Николса [1]. Следует отметить, что данный метод предполагает вывод объекта в область автоколебаний, за счет перехода на П-закон и грубого варьирования коэффициента усиления  $K_p$ . Однако, значительный ряд технологических процессов по условиям эксплуатации не допускают автоколебательного режима. Таким образом, задача нахождения оптимального метода адаптации остается открытой.

Вместе с тем, в последнее время широкую популярность находят нечеткие модели и алгоритмы управления [2,3,5]. Известно, что нечеткое управление основано на использовании не столько аналитических или теоретических моделей, сколько на практическом применении знаний квалифицированных специалистов, представленных в форме лингвистических баз правил. Нечеткое управление эффективно в случаях недетерминированности параметров объектов, когда существует определенный опыт экспертов по управлению и настройке автоматизированной системы регулирования (АСР). Теория нечеткой логики позволяет использовать знания специалистов – наладчиков с целью улучшения процессов управления и оказания помощи (супервизорный режим) по настройке типовых регуляторов. Исходя из вышесказанного, задача создания метода адаптации ПИД-регулятора, реализующего опыт наладчиков, становится актуальной.

Целью статьи является разработка нечеткой экспертной системы, определяющей оптимальные настройки ПИД-регулятора, для его адаптации к объекту управления, и ее апробация в пакете Matlab (Simulink). Разобьем научную задачу на ряд этапов. На первом этапе определим структуру адаптивной АСР (рис.1):

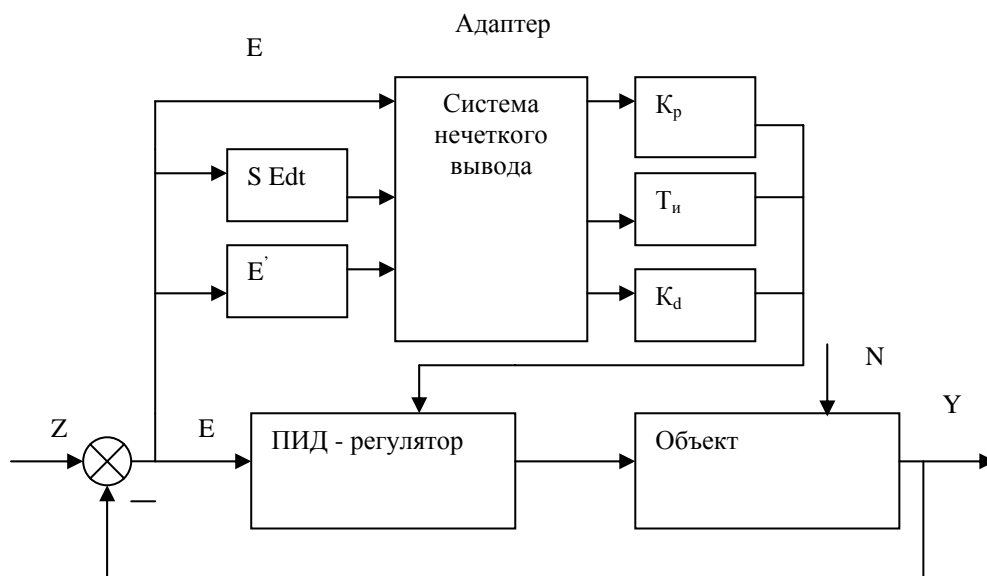


Рис. 1. Структура адаптивного нечеткого управления

где E – ошибка; Z – задание; Y – выходное значение; N – возмущение; K<sub>p</sub>, T<sub>i</sub>, K<sub>d</sub> – настройки ПИД-регулятора.

На втором этапе в программе Matlab (FLT) производится создание системы нечеткого вывода или адаптера (рис.2)

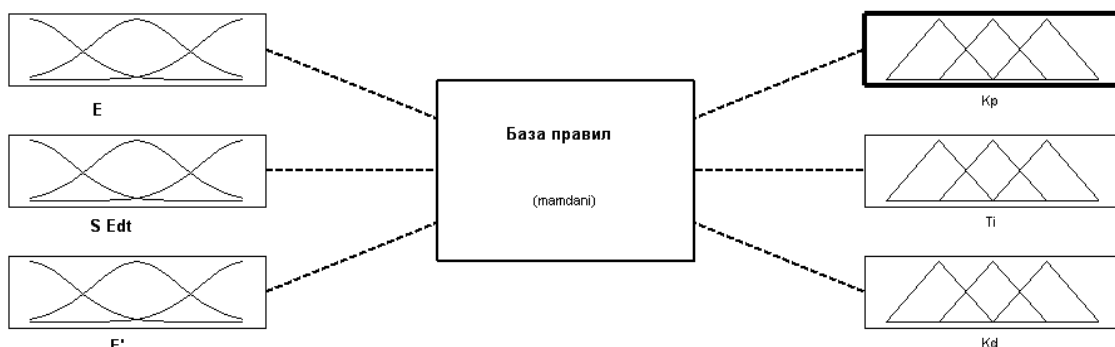


Рис. 2. Графический интерфейс редактора FIS

На третьем этапе проводится фаззификация входных и выходных лингвистических переменных (ЛП). Фаззификация входных значений (ошибки регулирования (E), ее интеграла и производной) производится согласно рекомендациям [4]. Графики функций принадлежности входных ЛП представлены на рис. 3 - 5.

Функцию принадлежности Z-вида, представляющую терм – «отрицательная ошибка «otr»» можно представить в виде:  $f_z(x, -0.6, -0.1) = [1, x < -0.6; -0.1 - x / 0.5; 0, -0.1 < x]$ .

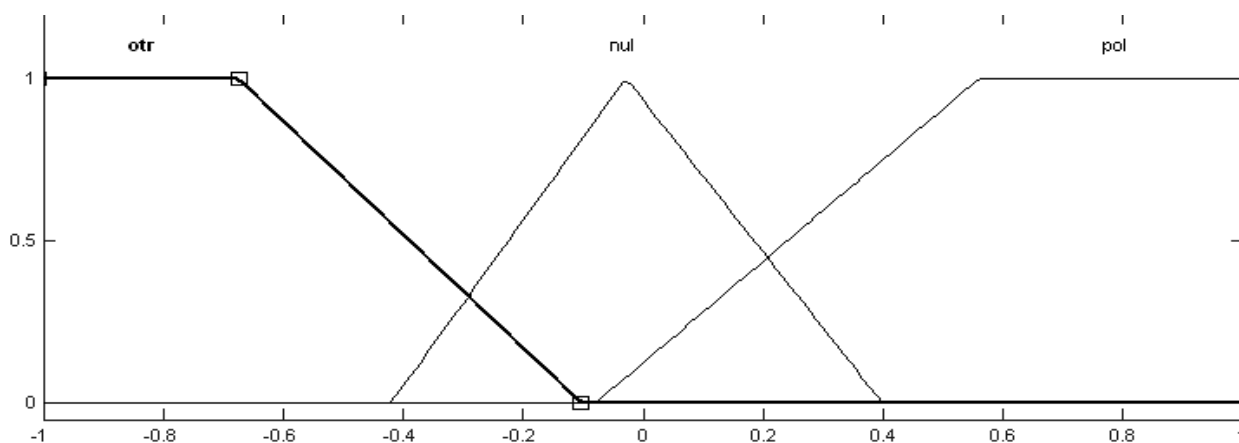


Рис. 3. Функции принадлежности ЛП «ошибка»: otr - отрицательная, nul – нулевая, pol – положительная

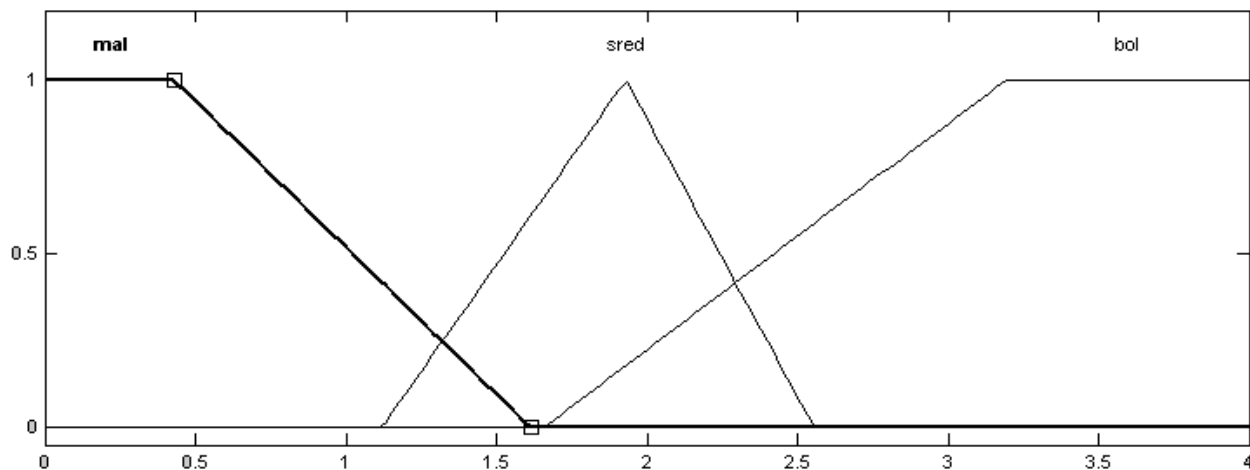


Рис. 4. Функции принадлежности ЛП «интеграл ошибки»: mal – маленький, sred – средний, bol – большой

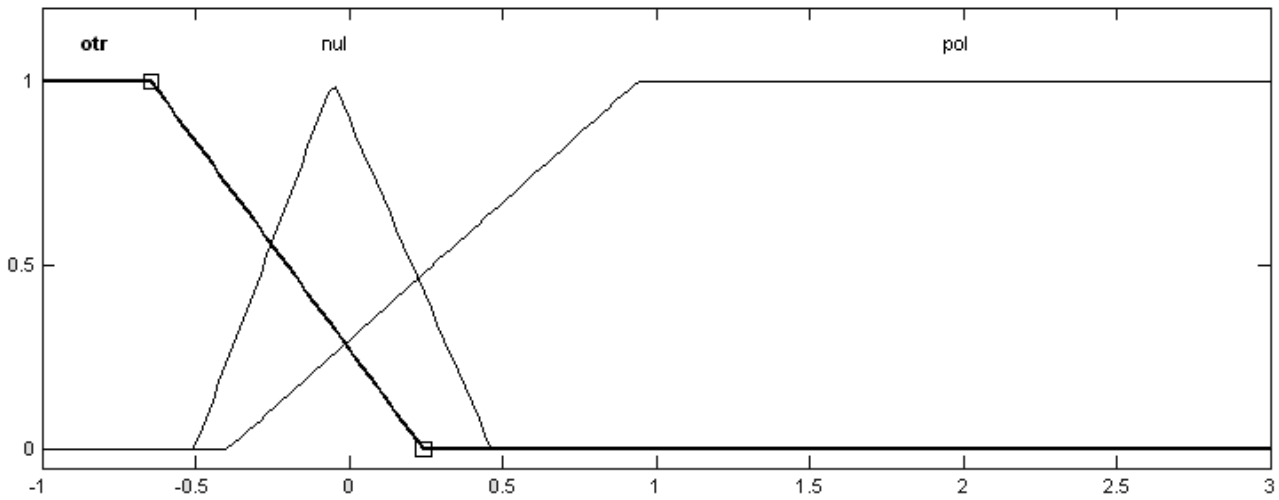


Рис. 5. Функции принадлежности ЛП «производная ошибки»

Этап фаззификации выходных ЛП «настройки ПИД-регулятора» проведен с учетом рекомендаций [4,5] и представлен на рис. 6.

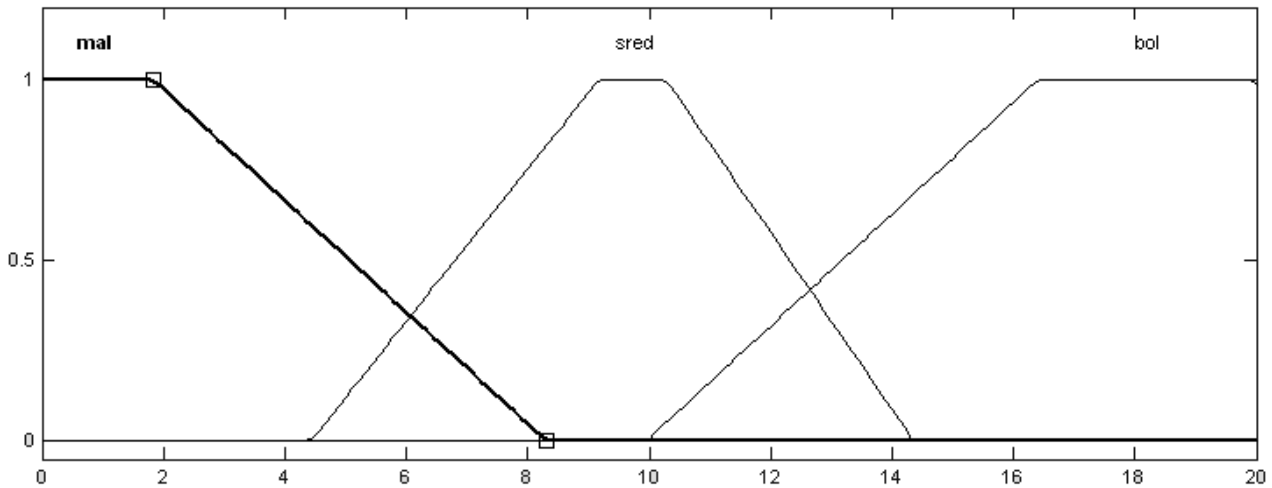


Рис. 6. Функции принадлежности ЛП «коэффициент усиления  $K_p$ »:  
mal – маленький, sred – средний, bol – большой

Функции принадлежности ЛП « $T_i$ » и « $K_d$ » также отображаются Z и S – образными графическими видами. Следует отметить, что  $T_i$  лежит на универсуме [0-5], а  $K_d$  = [0-15].

Четвертый этап заключается в создании базы правил вида «ЕСЛИ ...ТО». Исходя из рекомендаций из специализированной литературы [5], проведенных экспериментов в редакторе FLT, а также опыта экспертов-наладчиков систем автоматизации, предлагаются следующие правила: ЕСЛИ «ошибка есть отрицательная» И «интеграл ошибки есть маленький» И «производная ошибки есть отрицательная» ТО « $K_p$  есть большой», « $T_i$  есть большой», « $K_d$  есть большой» и т.д. (рис. 7)

1. If (oshibka is otr) and (integ is mal) and (proizvod is otr) then (Kp is bol)(Ti is bol)(Kd is bol) (1)
2. If (oshibka is otr) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
3. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)
4. If (oshibka is nul) and (integ is sred) and (proizvod is nul) then (Kp is sred)(Ti is sred)(Kd is sred) (1)
5. If (oshibka is pol) and (integ is bol) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is mal)(Kd is mal) (1)
6. If (oshibka is pol) and (integ is mal) and (proizvod is pol) then (Kp is mal)(Ti is bol)(Kd is mal) (1)
7. If (oshibka is otr) and (integ is bol) and (proizvod is nul) then (Kp is bol)(Ti is mal)(Kd is sred) (1)

Рис.7. Фрагмент базы правил



На следующем этапе проводится компьютерное апробирование нечеткой модели. В первоначальном эксперименте использовалась АСР с ПИД-регулятором, функционирующем по каналу задания  $Z=1$ , при влиянии на объект канала возмущения при этом:  $W_{об}(S) = 2.5/(5S^2+3S+1)$ ;  $W_N(S) = 0.5/(5S+1)$ . Настройка регулятора проводилась методом Зиглера-Николса. Значения настроек равны  $K_p=1.3$ ;  $T_i=0.15$ ;  $K_d=10.3$ , а переходный процесс удовлетворяет основным показателям качества. Предположим, что в связи с неопределенностью условий эксплуатации объекта, произошло изменение значений ключевых параметров такового. Например,  $W_{об}(S) = 2.5/(15S^2+2S+1)$ ;  $W_N(S) = 3.5/(15S+1)$ . При известных настройках регулятора, переходный процесс с новыми значениями передаточных функций обладает перерегулированием  $G=80\%$ , что недопустимо (рис.8).

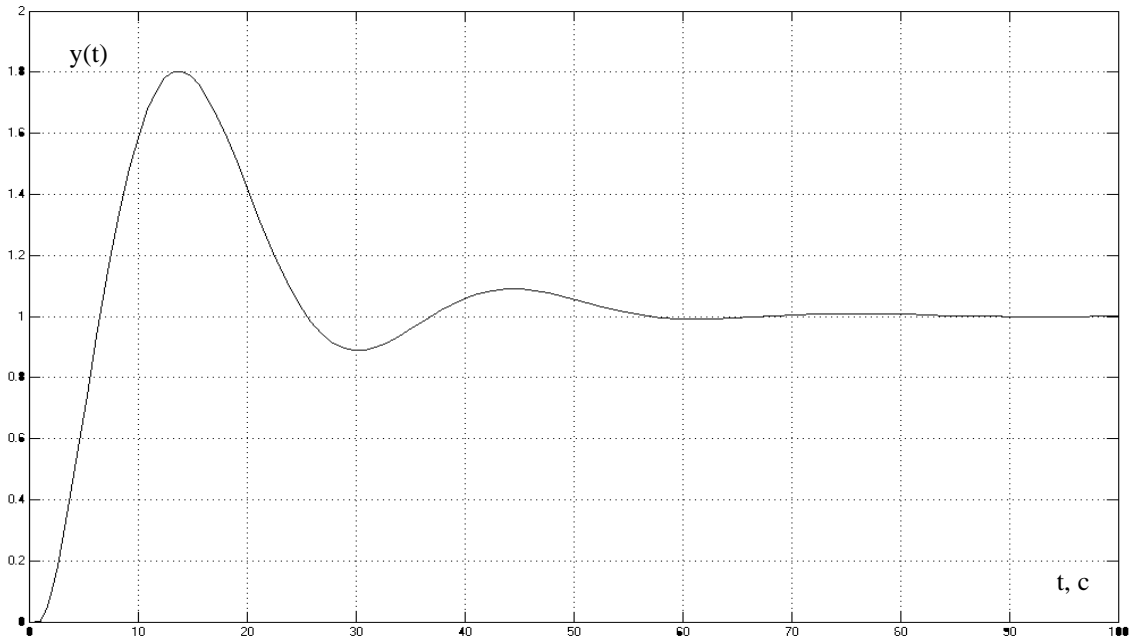


Рис. 8. Переходный процесс по каналу задания

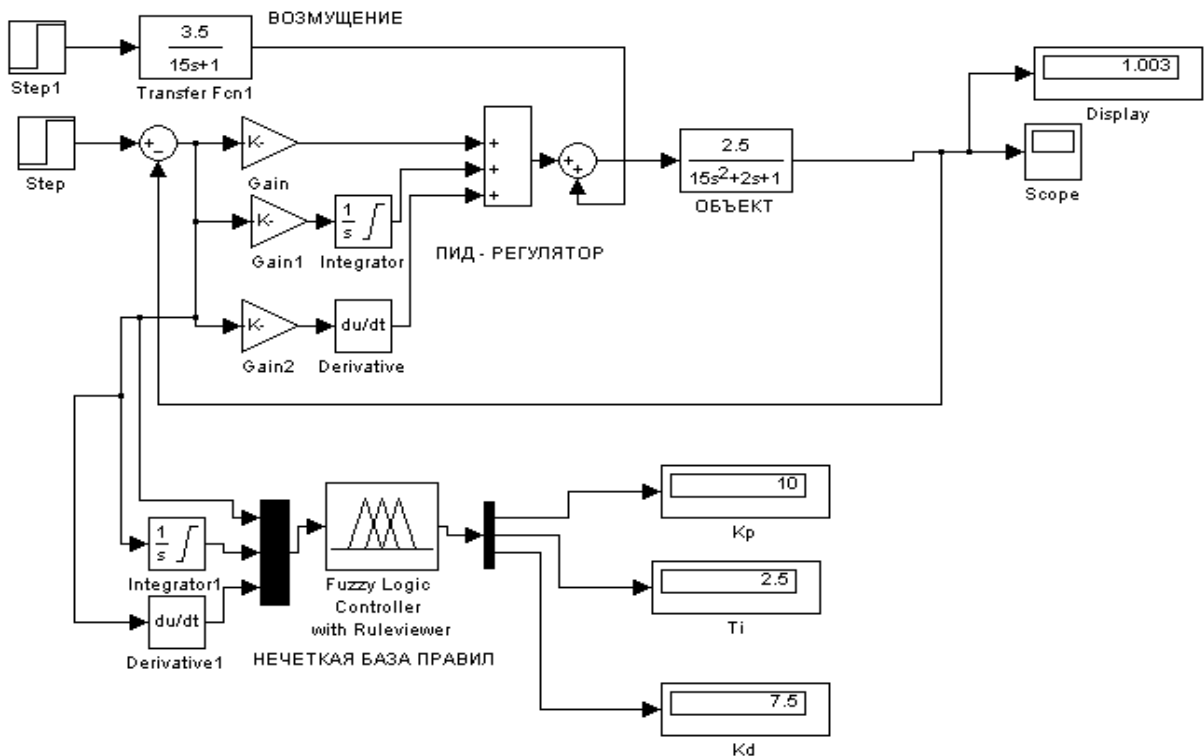


Рис. 9. Экспериментальная схема, выполненная в программе (Simulink)

Таким образом, необходима временная остановка сложного технологического процесса и перенастройка значений настроек ПИД-регулятора.

Произведем проверку нечеткого адаптера при известных условиях (рис.9). Нечеткая система выдала следующие результаты:  $K_p=10$ ;  $T_i=2.5$ ;  $K_d=7.5$ , а переходный процесс регулирования при данных настройках для ПИД-регулятора показан на рис.10.

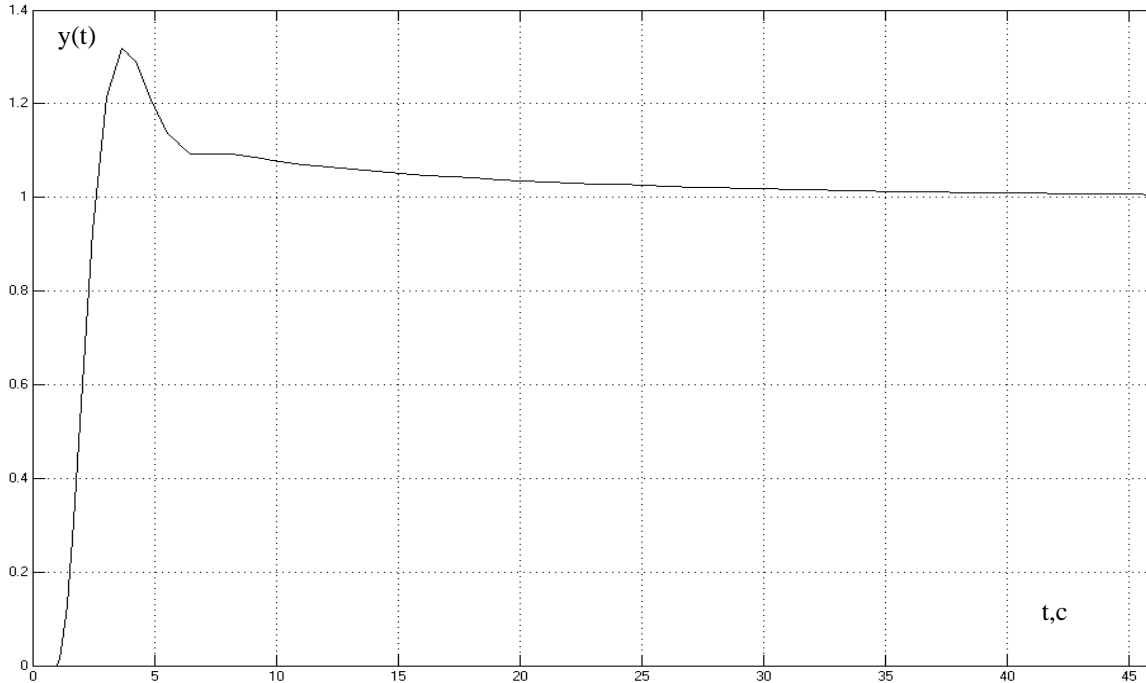


Рис. 10. Переходный процесс, полученный при адаптивных настройках

Как видно из рис.10, перерегулирование  $G$  не превышает 30%, что допустимо, а время регулирования  $T_p$  уменьшилось по сравнению с предыдущим на 30 секунд. Результат работы нечеткого адаптера в программе Matlab (FTL) показан на рис.11.

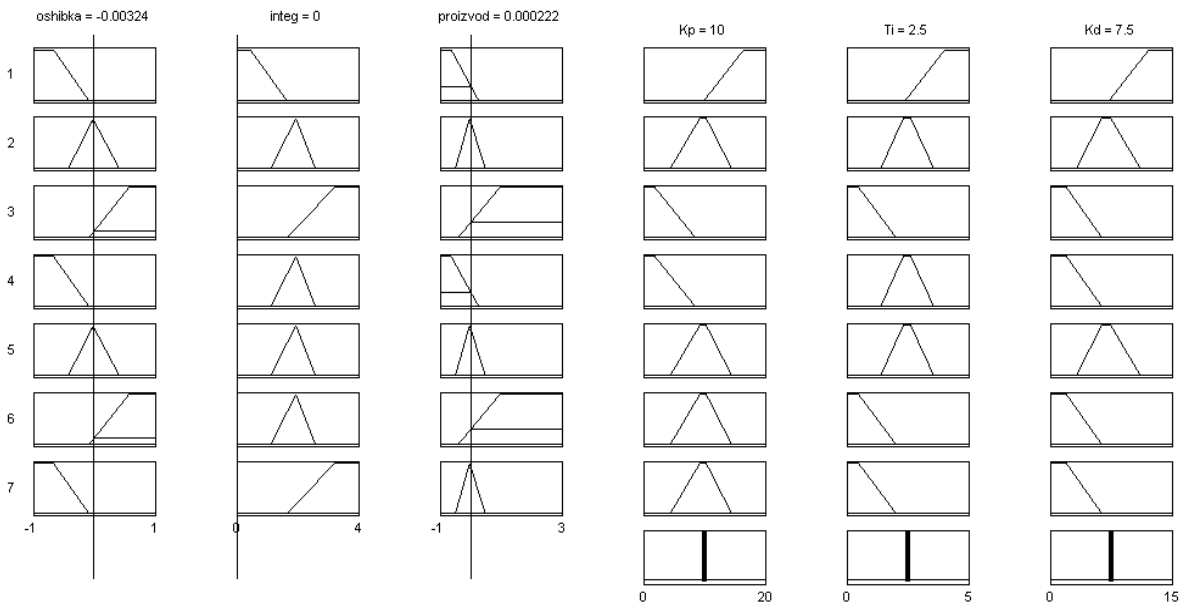


Рис. 11. Результат работы нечеткого адаптера

Таким образом, использование нечетких адаптивных ПИД-регуляторов позволит эффективно управлять технологическими процессами без их остановов, а дальнейшее введение нейροкомпьютера может привести к самообучающейся адаптации по определению оптимальных настроек без корректировки базы правил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дьяконов В.П. Simulink 5/6/7 Самоучитель. – М.:ДМК, 2008 – 781с.
2. Леоненков А. Ю. Нечеткое моделирование в среде Matlab и fuzzyTech. – С. – Птб.: БХВ, 2003. – 720 с.
3. Мелихов А.Н. и др. Ситуационные советующие системы с нечеткой логикой. – М.: Наука, 1990. – 272 с.
4. Ротач В.Я., Ключев А.С. Автоматизация настройки систем управления. М.: Энергоиздат, 1984 – 272 с.
5. Алиев Р.А., Церковный А.Э., Мамедова Г.А. Управление производством при нечеткой исходной информации. М.: Энергоиздат. 1991. – 234 с.

## СУЧАСНІ ТЕХНІЧНІ ЗАСОБИ, КОМПЛЕКСИ І СИСТЕМИ

УДК 681.51

### АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ БРАГОРЕКТИФИКАЦИОННЫМИ УСТАНОВКАМИ СПИРТОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Стопакевич А.А., Тодорцев Ю.К.

#### **Введение**

Получение устойчиво высокого качества этилового спирта в процессе производства является одной из важнейших задач спиртовой промышленности. Основным видом оборудования для выделения и очистки спирта являются брагоректификационные установки (БРУ). На протяжении многих лет типовыми в спиртовой промышленности являются БРУ косвенного действия [1], обеспечивающие выработку спирта высокого качества при концентрации, удовлетворяющей современным стандартам. В состав типовой БРУ косвенного действия входят бражная (БК), элюрационная (ЭК) и ректификационная (РК) колонны с дефлегматорами, конденсаторами и вспомогательным оборудованием.

Особенностью БРУ как объекта управления является то обстоятельство, что в связи с экстремальностью статических характеристик колонн и зависимостью качества спирта от режима работы установки [2], стабилизация технологического режима БРУ должна вестись точно, несмотря на действующие возмущения, поступающие с потоками бражки, пара, охлаждающей воды. Отмечено, что нелинейность статических характеристик при не достаточно точном управлении приводит к появлению хаотических колебаний в системах. Поскольку эти характеристики не склонны к дрейфу, системы экстремального управления не применяют.

Проанализируем кратко состояние автоматизации процессов БРУ спиртового производства.

#### **Типовые системы управления**

Фундаментальным исследованием типовых БРУ как объектов управления является монография [2]. Там же описаны разработанные в результате масштабных исследований НПО «Пищепромавтоматика» типовые системы управления. В основу разработки систем положен поколонный принцип, в соответствии с которым система управления каждой колонной разработана независимо от систем управления других колонн. При этом не учитывался как рецикл по непастеризованному спирту, так и то обстоятельство, что расход бражки, являющийся управлением в системе регулирования БК, влияет на все технологические параметры ЭК и РК. Отметим также, что поскольку количество переменных, которые можно стабилизировать, значительно превышает количество доступных управляющих воздействий, имеется значительная свобода в формировании контуров регулирования. Предложенная в качестве альтернативы система управления со стабилизацией расхода бражки потребовала использования каскадной системы, поскольку теряется одно управляющее воздействие, и вместо трех независимых параметров, определяющих режим (по числу степеней свободы) БК, удастся поддерживать всего два. Это же замечание относится и к системе управления с переключением управляющих воздействий (расходы бражки и пара). Кроме того, релейный характер изменения управляющих воздействий при переключении не очень благоприятно сказывается на режиме работы колонны и регулирующей аппаратуре. Аналогичные обстоятельства складываются и при продольной стабилизации БРУ «с хвоста», то есть при использовании регулятора расхода спирта. При этом теряется управляющее воздействие и, соответственно, возможность стабилизации одного

из параметров в РК. Дальнейший анализ литературы показывает, что совершенствования типовых систем управления до начала 90-х годов практически не происходило [3].

### **Направления совершенствования типовых систем**

Здесь, для представительности анализа, в обзор включим не только БРУ, но и ректификационные установки химической промышленности.

Во-первых, при совершенствовании типовых систем уделено внимание исследованию робастности систем управления колоннами, рассматриваемыми как взаимосвязанные объекты управления, управляемые стандартными невязанно связанными контурами регулирования. Так, в работе [4] использована система управления двумя взаимосвязанными параметрами на базе стандартных регуляторов. В работе [5] приведена система из пяти невязанно связанных одномерных контуров регулирования, исследовано влияние больших возмущений на установившееся состояние выходных переменных. В монографии [6] описаны типовые системы управления ректификационными колоннами, предложено использование ряда каскадных систем для управления. В статье [7] описаны наиболее широко используемые контуры регулирования в ректификационных колонах, а также представлены некоторые принципы выбора системы управления ректификационной колонны в зависимости от объема производства. В статье [8] проведено сравнение нескольких методов построения каскадных систем для двухкомпонентных ректификационных колонн, рассмотрена проблема подбора оптимальных параметров. В статье [9] разработана система управления ректификационными колоннами, совмещающая принципы косвенного регулирования с использованием теоретических динамических моделей и каскадный метод построения систем управления, которая показывает лучшие результаты по производительности, чем системы управления, привязанные к реальным параметрам управления. В монографии [10] проведен пример построения простейшей структуры регулирования, регулирования с упреждением и каскадного регулирования, уделено внимание методике выбора оптимальных точек регулирования и вопросам энергопотребления производства.

Во-вторых, использовались простейшие одноконтурные системы управления с предсказанием поведения параметра по упрощенной нелинейной модели процесса [11]. Сравнительный анализ нелинейного управления с предсказанием с традиционными алгоритмами управления проведен в [12]. Система упреждающего управления с использованием метода инверсивного построения математической модели разработана в статье [13], приведены результаты испытания на производстве. В монографии [14] и статье [15] рассмотрены вопросы создания системы упреждающего управления, их надежности, синтеза в среде Matlab. В статье [16] произведено сравнение нескольких популярных систем упреждающего управления и простых систем для ректификационных колонн, показано что NPMС (модельное управление нелинейными процессами) является наиболее эффективной из рассматриваемых систем.

В-третьих, рассмотрено использование адаптивных систем управления. В статье [17] рассмотрен вопрос использования самонастраивающихся ПИ- и ПИД регуляторов (алгоритм STPID) в для управления ректификационными колоннами. В статье [19] рассматривается пример комплексной автоматизации при управлении ректификационными колоннами с использованием адаптивных регуляторов без моделей (MFA), оптимизированных для различных типов измерения. В статье [19] разработана система упреждающего управления, базирующаяся на модели, связывающей концентрацию продукта с температурой верха. Схожая модель, учитывающая нижние продукты, разработана в статье [20]. В статье [21] приведен пример применения простейшего регулятора с моделью для автоматизации ректификационной колонны, показано, что при определенном подходе можно получить результаты, сравнимые с использованием системы на приближенно настроенном ПИ регуляторе. В работе [22] разработана система управления ректификационной колонной для колонны с 3 входами и выходами с компенсатором взаимосвязей и трех автономных нечетких ПИ регуляторов.

В-четвертых, исследованы вопросы разработки нейронных и нечетких регуляторов для ректификационных колонн. Прежде всего, это монография [23]. В работе [24] приведен пример использования самообучающегося нейронного регулятора для разделения бинарной смеси. В статье [25] рассмотрен пример использования нейронного регулятора для разделения 3-х компонентной смеси в ректификационной колонне, проведено сравнение системы с ПИ регулятором.

Наконец, ряд работ посвящен разработке и исследованию многомерных систем управления колоннами. В работе [26] создана многомерная система управления, использующая наблюдатель, для экспериментальной модели ректификационной колонны, имеющей два входа и выхода. Отмечено значительное улучшение качества управления колонной. Сравнение алгоритмов построения наблюдателей для ректификационных колонн приведено в статье [20]. В работе [27] на основе упрощенной модели колонны с двумя входами и выходами создан многомерный пропорциональный регулятор, настроенный по теории управления  $H^\infty$ . Большая эффективность алгоритма управления  $H^\infty$  в сравнении с одноконтурными системами, построенными на ПИ алгоритме регулирования, показана в работе [28]. В работе [29] предложены новые алгоритмы и структура контуров управления эшюраторной колонной.

### Современные промышленные внедрения АСУ ТП БРУ в СНГ

В связи с широким использованием компьютерной техники для управления технологическими процессами, происходит переоснащение систем управления спиртовыми заводами. Ряд современных систем приведен в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика промышленных систем автоматизации, внедренных в 2001-2009 гг.

№	Спиртзавод	Контроллер	Компьютер	SCADA, ОС	Ссылка
1	Мамадышский	WAGO 750	IBM PC	InTouch, Windows 2000	[30]
2	Козловский	-	IPC-6110P4	Silver 2.0, QNX	[31]
3	Шабалинский	КОНТРАСТ КР-300	IBM PC	Оригинальная SCADA, Windows	[32]
4	Ливны	I-7000/I-8000	IBM PC	InTouch, Windows	[33]
5	20 заводов	Schneider Electric	IBM PC	InTouch, Windows	[34]

Во всех системах автоматизации использован тот или иной вариант типовой системы управления.

### Заключение

К 1975 году разработаны типовые системы управления БРУ. Эти системы не потеряли своей актуальности и в настоящее время – в программном обеспечении современных компьютерно – интегрированных систем управления продолжают реализовывать эти системы. Хотя необходимость совершенствования таких систем отмечена, в частности, на совещании производителей [35]. Несмотря на развитие одномерных систем управления – робастных, адаптивных, нейронных, нечетких, наиболее высокий прирост качества управления отмечен при использовании многомерных систем управления ректификационными колоннами. Это обстоятельство обусловлено тем, что процессы ректификации в принципе многомерные, так как их состояние характеризуется тремя полями: полем концентрации, полем температуры и полем давления. А многомерные регуляторы наиболее адекватно соответствуют многомерности объекта. В то же время отмечено, что не рассмотрено многомерное управление БРУ, состоящей из трех колонн в целом, с учетом влияния продуктовых потоков и рецикла по непастеризованному спирту, что должно повысить качество управления установкой в целом.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Технология спирта/под.ред. В.Л.Яровенко.– М.: Колос, 2002.– 464с.
2. Мандельштейн М.Л. Автоматические системы управления технологическим процессом брагоректификации. – М.: Пищевая промышленность, 1975.– 240с.
3. Соколов В.А. Автоматизация технологических процессов пищевой промышленности.– М.: Агропромиздат, 1991.– 445с.
4. Торгашов А.Ю. Итерационный синтез робастного многомерного ПИД-регулятора для управления реакционно-ректификационной колонной// Проблемы управления.– № 4.– 2006.– С.26–31
5. Mahoney D.P., Fruehauf P.S. An integrated approach for distillation column control design using steady state and dynamic simulation.– AspenTech Publications, 1997.
6. Svrcek W.Y., Mahoney D.P., Young B.R. A real-time approach to process control.– Chichester (England): John Willey & Sons, 2006.– 327p.
7. Fruehauf P.S., Mahoney D.P. Distillation column control design using steady state models: usefulness and limitations// Chemical Business Bombay.– V.21.– N.11.– 2007.– P.42–50
9. Nyström R.H. e.a. Application of robust and multimodel control methods to an ill-conditioned distillation column/ Nyström R.H., Böling J.M., Ramstedt J.M., Toivonen H.T., Häggblom K.// Journal of Process Control. – V. 12.– N.1.– 2002.–P.39-53
10. Kano M. Inferential control of distillation composition.– Kyoto University, 2001.– P. 1–9
11. Corriou J.P. Process Control: Theory and Applications.– N.Y. (USA): Springer, 2004.– 752p.
12. Rueda A. e.a. Non-linear predictive control for a distillation column// Proc. 44 IEEE Conf. on Decis. and Control and European Control Conf., Spain. Dec.12–15, 2005.– P.5155–5161
13. Diehl M. e.a. An efficient algorithm for nonlinear model-predictive control of large scale systems. Part 2. Experimental evaluation for a distillation column// Anwendungsaufsatz.– N 1.– 2003.– P. 22–29
14. Broll J., Rix A., Gelbe H. Nonlinear model-based feedforward control of distillation columns // Chemical Engineering & Technology.– V. 18.– N 3.– 2004 –P. 178 – 182
15. Albertos P. A, Sala P. Multivariable Control Systems: An Engineering Approach.– N.Y. (USA): Springer, 2004.– 340 p.
16. Jana A.K. Inferential state estimator design for a batch// International Journal of Modeling, Identification and Control.– 2007 – V. 2.– N.2 – P. 75 – 87
17. Nakaiwa M. e.a. Operating an Ideal Heat Integrated Distillation Column with Different Control Algorithms// Computers Chem. Engng.– V. 22.– 1998.– P. 389–393
18. Hapoglu H., Balas C.E., Wardle A.P. Self-tuning and conventional control of an industrial scale packed distillation column// Tr. J. of Eng. and Environmental Sci.– V.22.– 1998.– P. 1–8.
19. MFA Control and Optimization of Distillation Columns.– www.cybosoft.com
20. Zumoffen D. e.a. Predictive functional control applied to multicomponent batch distillation column// European Symp. on Comp. Aided Proc. Eng.–Elsevier Science, 2005.– P.15–25
21. Jana A.K., Samanta A.N., Ganguly S. Nonlinear model-based control algorithm for a distillation column using software sensor// ISA Trans.– 2005.–N4.– P. 44–71
22. Di Mascio, R, Barton, G.W and Romagnoli, J.A. Model-based Control of an Industrial Distillation Column// Control 92: Enhancing Australia's Productivity Through Automation, Control and Instrumentation; Preprints of Papers.– Barton, ACT: Institution of Engineers, Australia, National conference publication.– 1992, P. 309–315
23. Harinath E. Fuzzy PI control system design for distillation column.– University of British Columbia, USA, 2008.– 10p.

24. Agachi P.S. e.a. Model based control. – Weinheim (Germany): Willey –VCH, 2006.– 290p.
25. Singh V e.a. Online estimator for distillation column using ANN//Proc. of International Control Conference ICC2006, Glasgow, 30 Aug. – 1 Sept. 2006.– P.74–80
26. Brizuela E., Uria M., Lamanna R. Predictive Control of a Multi–Component Distillation Column Based on Neural Networks// International Workshop on Neural Networks for Identification, Control, Robotics, and Signal/Image Processing (NICROSP '96).– 1996 .– P.2–70
27. Yu C.C., Lyiben W.L. Control of multicomponent distillation columns using rigorous composition estimators// I.Chem.E. Symposium Series.– V.104.– P.29–68.–1988
28. Xianku Z., Yicheng J. Control of a multivariable high–purity distillation column based on closed–loop gain shaped algorithm// Int.J.of Inform. Tech.–V.11.–N 5.– P. 116–123.– 2005
29. Murad, G.A.; Da–Wei Gu; Postlethwaite, I. Robust internal model control of a binary distillation column// Industrial Technology, 1996. (ICIT 96), Proc. of the IEEE International Conference 2–6 Dec 1996.– P. 194 – 198
30. Пупена О. М. Автоматизоване управління брагоректифікаційною установкою з використанням алгоритмів оперативної корекції технологічного режиму: Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.07 / Нац. ун–т. харчових технологій— Київ, 2008. — 20 с
31. Антропов Д., Петров Т., Линник В., Автоматизированная система управления брагоректификационной установкой// СТА.– №1.–2004.–С.36–41
32. Гунько А., Комиссаров И., Дорофеев А. Комплексный подход к построению систем управления технологическими процессами производства спирта// СТА.– №1.– 2006.–С.34–38.
  - 1) Реализация АСУ брагоректификационного отделения спиртзавода [www.aisfirm.kiev.ua/news/Spirt\\_BRU.html](http://www.aisfirm.kiev.ua/news/Spirt_BRU.html)
  - 2) Результаты внедрения автоматизированной системы управления брагоректификационной установкой на ОАО «Этанол» г. Ливны [www.spservis.com/articles/etanol/etanol.htm](http://www.spservis.com/articles/etanol/etanol.htm)
33. Кириллов Е.А., Система автоматического управления и регулирования технологическими процессом брагоректификации// Промышленные АСУ и контроллеры.– №1.– 2001.– С. 17-23
34. Касьянов Ю.В. О перспективных направлениях в производстве спирта// Материалы совещания «Стратегическое направление устойчивого развития и деятельности предприятий ФГУП «Росспиртпром».– Москва, 2002.– С. 30–40



## АНОТАЦІЇ

**Кириллов О.Л. Моделювання процесу управління системою перевантаження вуглеводневих рідких палив / О.Л. Кириллов, Г.С. Якимчук // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 5 – 7.**

У роботі розглянута загальна тенденція розвитку операції перевантаження. Показано адаптацію досліджуваної операції до систем автоматичного перевантаження вуглеводневих рідких палив (ВРП). За допомогою комп'ютерної програми MatLab проведено моделювання процесу перевантаження з дискретизацією елементів системи і аналізом отримуваних вихідних характеристик. Результат розгляду має на меті показати реалізацію теоретичних висновків і розрахункових параметрів у вигляді замкнутої системи, що забезпечує реалізацію необхідних режимів заповнення ВРП в умовах електростатичної безпеки (ЕСБ). Розглянутий вплив режимів постійних витрат, що змінюються і оптимального, на формування заряду поверхні ВРП і час проведення вантажної операції. Показана можливість впливу видів ланцюгів регулятора на формування режимів перевантаження. В результаті показана можливість споруди автомата заповнення по необхідних режимах, визначений зв'язок між режимами і формуванням потенціалу поверхні j ВРП, підтверджена ЕСБ управління системами перевантаження в різних режимах.

**Тодорцев Ю.К. Математична модель контура теплопостачання когенераційної енергетичної установки / Ю.К. Тодорцев, О.С. Ларіонова, А.М. Бундюк // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 8 – 11.**

Представлена математична модель контура теплопостачання когенераційної енергетичної установки. Отримана модель може бути використана для дослідження динамічних властивостей контура.

**Селяков Є.Б. Моделювання вимог до технічних систем методами математичної логіки / Є.Б. Селяков // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 12 – 17.**

У статті розглянуто спосіб моделювання взаємозв'язків між вимогами до технічної системи за допомогою завдання предикатів стосунків між множинами вимог. За рахунок вживання апарату математичної логіки даний спосіб моделювання вимог надає можливість алгоритмізувати вирішення таких завдань автоматизованого проектування, як визначення необхідних вимог до системи і перевірка набору вимог на повноту.

**Хомченко А.Н. Метод барицентричного усереднення потенціалів електростатичного поля / А.Н. Хомченко, О.І. Литвиненко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 17 – 20.**

Описано метод барицентричного усереднення з трилінійним, трикубічним і тригонометричним базисами.

**Шейник С.П. Використання функцій приналежності для моделювання параметрів розподілених об'єктів / С.П. Шейник, Г.В. Рудакова // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 20 – 25.**

У статті розглянуті можливості застосування функцій приналежності для моделювання урахування різних коефіцієнтів у просторово розподілених об'єктах. Для формування залежностей використані функції приналежності П-образного виду, які отримані на основі S і Z-Образних функцій приналежності. Проведене моделювання функцій приналежності й просторових коефіцієнтів  $k(x)$ , що залежать від однієї й двох координат.

**Яшина К.В. Комплексна математична модель теплових процесів, які відбуваються в дугових електросталеплавильних печах / К.В. Яшина, О.В. Садовой // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 26 – 32.**

В статті наведено дослідження теплових процесів в дугових електросталеплавильних печах змінного струму з урахуванням значень потужності, що подається в піч кожним електродом; кількості тепла хімічних реакцій; складових шихти, розплаву, шлаку та пічного газу; форми печі.

**Голощанов С.С. Вимір добротності коливального контуру на основі методу биття частот / С.С. Голощанов, А.В. Петровський, Ж.А. Рожко, О.І. Боярчук // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 33 – 37.**

У статті розглядаються питання виміру добротності послідовного резонансного контуру на основі методу биття частот. Запропоновано структуру вимірювача, що забезпечує підвищення точності настроювання контуру в резонанс і виміру його добротності.

**Завгородній А.Б. Порівняльне дослідження твердотільних і рідиннофазних об'єктів методом газорозрядної візуалізації / А.Б. Завгородній // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 38 – 42.**

Проведено експериментальне дослідження особливостей газорозрядної візуалізації (ГРВ) твердотільних об'єктів з модельним дефектом (пазом) а також рідиннофазних об'єктів. Показано, що денситограми (регистрограми) як, твердо- так і рідиннофазних об'єктів при ГРВ мають свою свої характерні риси та особливості.

**Клименко А.К. Обернена модель для розв'язання завдань із багатозв'язними динамічними об'єктами / А.К. Клименко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 43 – 49.**

Розглядається завдання створення зворотної моделі багатозв'язного динамічного об'єкта на засобах дискретної обчислювальної техніки. Приводяться математичні співвідношення, що забезпечують можливість створення наближеної оберненої моделі, що відрізняється від ідеальної тільки часовим запізнюванням. Описується схемна реалізація оберненої моделі.

**Дідик О.О. Класифікація мас-спектрів за допомогою кооперативного імунного алгоритму / О.О. Дідик, А.О. Фелелов, В.І. Литвиненко, С.В. Шкурдода, Ф.В. Сняков // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 50 – 58.**

У роботі описані результати застосування розробленого авторами кооперативного алгоритму штучної імунної мережі для рішення задач класифікації мас-спектрів. Наведено результати проведених порівняльних експериментальних дослідженні з іншими алгоритмами.

**Рашкевич Ю.М. Афінні перетворення в модифікаціях алгоритму RSA шифрування зображень / Ю.М. Рашкевич, А.М. Ковальчук, Д.Д. Пелешко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 59 – 65.**

Зображення є одними із найбільш вживаних видів інформації в сучасному інформаційному суспільстві. Відповідно актуальною задачею є захист зображень від несанкціонованого доступу та використання. Проблема захисту від несанкціонованого доступу є складнішою в порівнянні з проблемою захисту використання. Основним базисом для організації захисту зображення є таке припущення: зображення – це стохастичний сигнал. Це спричинює перенесення класичних методів шифрування сигналів на випадок

зображень. Але зображення є специфічним сигналом, який володіє, в додаток до типової інформативності (інформативності даних), ще й візуальною інформативністю. В зв'язку з цим до методів шифрування у випадку їх використання стосовно зображень висувається ще одна вимога – повна зашумленість зашифрованого зображення. Це потрібно для того, щоб унеможливити використання методів візуальної обробки зображень. Алгоритм RSA є одним із найбільш вживаних промислових стандартів шифрування сигналів. По відношенню до зображення існують певні проблеми його шифрування, а саме частково зберігаються контури на різко флюктуаційних зображеннях. Тому актуальною задачею є розробка модифікації методу RSA такої, щоб зберегти стійкість до дешифрування та забезпечити повну зашумленість зображення, з метою унеможливити використання методів візуальної обробки зображень. Одним із шляхів вирішення цієї задачі є використання афінних перетворень.

**Біленко М.С. Ідентифікація деформацій періодичних структур з використанням систем технічного зору / М.С. Біленко, С.О. Рожков, М.Б. Єдинович // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 66 – 70.**

Розглянуто метод визначення деформацій регулярної текстури для телевізійної системи контролю якості тканин. Показано можливість визначення перекосу при аналізі структур, що мають різні ступені періодичності і анізотропії.

**Руднєва М.С. Принципи побудови оптимальної структури інформаційно-вимірювальної системи геометричних розмірів об'єктів в діапазоні від 1 нм до 1000 нм / М.С. Руднєва, О.В. Кочеткова, Р.О. Задорожній // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 71 – 74.**

У статті розглядаються основні принципи оптимальної структури системи вимірювання і ідентифікації складних просторових геометричних об'єктів розміром від 1 нм до 1000 нм. Запропоновані моделі і алгоритми, які надають можливості удосконалити процес ідентифікації і проводити вимірювання довжини в межах одного нанометра.

**Тверезовський В.С. Оптимізована модель вимірювача добротності варикапів / В.С. Тверезовський, Р.В. Бараненко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 75 – 79.**

Проведено аналіз вимірювачів добротності напівпровідникових приладів, на підставі якого для усунення недоліків існуючих пристроїв розроблений прилад для вимірювання добротності варикапів з розширеними функціональними можливостями.

**Касаткіна Н.В. Методи зберігання і обробки нечітких даних в середовищі реляційних систем / Н.В. Касаткіна, С.С. Тянянський, В.О. Філатов // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 80 – 86.**

Стаття присвячена дослідженню методів і структур збереження та обробки нечітких даних засобами реляційного подання й моделювання. Запропоновано схему реляційної моделі даних для подання функцій належності лінгвістичних змінних. Технологія подання функцій належності лінгвістичних змінних засобами реляційної моделі дає змогу проводити аналіз даних в розрізі нечітких запитів. Це дозволяє отримати новий інструмент для добування нових раніше недоступних даних і знань. Наведено приклад, що підтверджує ефективність використання запропонованого підходу.

**Кучеров Д.П. Принципи побудови інтелектуального автостернового / Д.П. Кучеров, З.Н. Копилова // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 87 – 94.**

У статті досліджуються підходи до побудови інтелектуального автостернового. Формулюються принципи його побудови й деякі термінологічні поняття, що стосуються його властивостей. Пропонується узагальнена структурна схема інтелектуального автостернового.

**Ляшенко О.М. Аналіз пожежної небезпеки соснових насаджень в зоні Ніжнеднепровських пісків – найбільшої пустелі в Європі / О.М. Ляшенко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 94 – 98.**

У статті надається опис методу, який дозволяє виконати оцінку пожежної небезпеки соснових насаджень з урахуванням метеорологічних чинників (температури повітря, температури точки роси, кількості опадів).

**Львов М.С. Алгоритм перевірки правильності границь змінення змінних у послідовних програмах / М.С. Львов // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 99 – 106.**

У даній роботі описано алгоритм розв'язання однієї з важливих практичних задач статичного аналізу програм, у яких реалізовані задачі фізичного змісту - задачі перевірки правильності границь зміни змінних у послідовних програмах. Алгоритм використовує базиси Гребнера й методи відділення дійсних коренів поліномів. Цей алгоритм може бути використаний також для задач дослідження функцій дійсної змінної в математичних системах навчального призначення.

**Єременко А.П. Прийняття рішень в автоматизованих системах з урахуванням психофункціональних характеристик оператора на основі генетичних алгоритмів / А.П. Єременко, В.І. Передерій // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 106 – 114.**

У роботі запропоновано алгоритми прийняття оптимальних рішень в автоматизованих системах для зміни стану людини-оператора з метою підвищення продуктивності системи. Розглянуто способи кодування приймаємих рішень и генетичні алгоритми їхньої оптимізації.

**Селякова С. М. Структура інтелектуальної системи управління збиральною кампанією / С. Селякова, М. // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 115 – 121.**

У статті приведена структура інтелектуальної системи управління збиральною кампанією та функціональні моделі її основних підсистем, які призначені для підтримки прийняття ефективних рішень по управлінню збиральною кампанією зернових культур в сучасних умовах сільськогосподарських підприємств.

**Теленик С.Ф. Управління навантаженням і ресурсами центрів оброблення даних при виділених серверах / С.Ф. Теленик, О.І. Ролік, М.М. Букасов, Р.В. Римар, К.О. Ролік // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 122 – 136.**

Розглядається проблема управління навантаженням і ресурсами центрів оброблення даних при виділених серверах. На основі огляду існуючих рішень і аналізу чинників впливу пропонується загальний підхід до розв'язання проблеми. У вигляді задач лінійного і нелінійного булевого програмування формулюються моделі закріплення за організаціями-клієнтами фізичних серверів за різними критеріями ефективності з урахуванням ресурсних та інших обмежень. Для вирішення задач пропонуються варіанти генетичного та евристичного алгоритмів, а для лінійних задач також комплексний алгоритм, побудований на вирішенні задач лінійного програмування з наступним використанням направленої перебору для визначення значень булевих змінних. Наводяться структура і опис функціонування системи управління інфраструктурою інформаційних технологій, в якій реалізовані запропоновані в статті моделі і алгоритми.

**Цмоць І.Г. Методи проектування спеціалізованих комп'ютерних систем управління та обробки сигналів у реальному часі / І.Г. Цмоць, Б.А. Демида, М.Р. Подольський // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 137 – 146.**

Розглянуто основні підходи, етапи синтезу, вибрано принципи побудови спеціалізованих комп'ютерних систем управління та обробки сигналів у реальному часі, вдосконалено метод просторово-часового відображення алгоритмів обробки в узгоджено-паралельні структури.

**Писаренко А.В. Алгоритм синтезу систем зі змінною структурою у ковзному режимі / А.В. Писаренко, І.Ю. Дробот // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 147 – 151.**

Виконано дослідження за допомогою моделювання у пакеті MATLAB/Simulink алгоритму робастного управління системами зі змінною структурою у ковзному режимі.

**Ладієва Л.Р. Оптимальне керування процесом контактної мембранної дистиляції / Л.Р. Ладієва, Р.М. Дубік // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 152 – 156.**

Запропоновано рішення задачі оптимального управління процесом контактної мембранної дистиляції, призначеної для виділення токсичних компонентів неоднорідної рідкої системи з метою збереження екологічної рівноваги. Розглянуто варіанти вибору критерію оптимальності і методу рішення задачі. Порівнюється використання методу досягнення мети з лінійно-квадратичною оптимізацією і з розміщенням полюсів замкнутої системи.

**Ладанюк А.П. Екстремальна адаптивна система з непараметричною ідентифікацією та багатопараметричним регулятором / А.П. Ладанюк, Д.О. Кроніковський // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 157 – 161.**

Стаття містить інформацію про нові підходи до використання екстремальних систем, а саме: наведена система є більш автономною за рахунок використання адаптації та автоматичної непараметричної ідентифікації. Система побудована з використанням багатопараметричного регулятора. Наведено приклад її застосування та зроблена оцінка її результативності.

**Лебеденко Ю.О. Модель нечіткого виводу для оптимального управління перетворювачем частоти в системах автономного живлення / Ю.О. Лебеденко, Г.В. Рудаківа // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 162 – 167.**

Стаття присвячена питанням побудови моделі нечіткого виводу для системи оптимального управління безпосереднім перетворювачем частоти. Запропоновано алгоритм, що дозволяє значно спростити процес вибору стратегії управління перетворювачем.

**Тімченко В.Л. Формування динамічних принципів управління рухомим об'єктом на основі методу структурно - перемикальних зворотних зв'язків / В.Л. Тімченко // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 168 – 173.**

Стаття присвячена питанням побудови оптимальних траєкторій і визначенню моментів часу перемикання керуючих функцій методом перемикальних зворотних зв'язків, яке здійснюється шляхом вирішення системи алгебраїчних рівнянь.

**Міхайленко В.С. Методи налаштування нечіткого адаптивного ПД-регулятора / В.С. Міхайленко, В.Ф. Ложечников // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 174 – 179.**

Стаття присвячена аналізу ефективності роботи САР з ПД-регулятором, який функціонує в умовах невизначеності властивостей об'єкту управління та САР з нечітким контролером у таких самих умовах. Результатом статті є розробка бази вимог до нечіткого регулятора та її апробація у MatLab, а також розрахунок регулятора складної структури.

**Стопакевич А.О. Аналіз сучасного стану систем управління брагоректифікаційними установками спиртного виробництва / А.О. Стопакевич, Ю.К. Тодорцев // Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи. – 2009. – № 2(24). – С. 180 – 184.**

Проаналізовано сучасний стан систем автоматизації брагоректифікаційних установок спиртової промисловості. Відмічено, що в впроваджених у СНД в останні роки комп'ютерно – інтегрованих системах автоматизації продовжують вживатися типові системи управління. В закордонних працях відмічено, що найкращий ефект дає використання систем багатовимірною управління. Але, всі багатовимірні системи розроблено для окремих колон.

## АННОТАЦИИ

**Кириллов О.Л. Моделирование процесса управления системой перегрузки углеводородных жидких топлив / О.Л. Кириллов, Г.С. Якимчук // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 5 – 7.**

В работе рассмотрена общая тенденция развития операции перегрузки. Показано адаптацию ис-следуемой операции к системам автоматической перегрузки углеводородных жидких топлив (УЖТ). С помощью компьютерной программ MatLab проведено моделирование процесса перегрузки с дискретизацией элементов системы и анализом получаемых выходных характеристик. Результат рассмотрения имеет целью показать реализацию теоретических выводов и расчетных параметров в виде замкнутой системы, обеспечивающей реализацию требуемых режимов заполнения УЖТ в условиях электростатической безопасности (ЭСБ). Рассмотрено влияние режимов постоянного, изменяющегося и оптимального расходов на формирование заряда поверхности УЖТ и время проведения грузовой операции. Показана возможность влияния видов звеньев регулятора на формирование режимов перегрузки. В результате показана возможность постройки автомата заполнения по необходимым режимам, определена связь между режимами и формируемым потенциалом поверхности  $j$  УЖТ, подтверждена ЭСБ управления системами перегрузки в различных режимах.

**Тодорцев Ю.К. Математическая модель контура теплоснабжения когенерационной энергетической установки / Ю.К. Тодорцев, О.С. Ларионова, А.Н. Бундюк // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 8 – 11.**

Представлена математическая модель контура теплоснабжения когенерационной энергетической установки. Полученная математическая модель может быть использована для исследования динамических свойств контура.

**Селяков Е.Б. Моделирование требований к техническим системам методами математической логики / Е.Б. Селяков // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 12 – 17.**

В статье рассмотрен способ моделирования взаимосвязей между требованиями к технической системе посредством задания предикатов отношений между множествами требований. За счёт применения аппарата математической логики данный способ моделирования требований даёт возможность алгоритмизировать решение таких задач автоматизированного проектирования, как определение необходимых требований к системе и проверка набора требований на полноту.

**Хомченко А.Н. Метод барицентрического усреднения граничных потенциалов электростатического поля / А.Н. Хомченко, Е.И. Литвиненко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 17 – 20.**

Описан метод барицентрического усреднения с трилинейным, трикубическим и тригонометрическим базисами.

**Шейник С.П. Использование функций принадлежности для моделирования параметров распределенных объектов / С.П. Шейник, А.В. Рудакова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 20 – 25.**

В статье рассмотрены возможности применения функций принадлежности для моделирования учета различных коэффициентов в пространственно распределенных объектах. Для формирования зависимостей использованы функции принадлежности П-образного вида, которые получены на основе S и Z-образных функций принадлежности. Проведено моделирование функций принадлежности и пространственных коэффициентов  $k(x)$ , зависящих от одной и двух координат.

**Яшина К.В. Комплексная математическая модель тепловых процессов, происходящих в дуговых электросталеплавильных печах / К.В. Яшина, А.В. Садовой // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 26 – 32.**

В статье приведено исследование тепловых процессов в дуговых электросталеплавильных печах переменного тока с учетом значений мощности, подаваемой в печь каждым электродом; количества тепла химических реакций; составов шихты, расплава, шлака и печного газа; формы печи.

**Голощاپов С.С. Измерение добротности колебательного контура на основе метода биения частот / С.С. Голощاپов, А.В. Петровский, Ж.А. Рожко, А.И. Боярчук // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 33 – 37.**

В статье рассматриваются вопросы измерения добротности последовательного резонансного контура на основе метода биения частот. Предложена структура измерителя, обеспечивающая повышение точности настройки контура в резонанс и измерения его добротности.

**Завгородний А.Б. Сравнительное исследование твердотельных и жидкофазных объектов методом газоразрядной визуализации / А.Б. Завгородний // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 38 – 42.**

Проведено экспериментальное исследование особенностей газоразрядной визуализации (ГРВ) твердотельных объектов с модельным дефектом (пазом) а также жидкофазных объектов. Показано, что денситограммы (регистрограммы) как, твердо- так и жидкофазных объектов при ГРВ имеют свои характерные черты и особенности.

**Клименко А.К. Обратная модель для решения задач в системах с многосвязными динамическими объектами / А.К. Клименко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 43 – 49.**

Рассматривается задача создания обратной модели многосвязного динамического объекта на средствах дискретной вычислительной техники. Приводятся математические соотношения, обеспечивающие возможность создания приближенной обратной модели, отличающейся от идеальной только временным запаздыванием. Описывается схемная реализация обратной модели.

**Дідик О.О. Классификация масс-спектров с помощью кооперативного иммунного алгоритма / О.О. Дідик, А.О. Фефелов, В.І. Литвиненко, С.В. Шкурдода, Ф.В. Синяков // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 50 – 58.**

В работе описаны результаты применения разработанного авторами кооперативного алгоритма искусственной иммунной сети для решения задач классификации масс-спектров. Приведены результаты сравнительных экспериментальных исследований с другими алгоритмами.

**Рашкевич Ю.М. Аффинные преобразования в модификациях алгоритма RSA шифрования изображений / Ю.М. Рашкевич, А.М. Ковальчук, Д.Д. Пелешко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 59 – 65.**

Изображения являются одними из наиболее используемых видов информации в современном информационном обществе. Поэтому актуальными проблемами является организация защиты от несанкционированного доступа и использования. Проблема защиты от несанкционированного доступа есть более сложной в сравнении с проблемой защиты от



использования. Базисом для организации защиты является интерпретация изображения как стохастического сигнала. Это обуславливает перенос методов шифрования сигналов на случай изображений. Но изображения являются специфическим сигналом, который в владеет, дополнительно к типичной информативности, еще и визуальной информативностью. Поэтому к методам шифрования, в случае их использования в отношении изображений, выдвигается еще одно требование – полная зашумленность за-шифрованного изображения. Это надо для того, чтобы сделать невозможным использование методов визуальной обработки изображений. Алгоритм RSA является одним из наиболее используемых промышленных стандартов шифрования сигналов. В отношении изображений существуют некоторые проблемы его шифрования, в частности сохраняются контуры на за-шифрованном изображении. Поэтому актуальной задачей является разработка модификации методу RSA такой, чтобы: обеспечить стойкость к дешифрованию и обеспечить полную зашумленность изображения. Одним из путей решения этой задачи есть использование аффинных преобразований.

**Биленко М.С. Идентификация деформаций периодических структур с использованием систем технического зрения / М.С. Биленко, С.А. Рожков, М.Б. Единолич // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 66 – 70.**

Рассмотрен метод определения деформаций регулярной текстуры для телевизионной системы контроля качества тканей. Показана возможность определения перекося при анализе структур, имеющих разные степени периодичности и анизотропии.

**Руднева М.С. Принципы построения оптимальной структуры информационно измерительной системы геометрических размеров объектов в диапазоне от 1 нм до 1000 нм / М.С. Руднева, О.В. Кочеткова, Р.О. Задорожний // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 71 – 74.**

В статье рассматриваются основные принципы оптимальной структуры системы измерения и идентификации сложных пространственных геометрических объектов размером от 1 нм до 1000 нм. Предложены модели и алгоритмы, которые предоставляют возможности усовершенствовать процесс идентификации и проводить измерение длины в пределах одного нанометра.

**Тверезовский В.С. Оптимизированная модель измерителя добротности варикапов / В.С. Тверезовский, Р.В. Бараненко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 75 – 79.**

Проведено аналіз вимірювачів добротності напівпровідникових приладів, на підставі якого для усунення недоліків існуючих пристроїв розроблений прилад для вимірювання добротності варикапів з розширеними функціональними можливостями.

**Касаткина Н.В. Методы хранения и обработки нечетких данных в среде реляционных систем / Н.В. Касаткина, С.С. Танянский, В.А. Филатов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 80 – 86.**

Статья посвящена исследованию методов и структур хранения и обработки нечетких данных средствами реляционного представления и моделирования. Предложена схема реляционной модели данных для представления функций принадлежности лингвистических переменных. Технология представления функций принадлежности лингвистических переменных средствами реляционной модели позволяет проводить анализ данных в разреже нечетких запросов. Это позволяет получить новый инструмент для извлечения ранее недоступных данных и знаний. Приведен пример, подтверждающий эффективность разработанного подхода.

**Кучеров Д.П. Принципы построения интеллектуального авторулевого / Д.П. Кучеров, З.Н. Копылова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 87 – 94.**

В статье исследуются подходы к построению интеллектуального авторулевого. Формулируются принципы его построения и некоторые терминологические понятия, касающиеся его свойств. Предлагается обобщенная структурная схема интеллектуального авторулевого.

**Ляшенко Е.Н. Анализ пожарной опасности сосновых насаждений в зоне Нижнеднепровских песков – самой большой пустыни в Европе / Е.Н. Ляшенко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 94 – 98.**

В статье предлагается описание метода, который позволяет выполнить оценку пожарной опасности сосновых насаждений с учетом метеорологических факторов (температуры воздуха, температуры точки росы, количества осадков).

**Львов М.С. Алгоритм проверки правильности границ изменения переменных в последовательных программах / М.С. Львов // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 99 – 106.**

В данной работе описан алгоритм решения одной из важных практических задач статического анализа программ, в которых реализованы задачи физического содержания – задачи проверки правильности границ изменения переменных в последовательных программах. Алгоритм использует базисы Гребнера и методы отделения действительных корней полиномов. Этот алгоритм может быть использован также для задач исследования функций действительной переменной в математических системах учебного назначения.

**Еременко А.П. Принятие решений в автоматизированных системах с учетом психофункциональных характеристик оператора на основе генетических алгоритмов / А.П. Еременко, В.И. Передерий // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 106 – 114.**

В работе предложены алгоритмы принятия оптимальных решений в автоматизированных системах для изменения состояния человека-оператора с целью повышения производительности системы. Рассмотрены способы кодирования принимаемых решений и генетические алгоритмы их оптимизации.

**Селякова С. М. Структура інтелектуальної системи управління збиральною кампанією / С. Селякова, М. // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 115 – 121.**

В статье приведена структура интеллектуальной системы управления уборочной кампанией и функциональные модели её основных подсистем, которые предназначены для поддержки принятия эффективных решений при управлении уборочной кампанией зерновых культур в современных условиях сельскохозяйственных предприятий.

**Теленик С.Ф. Управление нагрузкой и ресурсами центров обработки данных при выделенных серверах / С.Ф. Теленик, А.И. Ролик, М.М. Букасов, Р.В. Римар, К.А. Ролик // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 122 – 136.**

Рассматривается проблема управления нагрузкой и ресурсами центров обработки данных при выделенных серверах. На основе обзора существующих решений и анализа факторов влияния предлагается общий подход к решению проблемы. В виде задач линейного и нелинейного булевого программирования формулируются модели закрепления за организациями-клиентами физических серверов при различных критериях эффективности с учетом ресурсных и иных ограничений. Для решения задач предлагаются варианты ге-

нетического и эвристического алгоритмов, а для линейных задач также комплексный алгоритм, построенный на решении задачи линейного программирования с последующим использованием направленного перебора для определения значений булевых переменных. Приводятся структура и описание функционирования системы управления инфраструктурой информационных технологий, в которой реализованы предложенные в статье модели и алгоритмы.

**Цмоць И.Г. Методы проектирования специализированных компьютерных систем управления и обработки сигналов в реальном времени / И.Г. Цмоць, Б.А. Демида, М.Р. Подольский // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 137 – 146.**

Рассмотрены основные подходы, этапы синтеза, выбраны принципы построения специализированных компьютерных систем управления и обработки сигналов в реальном времени, усовершенствован метод пространственно-временного отображения алгоритмов обработки в согласованно параллельные структуры.

**Писаренко А.В. Алгоритм синтеза систем с переменной структурой в скользящем режиме / А.В. Писаренко, И.Ю. Дробот // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 147 – 151.**

Выполнено исследование с помощью моделирования в пакете MATLAB/Simulink алгоритма робастного управления системами с переменной структурой в скользящем режиме.

**Ладиева Л.Р. Оптимальное керування процесом контактної мембранної дистиляції / Л.Р. Ладиева, Р.Н. Дубик // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 152 – 156.**

Предложено решение задачи оптимального управления процессом контактной мембраной дистилляции, предназначенной для выделения токсичных компонентов неоднородной жидкой системы с целью сохранения экологического равновесия. Рассмотрены варианты выбора критерия оптимальности и метода решения задачи. Сравняется использование метода достижения цели с линейно-квадратичной оптимизацией и с размещением полюсов замкнутой системы.

**Ладанюк А.П. Екстремальна адаптивна система з непараметричною ідентифікацією та багатопараметричним регулятором / А.П. Ладанюк, Д.О. Крониковский // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 157 – 161.**

Статья содержит информацию о новых подходах к использованию экстремальных систем, а именно: приведенная система более автономна за счет использования адаптации и автоматической непараметрической идентификации. Система построена с использованием многопараметрического регулятора. Приведен пример ее применения и сделана оценка ее результативности.

**Лебеденко Ю.А. Модель нечеткого вывода для оптимального управления преобразователем частоты в системах автономного питания / Ю.А. Лебеденко, А.В. Рудакова // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 162 – 167.**

Статья посвящена вопросам построения модели нечеткого вывода для системы оптимального управления непосредственным преобразователем частоты. Предложен алгоритм, что позволяет значительно упростить процесс выбора стратегии управления преобразователем.

**Тимченко В.Л. Формирование динамических принципов управления подвижным объектом на основе метода структурно — переключаемых обратных связей / В.Л. Тимченко // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 168 – 173.**

Статья посвящена вопросам построения оптимальных траекторий и определению моментов времени переключения управляющих функций методом переключаемых обратных связей, которое осуществляется путем решения системы алгебраических уравнений.

**Михайленко В.С. Методы настройки нечеткого адаптивного ПИД-регулятора / В.С. Михайленко, В.Ф. Ложечников // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 174 – 179.**

Статья посвящена анализу эффективности работы САР с ПИД-регулятором, функционирующим в условиях неопределенности свойств объекта управления и САР с нечетким контроллером для таких же условий. Результатом статьи является разработка базы правил для нечеткого регулятора и ее апробация в MatLab, а также расчет настроек регулятора сложной структуры.

**Стопакевич А.А. Анализ современного состояния систем управления брагоректификационными установками спиртового производства / А.А. Стопакевич, Ю.К. Тодорцев // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. – 2009. – № 2(24). – С. 180 – 184.**

Проанализировано современное состояние систем автоматизации брагоректификационных установок спиртовой промышленности. Отмечено, что во внедренных в СНГ в последние годы компьютерно – интегрированных системах автоматизации продолжают использоваться типовые системы управления. В зарубежных работах отмечено, что наилучший эффект дает использование систем многомерного управления. Однако, все многомерные системы разработаны для отдельных колонн.

**SUMMARY**

**Kirillov O.L. Design Of Process Of Management The System Of Overload Of Hydrocarbon Oil-Fuels / O.L. Kirillov, G.S. Yakimchuk // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 5 – 7.**

A general progress of operation of overload trend is in-process considered. Adaptation of the probed operation is rotated to the systems of automatic overload of hydrocarbon oil-fuels (UZHT). By computer programs of MatLab the design of process of overload with discretization of elements of the system is conducted and by the analysis of the got output descriptions. The result of consideration has for an object to rotate realization of theoretical conclusions and calculation parameters as the closed system, providing realization of the required modes of filling of UZHT in the conditions of electrostatic safety (ESB). Influence of the modes of permanent, changing and optimum charges is considered on forming of charge of surface of UZHT and time of leadthrough of freight operation. Possibility of influence of types of links of regulator is rotated on forming of the modes of overload. As a result possibility of building of automat of filling is rotated on the necessary modes, connection is certain between the modes and formed potential of surface of j UZHT, ESB of management the systems of overload is confirmed in the different modes.

**Todorcev Yu.K. The mathematical model of contour of heating of cogeneration power plant / Yu.K. Todorcev, O.S. Larionova, A.N. Bundyuk // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 8 – 11.**

The mathematical model of contour of heating of cogeneration power plant is presented. The got mathematical model can be used for research of dynamic properties of contour.

**Selyakov E.B. Design Of Requirements To Technical Systems Methods Of Mathematical Logic / E.B. Selyakov // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 12 – 17.**

In the article is considered the method of modeling of intercommunications between requirements to the technical system by means of predicates of relations between the set of requirements. Due to the using mathematical logic this method of modeling of requirements gives possibility of algorithmize solving of such tasks of the automated planning, as determination of necessary system requirements and verification of set of requirements for fullness.

**Khomchenko A.N. Method of barycentric averaging of electrostatic field boundary potentials / A.N. Khomchenko, Ye.I. Litvinenko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 17 – 20.**

A method of barycentric averaging with three-linear, three-cubic and trigonometrical bases is described.

**Sheinik S.P. Using the accessory functions for modeling of portioned objects parameters / S.P. Sheinik, A.V. Rudakova // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 20 – 25.**

In the article considered possibility of using the accessories functions for modeling of description of different factors in space portioned objects. For shaping the dependencies are used functions an accessories  $\Pi$ -type, which received on the base S and Z-figurative functions an accessories. Is Conducted modeling of accessories functions and spatial factors, hanging from one and two coordinates.

**Yashina K.V. Complex Mathematical Model Of The Thermal Processes Occurring In Arc Electrosteel-Smelting Furnaces / K.V. Yashina, A.B. Садовой // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 26 – 32.**

The article cited the study of thermal processes in electric arc furnaces, AC, taking into account values of the capacity submitted to the furnace by each electrode; quantity of heat of chemical reactions; structures of scrap, melt, slag and oven gas; the furnace form.

**Goloschapov S.S. Measuring oscillatory circuit's q-factor by beating of frequencies method / S.S. Goloschapov, A.V. Petrovskiy, Zh.A. Rozhko, A.I. Boyarchuk // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 33 – 37.**

There are questions of measuring serial oscillatory circuit's q-factor, based on beating of frequencies method are discussed. The scheme of q-meter is proposed. It is improve accuracy of circuit's resonance adjustment and measuring it's q-factor.

**Zavgorodniy A.B. Comparative research of solid-state and liquid-state objects by the method of gas-unloading visualization / A.B. Zavgorodniy // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 38 – 42.**

Experimental research of the features of solid-state objects with the model defect (groove) and liquid-state objects with the help of gas discharge visualization (GDV) is made. It is shown that densitograms (registergrams) of solid-state and liquid-state objects have their own particular features.

**Klimenko A.K. Return model for solving problems in systems with multicoherent dynamicobjects / A.K. Klimenko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 43 – 49.**

The task of creation of return model of multicoherent dynamic object on the base of discrete computer facilities is considered. The mathematical relations provide the possibility of creation of an approximate return model, which differ from ideal only by a time delay. The schematic realization of the return model is described.

**Didyk A.A. Classification of mass spectra by means of co-operative immune algorithm / A.A. Didyk, A.A Fefelov, V.I. Lytvynenko, S.V. Shkurdoda, F.V. Synyakov // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 50 – 58.**

In work results of application of the co-operative algorithm of an artificial immune network developed by authors for the decision of problems of classification of mass spectra are described. Results of comparative experimental researches with other algorithms are resulted.

**Rashkevich Yu.M. Affine transformations are to modifications of algorithm of RSA of encipherement of images / Yu.M. Rashkevich, A.M. Kovalchuk, D.D. Peleshko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 59 – 65.**

The images are one of the most used kinds of the information in modern information company. Therefore actual problems is the organization of protection from unauthorized access and usage. Problem protect from unauthorized access is by more composite in matching with a problem protect from usage. Basis for organization of protection is the interpretation of the image as stochastic signal. It stipulates carry of methods of encoding of signals on a case of the images. But the images are a specific signal, which one in possesses, is padding to representative selfdescriptiveness, also by visual selfdescriptiveness. Therefore to methods of encoding, in case of their usage concerning the images, one more requirement - full noise of the coded image is put forward. It is necessary to make to impossible usage of methods of visual image processing. The algorithm RSA is one of the most used production specifications of encoding of signals. In attitude of the images there are some problems of its encoding, the contours on the coded image are

in particular saved. Therefore actual problem is the mining of modification to a method RSA such, that: to supply stability to decoding and to supply full noise of the image. One of pathes of the solution of this problem is usage of affine transformations.

**Bilenko M.S. Periodic structure deformation detection using computer vision systems / M.S. Bilenko, S.A. Rozhkov, M.B. Edinovich // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 66 – 70.**

The Considered method of the determination deforming the regular texture for television system of the checking quality fabric. Possibility of the determination of the slanting is Shown at analysis of the structures, having miscellaneous degree to periodicity and anisotropies.

**Rudneva M.S. Principles of construction of optimum structure informatively measuring system of geometrical sizes of objects in a range from 1 nm to 1000 nm / M.S. Rudneva, O.V. Kochetkova, R.O. Zadorozhniy // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 71 – 74.**

In the article basic principles of measuring and authentication of difficult spatial objects are considered in a range vid 1 nm to 1000 nm, by the developed optimum structure. The basic methods of measuring and authentication of difficult geometrical forms are expounded by scanning probe microscope. Models and algorithms which enable to perfect the process of authentication and conduct measuring of length within one нанометра are entered.

**Tverezovskiy V.S. Optimized model of the device for measurement of varicap's parameters / V.S. Tverezovskiy, R.V. Baranenko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 75 – 79.**

The analysis of the devices for measurement of semiconductor instrument's parameters is made, on the grounds of which for eliminating defect of existing devices the device for measurement of varicap's parameters with extended functional possibilities is designed.

**Kasatkina N.V. Methods of storing and processing of fuzzy data in relational systems / N.V. Kasatkina, S.S. Tanjansky, V.A. Filatov // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 80 – 86.**

This paper suggests methods and structures of storage and processing of data by means of fuzzy relational representation and modeling. A scheme for relational data model to represent membership functions of linguistic variables. Technology presentation membership functions of linguistic variables by means of the relational model allows the analysis of data in the context of fuzzy queries. This is a new tool to extract previously inaccessible data and knowledge. The above example confirms the effectiveness of the developed approach.

**Kucherov D.P. Principles of synthesis of intellectual auto pilot / D.P. Kucherov, Z.N. Kopilova // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 87 – 94.**

In this paper the approaches to construction intellectual auto pilot are investigated. The principles of its construction and some terminological concepts concerning its properties are formulated. The generalized block diagram intellectual auto pilot is offered.

**Lyashenko E.N. The analysis of fire danger of pine plantings in the zone of Nizhnedneprovsky sand – the biggest desert in Europe / E.N. Lyashenko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 94 – 98.**

In article the description of a method which allows to execute an estimation of fire danger of pine plantings taking into account meteorological factors (temperature of air, temperature of a dew-point, an amount of precipitation) is offered.

**Lvov M.S. Algorithm of verification of bounds of change of variables in the successive programs / M.S. Lvov // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 99 – 106.**

In this work the solution algorithm of one important practical task of static analysis programs in which the tasks of physical maintenance are realized - tasks of verification of bounds of change of variables in the successive programs. The algorithm uses Grebners' bases and separation methods of real roots of polynomials. This algorithm can be used also for the research tasks of real variable functions in the mathematical systems of the educational purpose.

**Eremenko A.P. Making a decision in the automated systems taking into account psychofunctional descriptions of operator on the basis of genetic algorithm / A.P. Eremenko, V.I. Perederiy // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 106 – 114.**

Algorithms of optimal decision making in human-computer systems for human operator state change to achieve increased system productivity have been proposed. Methods of decision coding and their optimization by means of genetic algorithms have been considered.

**Selyakova S.M. Structure of intellectual control the system by a harvesting campaign / S.M. Selyakova // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 115 – 121.**

The structure of the intellectual decision support system during the harvesting campaign is given, and the functional models of its basic subsystems, which are intended for the support of the adoption of effective solutions during the harvesting campaign of cereal crops in the contemporary conditions of agricultural enterprises are shown.

**Telenyk S.F. Control of data centers' load and resources for dedicated servers / S.F. Telenyk, O.I. Rolik, M.M. Bukasov, R.V. Rimar, K.O. Rolik // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 122 – 136.**

Data centers' load and resources control problem for dedicated servers is considered. Based on available solutions review and influence factors analysis the general approach to solve this problem is proposed. The models of servers distribution between companies-clients under different criteria providing resources and other limitations in form of linear and nonlinear Boolean programming tasks are elaborated. The variants of genetic and heuristic algorithms, and for linear task also complex algorithm, based on linear programming tasks solution with next step realization of directed search schema to find values for Boolean variables for this problem solving, are proposed. The structure and functioning description of information technologies infrastructure control system, in which proposed models and algorithms were realized, are described.

**Tsmots I.G. The methods of planning of the dedicated computer systems of management and treatment of signals real-time / I.G. Tsmots, B.A. Demida, M.R. Podolsky // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 137 – 146.**

The main approaches and stages of synthesis for specialized computer control system and signal processing in real-time have been considered and the principles of designing have been chosen. The method of spatial-temporal mapping of algorithms of processing in cooperative-parallel structures has been improved.

**Pisarenko A.V. An algorithm of synthesis of the systems is with a variable structure in the sliding mode / A.V. Pisarenko, I.Yu. Drobot // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 147 – 151.**

Research of robust control algorithm in sliding mode for variable structure systems via MATLAB/Simulink modelling is done.



**Ladieva L.R. Optimum process control of contact diaphragm distillation / L.R. Ladieva, R.M. Dubik // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 152 – 156.**

The decision of a problem of optimum control of process contact membrane distillations intended for allocation of toxic components of non-uniform liquid system with the purpose of preservation of ecological equilibrium is offered. Variants of a choice of criterion of an optimality and a method of the decision of a problem are considered. The problem goal attainment is compared to linear-quadratic optimization and with accommodation of poles of the closed-loop system.

**Ladanyuk A.P. The extreme adaptive system is with non-parametric authentication and multiple parametre regulator / A.P. Ladanyuk, D.O. Kronikovskiy // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 157 – 161.**

The summary of article contains the information on new approaches to use of extreme systems, namely: the resulted system is more independent at the expense of use of adaptation and automatic nonparametric identification. The system is constructed with use of a multiple parametre regulator. The example of its application is resulted and the estimation of its productivity is made.

**Lebedenko Yu.A. Model of fuzzy conclusion for an optimal control the converter of frequency in the systems of autonomous feed / Yu.A. Lebedenko, A.V. Rudakova // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 162 – 167.**

The article is devoted the questions of construction of model of fuzzy conclusion for the system of optimal control the cycloconverter. An algorithm is offered, that allows considerably to simplify the process of choice of strategy of management a converter.

**Timchenko V.L. Формирование динамических принципов управления подвижным объектом на основе метода структурно — переключаемых обратных связей / V.L. Timchenko // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 168 – 173.**

The article is devoted the questions of construction of optimum trajectories and determination of moments of time of switching of managing functions the method of the commuted feed-backs, which is carried out by the decision of the system of algebraic equalizations.

**Mikhaylenko V.S. Methods of tuning of unclear adaptive PID-regulator / V.S. Mikhaylenko, V.F. Lozhechnikov // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 174 – 179.**

The article deals with application of PID automatic control and fuzzy system control for difficult object. The effect of investigation is elaboration of fuzzy algorithms which have effective regulation in indefinite conditions.

**Stopakevich A.A. Analysis of the modern state of control the system by distillation units of spirit industry / A.A. Stopakevich, Yu.K. Todorcev // Automatic. Automation. Electrical engineerings complexes and systems. – 2009. – № 2(24). – P. 180 – 184.**

The contemporary state of automation systems of distillation units of spirit industry is analyzed. It is spotlighted that all industrial computer integrated automation systems in CIS use typical control systems. It is pointed in foreign papers that better effect gives usage multivariable control systems. But all multivariable systems is designed for separate columns.

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Кириллов О.Л.** – викладач Херсонського політехнічного коледжу Одеського національного технічного університету; пошукач кафедри «Технічної кібернетики» Херсонського національного технічного університету

**Якимчук Г.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Тодорцев Ю.К.** – завідувач кафедрою «Автоматизації теплоенергетичних процесів» Одеського національного політехнічного університету, член Української Асоціації по автоматичному регулюванню, доктор технічних наук, професор

**Ларіонова О.С.** – Одеський національний політехнічний університет, інженер

**Бундюк А.М.** – кандидат технічних наук, професор кафедри АТП, Одеський національний політехнічний університет

**Селяков Є.Б.** – асистент каф. САМ, Державний університет інформатики і штучного інтелекту, Донецьк, Україна

**Хомченко А.Н.** – заслужений діяч науки і техніки, доктор фізико - математичних наук, професор, завідувач кафедрою прикладної математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету.

**Литвиненко О.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри прикладної математики і математичного моделювання Херсонського національного технічного університету

**Шейник С.П.** – аспірант Херсонського національного технічного університету

**Рудакова Г.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Яшина К.В.** – аспірант кафедри «Електромеханіки», Дніпродзержинський державний технічний університет

**Садовой О.В.** – доктор технічних наук, професор, Дніпродзержинський державний технічний університет

**Голощанов С.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології і інформаційно-вимірювальних технологій Херсонського національного технічного університету

**Петровський А.В.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри метрології і інформаційно-вимірювальних технологій Херсонського національного технічного університету

**Рожко Ж.А.** – старший викладач кафедри метрології і інформаційно-вимірювальних технологій Херсонського національного технічного університету

**Боярчук О.І.** – асистент кафедри метрології і інформаційно-вимірювальних технологій Херсонського національного технічного університету

**Завгородній А.Б.** – аспірант, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**Клименко А.К.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри комп'ютерних систем і мереж Бердянського державного педагогічного університету.

**Дідик О.О.** – доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету, кандидат технічних наук

**Фефелов А.О.** – доцент кафедри дизайну Херсонського національного технічного університету, кандидат технічних наук

**Литвиненко В.І.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Шкурдола С.В.** – начальник відділу спеціальних видів досліджень науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при УМВД України в Черкаській області, майор міліції

**Синяков Ф. В.** – заступник начальника науково-дослідного експертно-криміналістичного центру при УМВД України в Херсонській області, підполковник міліції

**Біленко М.С.** – аспірант кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Рожков С.О.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Єдинович М.Б.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Тверезовський В.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.

**Бараненко Р.В.** – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри Інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету.

**Касаткіна Н.В.** – головний фахівець відділу технічних наук ВАК України

**Таняньський С.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри електронних обчислювальних машин Харківського національного університету радіоелектроніки

**Філатов В.О.** – доктор технічних наук, професор кафедри штучного інтелекту Харківського національного університету радіоелектроніки

**Кучеров Д.П.** – доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Начальник відділу Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних Сил України, м. Київ.

**Копилова З.Н.** – старший науковий співробітник Центрального науково-дослідного інституту озброєння і військової техніки Збройних Сил України, м. Київ

**Ляшенко О.М.** – аспірант каф. Інформаційних технологій Херсонського національного технічного університету

**Львов М.С.** – кандидат фізико-математичних наук, доцент, директор Науково-дослідного інституту інформаційних технологій Херсонського державного університету

**Єременко А.П.** – Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

**Передерій В.І.** – Кандидат технічних наук, доцент; Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова.

**Семякова С. М.** – аспірант каф. САМ, Державний університет інформатики і штучного інтелекту, Донецьк, Україна.

**Теленик С.Ф.** – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедру Автоматизації та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

**Ролік О.І.** – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент кафедри Автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

**Букасов М.М.** – старший викладач кафедри Автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

**Римар Р.В.** – аспірант Тернопільського державного технічного університету

**Ролік К.О.** – магістрант кафедри Автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»

**Цмоць І.Г.** – професор кафедри АСУ Національного університету «Львівська політехніка», доктор технічних наук

**Демида Б.А.** – доцент кафедри АСУ Національного університету «Львівська політехніка», кандидат технічних наук

**Подольський М.Р.** – старший науковий співробітник Інституту геології і геохімії горючих копалин НАН України, Львів.

**Писаренко А.В.** – аспірант, старший викладач кафедри автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», факультету інформатики та обчислювальної техніки

**Дробот І.Ю.** – магістрант кафедри автоматики та управління в технічних системах Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», факультету інформатики та обчислювальної техніки

**Ладієва Л.Р.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизація хімічних виробництв», інженерно-хімічний факультет, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»

**Дубік Р.М.** – провідний інженер інституту ядерних досліджень НАН України.

**Ладанюк А.П.** – зав. кафедрою автоматизації і комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету харчової промисловості, професор, доктор технічних наук.

**Кроніковський Д.О.** – аспірант Національного університету харчової промисловості

**Лебеденко Ю.О.** – старший викладач кафедри технічної кібернетики Херсонського національного технічного університету

**Тімченко В.Л.** – Національний університет кораблебудування, м. Миколаїв

**Міхайленко В.С.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Опалювання, вентиляції і охорони повітряного басейну» Одеської державної академії будівництва і архітектури.

**Ложечников В.Ф.** – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизації технологічних процесів» Одеського національного політехнічного університету.

**Стопакевич А.О.** – Одеський національний політехнічний університет

## ДО УВАГИ АВТОРІВ ЖУРНАЛУ!

### ВИМОГИ ДО РУКОПИСІВ СТАТЕЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОГО ЖУРНАЛУ «АВТОМАТИКА. АВТОМАТИЗАЦІЯ. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ»:

1. Тексти статей (до 10 стор.) представляються в електронному і друкованому вигляді. Анотації - на українській, російській і англійській мовах, експертний висновок про можливість публікації, рецензія. Відомості про авторів повинні включати: П.І.Б., адреса, телефони (домашній і службовий), місце роботи, науковий ступінь і звання, посада.

2. Статті повинні відображати (Постанова ВАК України № 7-06/1 від 15 січня 2003г.): постановку проблеми в загальному вигляді і її зв'язок з важливими науковими практичними завданнями; аналіз останніх досліджень і публікацій; виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, яким присвячується дана стаття; формулювання цілей статті; виклад основного матеріалу дослідження з обґрунтуванням отриманих наукових результатів; висновки і перспективи подальших досліджень в даному напрямі.

3. Матеріали, отримані некомплектно, оформлені недбало і не відповідно до справжніх правил, редколегією не розглядаються.

4. Автори представляють в редакцію текст статті і анотації у вигляді файлу формату Microsoft Word на електронному носіїві або електронною поштою.

#### **ВИМОГИ ДО ТЕКСТОВОГО ФАЙЛУ.**

Сторінки: розмір листа - 210 x 297 мм (A4), без нумерації, без переносів.

Поля: зверху – 2 см, знизу – 2 см, справа – 2 см, зліва – 2,5 см.

Шрифт – Times New Roman. Інтервал – одинарний.

Матеріали представляються у наступному порядку:

- **УДК.** Шрифт – 12 пт., прописні. Абзац – без відступів, вирівнювання по лівому краю, інтервал після – 12 пт.
- **Назва статті.** Шрифт – 14 пт., прописні. Абзац – без відступів, вирівнювання по центру.
- **Прізвища та ініціали авторів.** Шрифт – 12 пт. Абзац – без відступів, вирівнювання по центру, інтервал до и після – 12 пт.
- **Текст статті.** Шрифт – 12 пт. Абзац – 1,25 см, вирівнювання по ширині.
- **Література.** Слово «ЛІТЕРАТУРА»: шрифт – 12 пт, прописні; абзац – без відступів, вирівнювання по центру, інтервал до -12 пт., після – 6 пт. Список джерел: нумерований список, шрифт – 12 пт.; абзац – 1,25 см, вирівнювання по ширині. Список джерел оформлюється згідно вимог ВАК України.
- **Рисунки.** Формат – Рисунок Microsoft Word, об'єкт Corel raw (версія не старша за 10, текст повинен бути перетворено в криві) або точковий рисунок. Положення рисунку – в тексті. Під рисунком розташовується напис виду: «Рис. 1 Назва рисунку». Абзац – без відступів, вирівнювання по центру, інтервал до і після – 6 пт.
- **Формули.** Набираються в редакторі формул Microsoft Equation 3.0. Параметри налаштування редактора: звичайний - 12 пт., крупний індекс - 7 пт., дрібний індекс - 5 пт., крупний символ - 18 пт., дрібний символ - 12 пт. Абзац - без відступів, вирівнювання по центру. Праворуч від формули в дужках вказується її порядковий номер.
- **Таблиці.** Формат - Microsoft Word або Excel. Над таблицею справа вказується номер таблиці вигляду: «Таблиця 1». Нижче, по центру, розміщується її назва. Інтервал до і після - 6 пт.
- **Анотації.** Абзац - 1,25 см, вирівнювання по ширині, інтервал до і після - 6 пт. Анотації представляються на українській, російській і англійській мовах. Шаблон документа для оформлення матеріалів можна узяти на сайті <http://aaecs.org>

Науково-технічний журнал для публікації приймає  
праці з наступних наукових напрямків:

- моделювання об'єктів і систем управління
- інформаційно-вимірвальні системи
- інформаційно-управляючі комплекси і системи
- оптимальне управління об'єктами та системами
- методи побудови адаптивних систем управління
- цифрові і дискретні системи управління
- сучасні технічні засоби, комплекси і системи
- енергетичний менеджмент
- економіка науково-технічного прогресу

*Науково-технічний журнал «Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи» запрошує до співпраці організації на взаємовигідних умовах. Журнал має загальнодержавну сферу розповсюдження.*

*Звертатись за адресою:*

73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24  
ХНТУ, Редакція журналу ААЕКС  
Бражнику Олександрю Михайловичу  
т.: (0552) 552968, 326937  
E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)  
Адреса в інтернеті: <http://aaecs.org>

---

Матеріали слід направляти в редакцію журналу за адресою:

73008, м. Херсон, Бериславське шосе, 24, ХНТУ, Редакція журналу ААЕКС

E-mail: [aaecs@yandex.ru](mailto:aaecs@yandex.ru), [app@kstu.edu.ua](mailto:app@kstu.edu.ua)

Довідки за телефонами: (0552) 326937, 552968