

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

На правах рукопису

УДК 681.513.5:664.12

ЗАЄЦЬ НАТАЛІЯ АНАТОЛІЇВНА

АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ КОЛОННОЮ ДИФУЗІЙНОЮ  
УСТАНОВКОЮ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИНЦИПІВ КООРДИНАЦІЇ ТА  
АДАПТАЦІЇ

05.13.07 Автоматизація процесів керування

**АВТОРЕФЕРАТ**

дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Київ-2008

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій.

Науковий керівник: доктор технічних наук,  
професор Ладанюк Анатолій Петрович,  
НУХТ, зав.кафедри автоматизації та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій,  
заслужений діяч науки і техніки України

Офіційні опоненти: доктор технічних наук,  
професор Жученко Анатолій Іванович,  
зав. кафедри Автоматизації хімічних  
виробництв Національного  
технічного університету НТУУ "КПІ"

кандидат технічних наук,  
доцент Рюмшин Микола Олександрович,  
заступник генерального директора НВК  
“Київського інституту автоматики”

Захист відбудеться “11 ” червня 2008 року о 16<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68, ауд. A311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01033, м.Київ-33, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий “5 ” травня 2008 року.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради,  
кандидат технічних наук, доцент

В.М.Філоненко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЕРТАЦІЙНОЇ РОБОТИ

**Актуальність роботи.** Автоматизація є одним із головних напрямків науково-технічного прогресу та важливим засобом підвищення ефективності виробництва. Сучасне промислове виробництво характеризується зростанням масштабів та ускладненням технологічних процесів, збільшенням одиничної потужності окремих агрегатів та установок, підвищенням вимог до якості продукції, безпеки персоналу та збереження навколишнього середовища. Економічне, надійне та безпечне функціонування складних промислових об'єктів може бути забезпечене за допомогою лише досконалих принципів та технічних засобів управління.

Технічний прогрес в розвитку цукрової промисловості поставив задачу створення систем виключно високої точності та мінімальної складності, що повинні знаходити умови високоєфективного ведення процесу за даних обставин. В зв'язку з цим актуальною задачею є подальший розвиток практики впровадження систем автоматичного управління, пов'язаний з розробкою систем, оптимальних за техніко-економічними показниками.

В той же час виникають проблеми науково-технічного характеру, пов'язані із створенням системи управління технологічним комплексом з високими експлуатаційними характеристиками: формування функціональної структури, визначення технічної структури, вибір критерію оптимального управління технологічним комплексом, розробка структури підзадач із своїми критеріями оптимальності, математичними моделями та обмеженнями, розподіл задач між технічними засобами та ін. Ці проблеми необхідно вирішувати на базі детального вивчення характеристик об'єкта управління, показників його функціонування. Показники якості системи управління повинні однозначно співвідноситись з властивостями об'єкта і забезпечувати заданий або оптимальний режим роботи. Дифузійні установки на цукрових заводах є визначальними технологічними апаратами, від роботи яких залежить ефективність функціонування комплексу в цілому.

Таким чином, розробка нових підходів при управлінні підсистемами технологічного комплексу цукрового заводу на основі принципів координації та адаптації є актуальною науково-технічною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи Міністерства освіти і науки України “Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп'ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості”.

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є підвищення техніко-економічних показників функціонування колонної дифузійної установки (КДУ) цукрового заводу і зменшення витрат енергоносіїв за рахунок створення автоматизованої системи управління з використанням алгоритмів координації та адаптації.

Для досягнення вказаної мети визначені такі основні задачі:

- провести системний аналіз об'єкта;

- виділити підсистеми, які характеризують технологічні процеси в КДУ та визначити можливості підвищення ефективності їх взаємодії;
- розробити комплекс математичних моделей для оцінки ефективності процесу екстрагування, дослідити статичні та динамічні режими та їх вплив на показники роботи дифузійної установки;
- розробити алгоритми та структуру системи управління з використанням методів координації та адаптації;
- розробити інформаційне та програмне забезпечення підсистем координації та адаптації.

*Об'єкт дослідження* – процес дифузії, що відбувається на неперервно діючих дифузійних установках колонного типу цукрових заводів.

*Предметом* дослідження є системи автоматизованого управління КДУ цукрових заводів.

*Методи дослідження.* Методи, які використовуються для вирішення задачі, базуються на положеннях сучасної теорії автоматичного керування, методах системного аналізу, оптимального управління, методах оптимізації, імітаційного моделювання. Вірогідність основних теоретичних положень і результатів перевірялась з використанням математичного моделювання та експериментальних даних.

**Наукова новизна одержаних результатів.** При вирішенні поставлених задач одержані нові наукові результати:

- на основі системного аналізу об'єкта вперше показано, що в дифузійній установці можна виділити підсистеми, що характеризують фізико-хімічні, теплові та гідродинамічні процеси та існують можливості їх координації для підвищення техніко-економічних показників функціонування КДУ;
- виведено динамічну адаптивну математичну модель теплообмінної частини колонної дифузійної установки, зокрема в просторах параметрів стану;
- визначено можливості оперативної оцінки ефективності роботи дифузійної установки за новим критерієм  $\Delta F$ , що характеризує загальні зміни витрат виробництва в дифузійному відділенні заводу по відношенню до базового варіанту, тис.грн;
- вперше розроблено структуру системи автоматизованого управління КДУ з використанням принципів, методів та алгоритмів координації і адаптації;
- розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи управління колонною дифузійною установкою неперервного типу.

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами теоретичних та експериментальних досліджень розроблена система автоматичного управління процесом екстрагування цукру з буряка (одержано деклараційний патент) та спосіб автоматичного управління процесом дифузії (одержано деклараційний патент). На основі алгоритмів координації та адаптації розроблено програмне забезпечення мікропроцесорної автоматизованої системи управління КДУ.

Результати роботи використовуються в навчальному процесі Національного університету харчових технологій кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та передані для впровадження на цукровий завод, що підтверджено відповідними довідками.

**Особистий внесок у розробку наукових результатів.** Особисто автором розроблені положення, викладені в розділі автореферату "Основні положення, що виносяться на захист". В публікаціях у співавторстві особистий внесок автора полягає в наступному: в [1,8] виведена динамічна адаптивна математична модель теплообмінної частини колонної дифузійної установки, зокрема в просторах параметрів стану; в [2,12] на основі системного аналізу об'єкта показано, що в дифузійній установці можна виділити підсистеми, що характеризують фізико-хімічні, теплові та гідродинамічні процеси та існують можливості їх координації; в [3,9,11] розроблено систему координації, побудовано ієрархічну систему та описано її на мові теорії нечітких множин; в [6] розроблений спосіб автоматичного управління процесом дифузії, що дозволяє збільшити економічну ефективність виробництва в дифузійному відділенні шляхом координації роботи виділених підсистем дифузійної установки; в [5] розроблена система автоматичного управління процесом екстрагування цукру з буряка на основі адаптивної системи з еталонною моделлю; в [4] визначені можливості оперативної оцінки ефективності роботи дифузійної установки за новим критерієм, що характеризує загальні зміни витрат виробництва в дифузійному відділенні заводу по відношенню до базового варіанту та розроблено структуру системи автоматизованого управління КДУ з використанням принципів, методів та алгоритмів координації та адаптації.

**Апробація роботи.** Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій в 2004-2007 рр.; Міжнародних конференціях з автоматичного управління "Автоматика-2006" (м. Вінниця, 2006р.), "Автоматика-2007" (м. Севастополь, 2007р.).

**Публікації.** За темою дисертації опубліковано 11 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них 4 статті у фахових виданнях, два деклараційних патенти, тези доповідей на наукових конференціях.

**Структура та об'єм роботи.** Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, списку літератури з 109 найменувань і 5 додатків. Повний обсяг дисертації 187 стор., з яких зміст викладено на 122 стор. друкованого тексту, містить 30 рисунків, 3 таблиці та 5 додатків.

**Основні положення, що виносяться на захист:** результати досліджень властивостей підсистем КДУ та процесів її функціонування як складного об'єкта; структура багаторівневої ієрархічної системи управління; критерії для підзадач координації та адаптації роботи підсистем; статична і динамічна математичні моделі процесів, що відбуваються в КДУ; алгоритмічне та програмне забезпечення для реалізації підсистем координації та адаптації; технічна структура автоматизованої системи управління КДУ.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

**Вступ.** Показана актуальність роботи з точки зору важливості автоматизованого керування колонною дифузійною установкою на основі методів координації та адаптації для цукрової промисловості з урахуванням розвитку інформаційних технологій та переходу на мікропроцесорну техніку. Сформульована мета та задачі дослідження. Визначені наукова новизна та практичне значення одержаних результатів. Вказано на апробацію результатів дисертації та кількість публікацій.

**Перший розділ** присвячений аналізу особливостей КДУ як складного об'єкта управління, аналізу існуючих розробок систем автоматизації КДУ та визначенню перспективних шляхів вдосконалення систем управління виділеним об'єктом. Проведено аналіз процесу дифузії цукру із стружки та визначено вплив параметрів роботи КДУ на якість та кількість дифузійного соку.

Проведений аналіз робіт показав, що в технічній літературі не знайдено розробок з використанням алгоритмів координації з адаптацією системи до змінюваних умов роботи. Відсутні математичні моделі для КДУ, які в явному вигляді можна використати для синтезу алгоритмів координації та адаптації. Тому потребують подальшого вдосконалення та адаптування до специфіки об'єкта математичні моделі та алгоритми управління. Визначені науково-технічні основи роботи та основні напрямки досліджень.

**Другий розділ** присвячений вибору економічного критерію для оцінки ефективності роботи дифузійної установки, системному аналізу КДУ, побудові багаторівневої ієрархічної структури процесу дифузії цукру з бурякової стружки, виведенню математичної моделі динаміки процесу дифузії та постановці задач координації та адаптації.

Так як прибуток виробництва значним чином залежить від ефективності роботи КДУ, то враховуємо тільки ту частину виробничих витрат, що залежить безпосередньо від значень режимних параметрів дифузійної установки, при цьому для спрощення розрахункової частини пропонується використати не абсолютне значення цієї частини витрат, а їх зміну при відхиленні режиму роботи установки від нормативного. Наявність такого критерію дозволяє оцінити, який прибуток чи втрати несе цукровий завод при зміні характеру процесу дифузії.

Деталізація процесу дифузії цукру з буряка до рівня фізико-хімічних ефектів та явищ дозволяє розглянути окремий хіміко-технологічний процес як складну систему. Одиначний хіміко-технологічний процес із його складним комплексом елементарних фізико-хімічних явищ розглядається як типова велика система. В результаті декомпозиції загальної задачі управління була побудована ієрархічна структура системи управління.

Провівши структурний аналіз моделі економічної ефективності, пропонується розбити отриману ієрархічну систему на наступні рівні:

- цільова функція системи (VI);
- цільові функції підсистем (V);
- фізико-хімічні властивості процесу дифузії цукру з бурякової стружки (IV);

- теплові процеси в дифузійній установці та на наступних станціях (III);
- гідродинамічні процеси в дифузійній установці та розрахунок витрати електроенергії, що споживається установкою та насосами для перекачки соку (II);
- координати стану об'єкта(I).

Правильність декомпозиції процесу управління складної багаторівневої системи перевірена можливістю відновлення її цілісності шляхом синтезу виділених підсистем починаючи з I по VI рівень (причому  $S_i$  – виділені підсистеми).

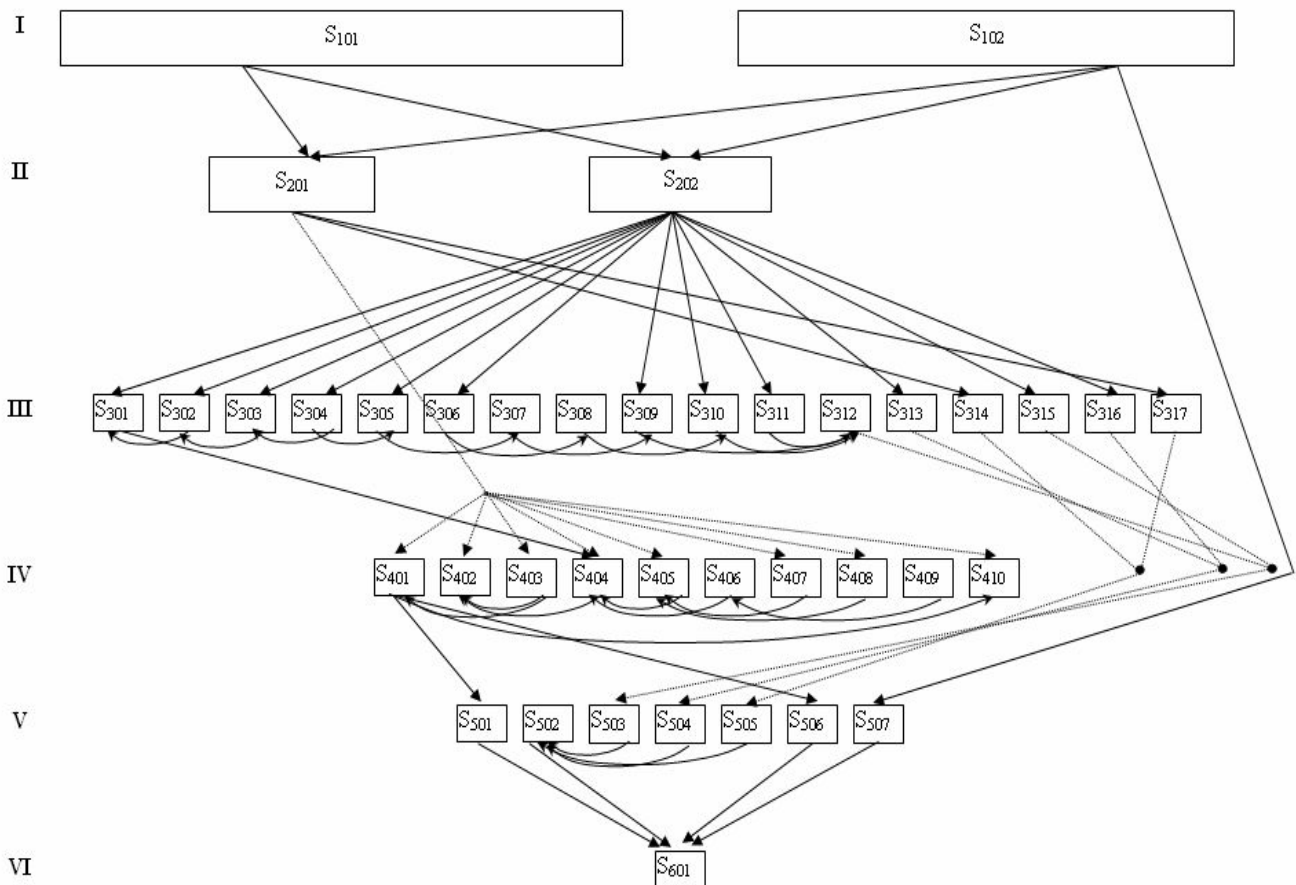


Рис.1. Процедура синтезу структури моделі на основі її підсистем

При синтезі цільової функції системи на основі виділених підсистем, рівнів та параметрів математичної моделі, вектор координат стану кожної підсистеми, що передається на вищий рівень, містить координати стану нижчих рівнів. Як видно з рис.1, при формуванні реальної ієрархічної структури здійснено не тільки формальну процедуру розбиття початкової системи, але і забезпечено цілісність, відносну самостійність підсистем, що виділяються.

Виведено математичну модель динаміки теплообмінної частини КДУ на основі теплових та матеріальних балансів, структура якої показана на рис.2. Досліджено, що в процесі функціонування об'єкта його параметри змінюються в досить широкому діапазоні, що суттєво впливає на зміну постійних часу та коефіцієнтів передачі об'єкта.

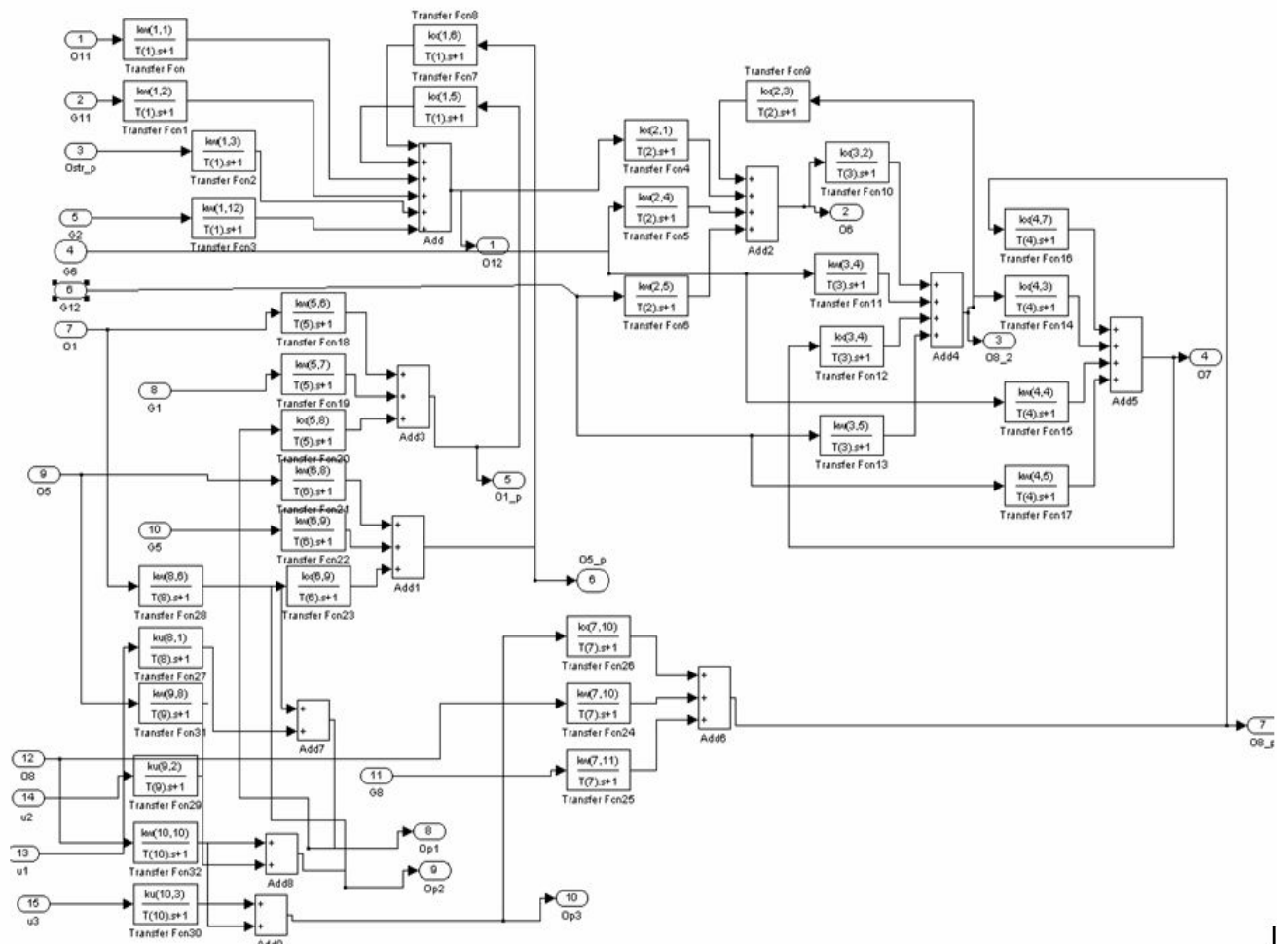


Рис.2. Математична модель теплообмінної частини дифузійної установки у вигляді передаточних ланок

**Третій розділ** присвячено статистичному аналізу технологічних змінних та перевірці адекватності математичної моделі, дослідженню впливу режимних параметрів дифузійної установки на економічний критерій, розробці системи координації процесу функціонування КДУ, визначенню оцінки функцій чутливості та розробці адаптивної системи керування температурним режимом роботи КДУ.

Аналіз впливу режимних параметрів дифузійної установки на вміст цукру в жомі, якість та кількість одержуваного дифузійного соку та інших показників, показав, що процес вилучення цукру з стружки поліпшується із збільшенням відкачування і тривалості висолоджування, підвищенням температури та збільшенням довжини стружки в робочому діапазоні.

Застосування принципу оптимальності дозволяє реалізувати найефективніший спосіб координації розв'язків, що приймаються на окремих рівнях ієрархії і дозволяє до мінімуму скоротити обмін інформацією між рівнями та забезпечити локальну обробку інформації по підсистемах.

Як характеристику схвалюваних рішень за окремими підсистемами і для всієї системи в цілому використано функції належності цих рішень до підмножини допустимих, ефективних і зкоординованих рішень  $\mu_D(\bar{x}_N)$ , що включає не тільки характеристику ефективності розв'язку, але і характеристику



його допустимості (ступінь належності розв'язку  $\bar{x}_N$  до підмножини допустимих режимів С) і зкоординованості з цілями і обмеженнями підсистем нижчих рівнів (ступінь належності розв'язку  $\bar{x}_N$  до підмножини зкоординованих режимів К). Функції належності визначаються на множині рішень  $X = \{x_{ij}\}$ . Ефективність розв'язку задається нечіткою ціллю  $G \subset X$  як нечітка підмножина з функцією належності  $\mu_G(x_{ij})$ , допустимість розв'язку - нечіткою підмножиною  $C \subset X$  з функцією належності  $\mu_C(x_{ij})$  і зкоординованість - нечіткою підмножиною  $K \subset X$  з функцією належності  $\mu_K(x_{ij})$ . Результуючий вплив нечіткої цілі G, нечіткого обмеження С і нечіткої координації К на вибір розв'язку  $x_{ij}$  може бути представлено перетином  $G \cap C \cap K$ .

На основі цього принципу можна розробити рекурентну процедуру ухвалення рішень, що складається з двох етапів для кожного (i+1)-го рівня управління:

1. Розв'язується оптимізаційна задача на декартовому добутку множин  $x_{i1} \times \dots \times x_{iM}$  з цільовою функцією  $\mu_K(\sum_{j=1}^M x_{ij}) = \max_{\{x_{ij}\}} [\mu_D(x_{i1}) \otimes \dots \otimes \mu_D(x_{iM})]$  для рівня (i+1) з урахуванням обмеження  $x_{(i+1)j} = \sum_{j=1}^M x_{ij}$ . Результатом рішення оптимізаційної задачі є функція належності  $\mu_K(x_{(i+1)j}) = \mu_D(\sum_{j=1}^M x_{ij})$ .
2. Знаходиться нечіткий розв'язок на (i+1)-му рівні  $\mu_D(x_{(i+1)j})$  на основі формули  $\mu_D(x_{(i+1)j}) = \mu_D(x_{i1}, \dots, x_{iM}) \otimes \mu_G(x_{(i+1)j}) \otimes \mu_C(x_{(i+1)j})$ . Для прийняття чіткого рішення на N-му рівні управління необхідно вибрати таке рішення  $x_N^0$ , для якого ступінь належності до множини ефективних і допустимих рішень  $\mu_D(x_N)$  є максимальною, тобто  $\mu_D(x_N^0) = \max_{\{x_N\}} [\mu_D(x_N)]$ .

Після прийняття чіткого рішення на N-му рівні управління на основі рішення оптимізаційної задачі при  $\sum_{j=1}^M x_{(N-1)j} = x_N^0$  знаходяться чіткі рішення рівня N-1 -  $x_{(N-1)1}, \dots, x_{(N-1)M}$ . Далі ця процедура повторюється до тих пір, поки не будуть чітко прийняті всі рішення в системі  $\{x_{ij}\}, i = 1, \bar{N}, j = 1, \bar{M}$ .

Якщо ж підсистема вищого рівня має власну ціль G, то при ухваленні розв'язків вона буде враховувати цілі і можливості підсистем нижчих рівнів через координуючий нечіткий розв'язок  $\mu_K(x_{(i+1)j})$ . Ця функція належності гарантує призначення підсистемам нижчих рівнів режимів роботи, близьких до найефективніших для них, тобто фактично відображає факт урахування інтересів підсистем в процесі прийняття рішень.

Розроблено систему координації процесу функціонування колонної дифузійної установки, визначено координаційні завдання для внутрірівневої та міжрівневої координації.

Розраховано кількісні оцінки функцій чутливості для температурного режиму функціонування досліджуваного об'єкта щодо зміни коефіцієнтів теплопередачі та витрат соку і барометричної води та визначено необхідність застосування адаптивних систем.

Об'єкт описується рівнянням виду :

$$\dot{x} = Ax(t) + Bu(t) + Fw(t); \quad x(t_0) = x_0; \quad t_0 = 0,$$

де  $A$ ,  $B$ ,  $F$  – задані матриці коефіцієнтів розмірності  $n \times n$ ,  $n \times m$ ,  $n \times l$  відповідно,  $x(t)$  – вектор стану об'єкта управління,  $u(t)$  – вектор управляючих дій,  $w(t)$  – випадкові процеси в каналах управління.

Провівши аналіз математичної моделі, визначено вектор параметрів стану ( $n=10$ ), вектор управлінь ( $m=3$ ), вектор збурень ( $l=12$ ). З метою розробки алгоритму адаптації настройок регуляторів математичну модель теплообмінної частини КДУ приведено до виду в координатах стану та проведено перевірку її адекватності, при цьому матриці математичної моделі мають вигляд :

$$A = \begin{pmatrix} -02618 & 0 & 0 & 0 & 02356 & 01963 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 00341 & -00750 & 000400 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 00310 & -00696 & 00385 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 00300 & -00669 & 0 & 0 & 00364 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -33670 & 0 & 0 & 00167 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -28058 & 0 & 0 & 00167 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16056 & 0 & 0 & 0015 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16250 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -16250 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -1950 \end{pmatrix} \quad (1)$$

$$B = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 14167 & 0 & 0 \\ 0 & 15000 & 0 \\ 0 & 0 & 30000 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$F = \begin{pmatrix} 00654 & 02378 & 00007 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 00153 \\ 0 & 0 & 0 & -00003 & 00001 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -00003 & 00008 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -00018 & 00051 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3.3503 & -05825 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 27891 & -04854 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1.5900 & 117164 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16250 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 16250 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 19500 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (3)$$

За допомогою комп'ютерного моделювання досліджено ступінь впливу виділених управлінь та збурень на параметри стану об'єкта.

Четвертий розділ присвячено розробці алгоритмічного та програмного забезпечення системи координації та адаптації процесу функціонування колонної дифузійної установки та розробці технічної структури системи управління в рамках комп'ютерно-інтегрованої системи управління цукрового заводу.

Пропонується використати такі формули для розрахунку функції належності розробленої системи координації:

$$\text{- ефективності розв'язку } \mu_G(x_{ij}) = \frac{1}{|x_{ij} - x_{ij}^0| + 1} \quad (4)$$

де  $x_{ij}$  - координаційне завдання від підсистеми вищого рівня,  $x_{ij}^0$  - розв'язок задачі вибору оптимального технологічного режиму підсистеми;

$$\text{- допустимості розв'язку } \mu_C(x_{ij}) = \frac{1}{|x_{ij}^{nom} - x_{ij}^0| + 1} \quad (5)$$

де  $x_{ij}^{nom}$  - номінальне значення параметра.

Управління з використанням функцій належності полягає в знаходженні такого режиму  $x^0$ , для якого функція належності  $\mu_D(x)$  приймає максимальне значення. Отже, задача має розв'язок, якщо існує такий режим  $x^0$ , для якого  $\mu_D(x^0) \neq 0$ , тобто

$$(\exists x)(\mu_D(x) \neq 0) \quad (6)$$

Розв'язки елементів  $j$  нижчого рівня  $i$  описуються функціями належності  $\mu_D(x_{ij}), i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$ , а рішення задачі елементів  $r$  вищого рівня  $(i+1)$  по координації розв'язків підсистем нижчих рівнів - функцією належності  $\mu_K(x_{(i+1)r})$ . Звідси витікає, що задачі, які вирішуються елементами нижчих рівнів, координуються між собою у момент  $t$  тоді і тільки тоді, коли справедливо наступне положення:

$$(\forall j)(\exists x_{ij})(\exists x_{(i+1)r})[\mu_D(x_{ij}) \neq 0 \wedge \mu_K(x_{(i+1)r}) \neq 0] \quad (7)$$

Отже, зкоординованість задач між собою вимагає, щоб ця задача мала розв'язок хоча б при одному  $x_{(i+1)r}$  і для цього рішення множина задач  $D$ , що вирішуються елементами нижчих рівнів, також мала розв'язок.

При розв'язанні задачі координації роботи колонної дифузійної установки, пропонується використати принцип прогнозування та узгодження взаємодій. Відповідно з методом прогнозування взаємодій координуєними змінними є змінні взаємодій  $x_{ij}$ , а координація зводиться до пошуку локального екстремуму глобального критерію. За принципом узгодження взаємодій

складовим критерію оптимальності координуємих підсистем надаються вагові коефіцієнти :

$$\Delta F = \alpha_1 \cdot \Delta F_{ж} + \alpha_2 \cdot \Delta F_{п} + \alpha_3 \cdot \Delta F_U + \alpha_4 \cdot \Delta F_E, \quad (8)$$

де  $\Delta F_{ж}, \Delta F_{п}, \Delta F_{вф}, \Delta F_e$  – зміна витрат виробництва по відношенню до базового варіанту, що пов'язана: з втратами цукру в жомі; з втратою пари на дифузію, підігрівники соку до випарки і випарювання води на випарці; з витратою вапна та формаліну на обробку дифузійного соку; з втратою електроенергії двигунами приводів установки та насосів дифузійного соку від дифузії до випарки, тис.грн.

$\alpha_i$  характеризує “вагу” конкретного критерію, тобто його значущість, і задається

координатором, а їх сума  $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$ .

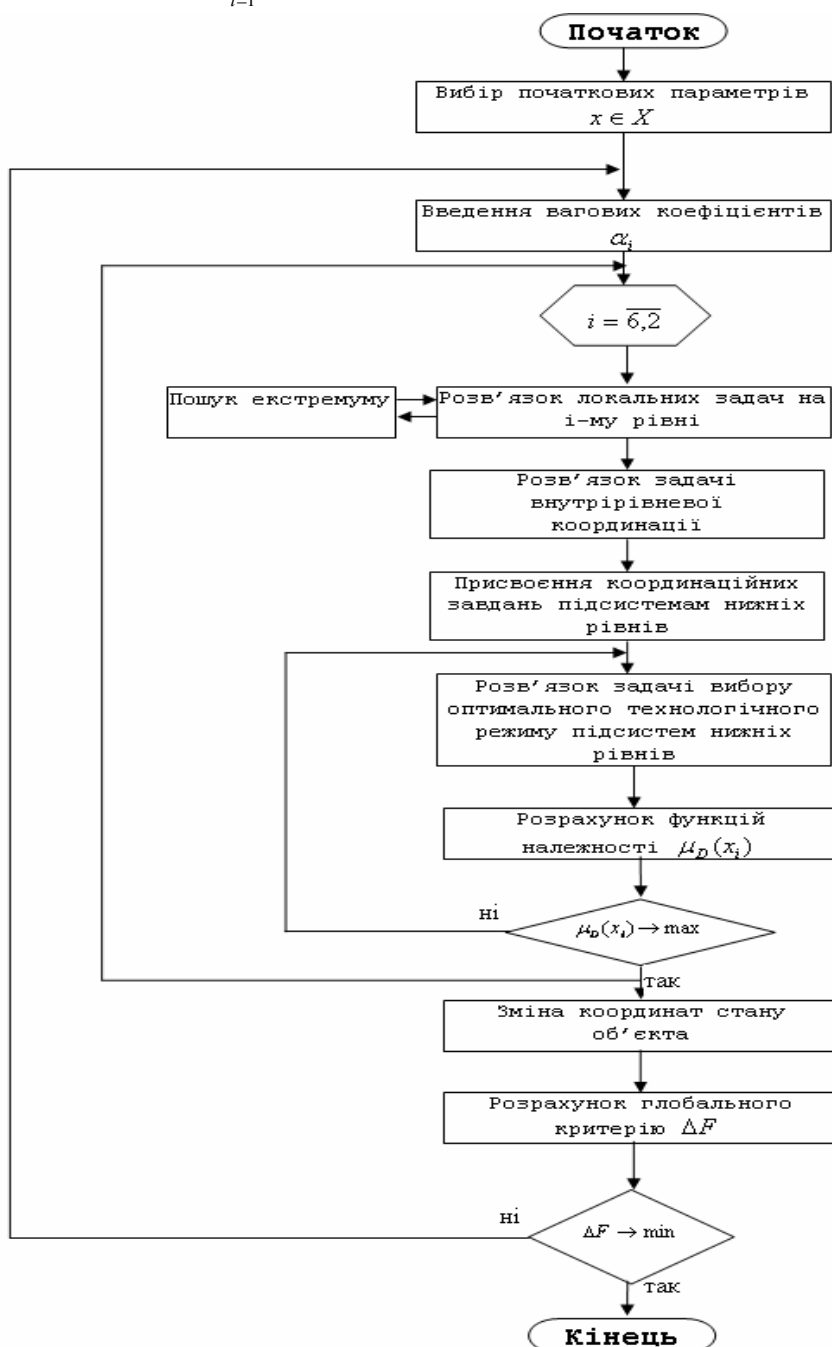


Рис. 3 Алгоритм роботи системи координації процесу функціонування колонної дифузійної установки

Відмітимо основні особливості зазначених процедур координації:

- на кожній ітерації передбачається найбільше зростання показника ефективності роботи дифузійної установки в цілому з урахуванням зв'язків між підсистемами;
- кожна ітерація та її результати повинні задовольняти існуючі обмеження та відповідати покращеним значенням ефективності роботи технологічного комплексу у порівнянні з попередньою ітерацією;
- для колонної дифузійної установки та задачі її координації цілком достатні математичні моделі підсистем;
- ітераційний процес координації забезпечує досягнення локального екстремуму показника ефективності роботи дифузії в цілому.

На основі викладеного вище розроблено алгоритм роботи системи координації процесу функціонування колонної дифузійної установки (рис.3).

На рис.4 представлена структурна схема адаптивної системи управління температурним режимом роботи дифузійної установки, яка складається з об'єкта управління (колонної дифузійної установки) – 1, блоку порівняння – 2, еталонної моделі – 3, блоку вибору та розрахунку критерію управління – 4, автоматичного регулятора – 5, блоку адаптації – 6. Система працює наступним чином :

В якості еталонної моделі, використовується математична модель дифузійної установки, що виведена на основі теплових та матеріальних балансів, значення коефіцієнтів якої розраховуються для типових режимів функціонування з урахуванням конструктивних особливостей досліджуваного об'єкта, що приведена до виду в координатах стану.



Рис.4. Структурна схема адаптивної системи управління температурним режимом роботи колонної дифузійної установки

При зміні властивостей об'єкта в процесі роботи розраховані настройки регулятора не забезпечують в подальшому необхідної якості і виникає необхідність пристосування системи до нових умов роботи. Блок порівняння постійно порівнює координати стану об'єкта і еталонної моделі, якщо виникає

різниця  $\varepsilon = x_e - x \neq 0$ , то сигнал поступає на блок адаптації, задача якого полягає в знаходженні алгоритму адаптації  $r(t) = F_i[x(t)_0, u(t)_0]$  такого, щоб для будь-якого  $\xi \in \Xi$  (набір невідомих параметрів об'єкта управління) в системі

$$\text{досягалась ціль управління} \quad I = \int_{t_0}^t (\theta_p - \theta_e)^T p (\theta_p - \theta_e) dt \rightarrow \min_{T_i, k_p}, \quad (9)$$

де  $\theta_p, \theta_e$  - температури на виході об'єкта та еталонної моделі відповідно,  $T_i, k_p$  -

параметри настройки регуляторів:  $k_p = \begin{bmatrix} k_p^1 \\ k_p^2 \\ k_p^3 \end{bmatrix}$ ,  $T_i = \begin{bmatrix} T_i^1 \\ T_i^2 \\ T_i^3 \end{bmatrix}$ ; матриця  $p$  є додатньо

визначеною розмірності  $n \times n$  ( $p > 0$ ).

Блок адаптації автоматично змінює настройки регулятора, щоб забезпечити задану якість регулювання. На основі проведених досліджень, було розроблено алгоритм роботи адаптивної системи процесу функціонування колонної дифузійної установки з еталонною моделлю при використанні алгоритму швидкісного градієнта для інтегрального цільового функціоналу (рис.5.).

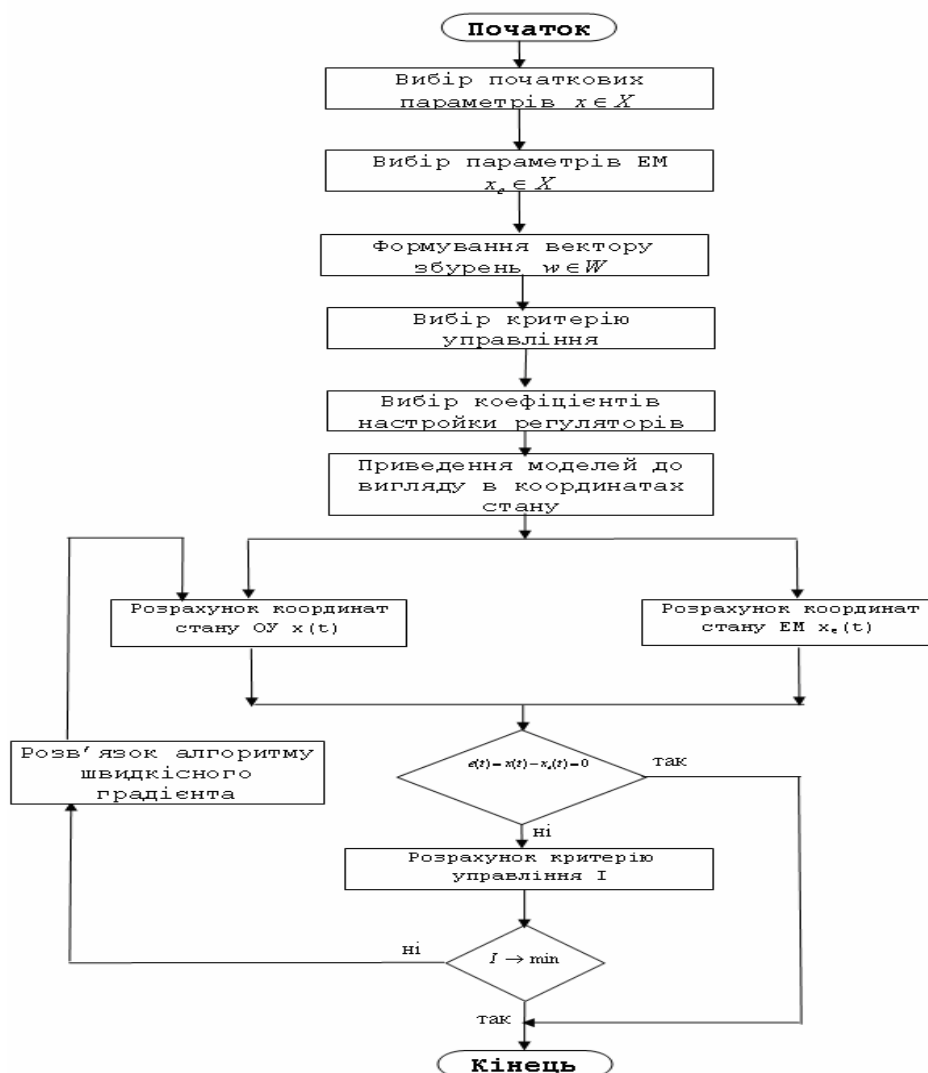


Рис. 5 Алгоритм роботи адаптивної системи процесу функціонування колонної дифузійної установки

За результатами моделювання, оцінка зміни інтегрального квадратичного функціоналу різниці виходу еталонної моделі та об'єкта І при використанні адаптивної системи зменшується в десятки, а то і в сотні разів, що свідчить про ефективність використання алгоритмів адаптації настройок регуляторів для підтримання температурного режиму роботи колонної дифузійної установки відповідно до координаційного завдання.

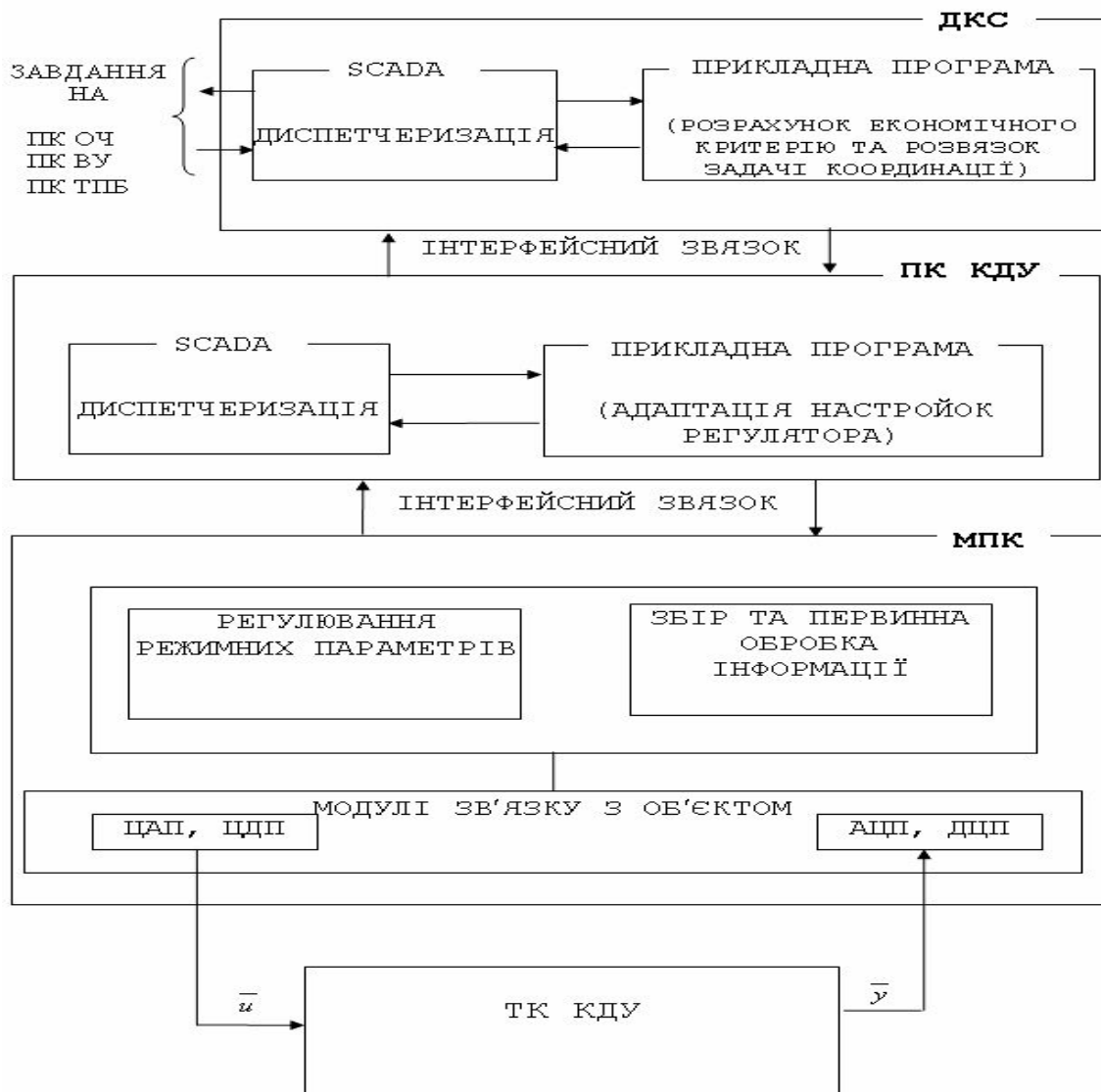


Рис. 6. Технічна структура системи управління КДУ

Для технічної реалізації системи управління КДУ розроблено структуру (рис.6.) де на нижньому рівні працює мікропроцесорний контролер (для вирішення задач стабілізації параметрів та управління режимом роботи КДУ), а на середньому - дві ПЕОМ (ДКС для координації виділених підсистем КДУ, визначення оптимальних режимів підсистем, розрахунок завдань по витраті стружки і соку; ПК КДУ здійснення адаптації настройок регулятора для підтримання оптимального температурного режиму роботи, диспетчеризації, автоматизованих робочих місць та інш.). З урахуванням проведених досліджень розроблена система управління ТК КДУ, що забезпечує автоматизоване управління роботою колонної дифузійної установки з використанням принципів координації та адаптації. Де вхідними даними для колонної

дифузійної установки є вектор управляючих дій  $\bar{u}$ , а вихідними  $\bar{y} = \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{w} \end{bmatrix}$ , де  $\bar{x}$  –

вектор стану об'єкта управління,  $\bar{w}$  – вектор вимірюваних збурень.

Розроблена комп'ютерно-інтегрована система, може бути побудована на базі програмно-технічного комплексу, який складається з будь-якого мікропроцесорного контролера, що задовольняє обчислювальним та функціональними можливостям системи, та персональних ЕОМ.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі запропоновано нове рішення науково-технічної задачі підвищення ефективності функціонування колонної дифузійної установки цукрового заводу і зменшення витрат енергоносіїв шляхом створення автоматизованої системи управління з використанням алгоритмів координації та адаптації.

1. На основі системного аналізу об'єкта вперше виділено підсистеми, які характеризують фізико-хімічні, теплові та гідродинамічні процеси, показано, що за рахунок координації у сформованій багаторівневій ієрархічній структурі процесу дифузії цукру з бурякової стружки з використанням алгоритмів адаптації підвищується ефективність функціонування об'єкта.

2. Визначено критерії ефективності функціонування виділених підсистем та об'єкта в цілому, що використано при координації роботи КДУ із застосуванням статичної математичної моделі, яка дає можливість аналізу та об'єктивної оцінки основних хімічних, теплових та гідродинамічних процесів.

3. Визначено, виведено та адаптовано математичну модель теплообмінної частини колонної дифузійної установки з метою розробки алгоритму адаптації налаштувань регуляторів та проведено перевірку її адекватності. На основі кількісних оцінок функцій чутливості для температурного режиму функціонування досліджуваного об'єкта щодо зміни коефіцієнтів теплопередачі та витрат соку і барометричної води визначено необхідність застосування адаптивних систем.

4. Розроблено систему координації функціонування підсистем колонної дифузійної установки, визначено координаційні завдання для внутрірівневої та міжрівневої координації. Ієрархічну систему описано на мові теорії нечітких множин, задано структуру рівнянь і обмежень, що описують зв'язки в системі, виділено рівні ієрархії, виявлено переваги для кожної підсистеми шляхом завдання відповідних функцій належності, що показують ступінь врахування інтересів підсистем в процесі прийняття рішень.

5. Використання розробленого алгоритмічного та програмного забезпечення для системи автоматизації колонної дифузійної установки дає можливість зменшити загальні витрати виробництва в дифузійному відділенні заводу по відношенню до базового варіанту на 13-17%.

6. Розроблено структуру адаптивної системи управління температурним режимом роботи колонної дифузійної установки та



запропоновано алгоритм її роботи, що базується на використанні методу швидкісного градієнта і забезпечує зміну параметрів налаштувань регулятора на 8-12% від номінальних.

7. Для використання в системі автоматизації колонної дифузійної установки розроблено технічну структуру системи управління в рамках комп'ютерно-інтегрованої системи управління цукрового заводу на основі мікропроцесорних контролерів та ЕОМ, що об'єднано в мережу.

8. Розроблене алгоритмічне та програмне забезпечення передано на цукровий завод, що підтверджено відповідними довідками та використовуються в навчальному процесі.

### **Список праць, опублікованих за темою дисертації**

1. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Луцька Н.М. Застосування адаптивних систем керування для нестационарних об'єктів технологічних комплексів неперервного типу // Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы – 2005. -№1. -С.158-162.

2. Ладанюк А.П., Власенко Л.О., Заєць Н.А. Системний аналіз складного об'єкта в задачах діагностики та координації // Автоматизація виробничих процесів – 2006. - №2. –С. 44-47.

3. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О., Луцька Н.М. Координація функціонування технологічних дільниць цукрового заводу з урахуванням задач прогнозування // Вісник Вінницького політехнічного інституту – 2006. – №6. – С. 112-115.

4. Заєць Н.А. Автоматизоване управління колонною дифузійною установкою з використанням принципів координації та адаптації // Восточно – европейский журнал передовых технологий. - 2008. - № 2(32). –С. 34-37.

5. Ладанюк А.П., Заєць Н.А.. Деклараційний патент на винахід. Система автоматичного управління процесом екстрагування цукру з буряка. №30553, від 25.02.2008р.

6. Ладанюк А.П., Заєць Н.А. Деклараційний патент на винахід. Спосіб автоматичного управління процесом дифузії. №30554, від 25.02.2008р.

7. Ладанюк А.П., Заєць Н.А. Використання функцій чутливості при синтезі адаптивних систем керування // Програма і матеріали 70ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 17-18 квітня 2004. – У 2 ч. – К.: НУХТ, 2004 – Ч.2. – С.124.

8. Заєць Н.А., Ладанюк А.П. Застосування адаптивних систем керування для нестационарних об'єктів технологічних комплексів неперервного типу // IX Міжнародна науково-технічна конференція “Нові технології та технічні рішення в харчовій та переробній промисловості: сьогодення і перспективи”, 17-19 жовтня 2005р. – у 2 ч. – К.: НУХТ, 2005. – ч.2. – с.42.

9. Заєць Н.А., Ладанюк А.П. Методи адаптивної координації функціонування підсистем технологічних комплексів // Програма і матеріали

72-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 17-18 квітня 2006р. – У 2 ч. – К.: НУХТ, 2006. – Ч.2. – С.124.

10. Заєць Н.А., Ладанюк А.П. Методи адаптивної координації функціонування підсистем технологічних комплексів // XIII Міжнародна конференція з автоматичного управління, Вінниця 25-28 вересня 2006р, - В.: 2006, -с.225.

11. Заєць Н.А., Ладанюк А.П. Координація функціонування технологічних ділянок цукрового заводу // Програма і матеріали 73-ї наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів „Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті”, 23-24 квітня 2007 р. – У 2 ч. – К.: НУХТ, 2007. – Ч.2. – С.134

12. Заєць Н.А., Ладанюк А.П. Координація роботи колонного дифузійного апарату з використанням принципів адаптації // XIV Міжнародна конференція з автоматичного управління, – У 2 ч. Севастополь 10-14 вересня 2007р, - С.: 2007, -ч. 1,с.150.

### АНОТАЦІЯ

**Заєць Н.А. Автоматизоване управління колонною дифузійною установкою з використанням принципів координації та адаптації. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування – Національний університет харчових технологій, Київ, 2008.

Дисертацію присвячено питанням створення автоматизованої системи управління з використанням алгоритмів координації та адаптації для підвищення техніко-економічних показників функціонування колонної дифузійної установки цукрового заводу і зменшення витрат енергоносіїв. Проведено системний аналіз об'єкта, виділено підсистеми, які характеризують технологічні процеси в КДУ та визначено можливості підвищення ефективності їх взаємодії. Розроблено комплекс математичних моделей для оцінки ефективності процесу екстрагування, досліджено статичні та динамічні режими та їх вплив на показники роботи дифузійної установки. Розроблено алгоритми та структуру системи управління з використанням методів координації та адаптації. Розроблено інформаційне та програмне забезпечення підсистем координації та адаптації.

Ключові слова: колонна дифузійна установка, статична і динамічна математичні моделі, координація, адаптація, математичне моделювання.

### АННОТАЦИЯ

**Заец Н.А. Автоматизированное управление колонной диффузионной установкой с использованием принципов координации и адаптации. - Рукопись.**

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук за специальностью 05.13.07 - автоматизация процессов управления - Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2008.

Диссертация посвящена вопросам создания автоматизированной системы управления с использованием алгоритмов координации и адаптации для повышения технико-экономических показателей функционирования колонной диффузионной установки (КДУ) сахарного завода и уменьшения расходов энергоносителей.

На основе системного анализа объекта впервые выделены подсистемы, которые характеризуют физико-химические, тепловые и гидродинамические процессы, показано, что за счет координации в сформированной многоуровневой иерархической структуре процесса диффузии сахара из свекольной стружки с использованием алгоритмов адаптации повышается эффективность функционирования объекта.

Определены критерии эффективности функционирования выделенных подсистем и объекта в целом, что использовано при координации работы КДУ с применением статической математической модели, которая дает возможность анализа и объективной оценки основных химических, тепловых и гидродинамических процессов.

Выведено и адаптировано математическую модель теплообменной части КДУ с целью разработки алгоритма адаптации настроек регулятора и проведено проверку ее адекватности. На основе количественных оценок функций чувствительности для температурного режима функционирования исследуемого объекта к изменению коэффициентов теплопередачи, расхода сока и барометрической воды показано необходимость применения адаптивных систем.

Разработано систему координации функционирования подсистем КДУ, определено координационные задания для внутриуровневой и межуровневой координации. Иерархическую систему описано на языке теории нечетких множеств, задано структуру уравнений и ограничений, которые описывают связи в системе, выделено уровни иерархии, определены предпочтения для каждой подсистемы путем задания соответствующей функции принадлежности, что показывает степень учета интересов подсистем в процессе принятия решений.

Использование разработанного алгоритмического и программного обеспечения для системы автоматизации колонной диффузионной установки дает возможность уменьшить общие затраты производства в диффузионном отделении завода по отношению к базовому варианту на 13-17%.

Разработано структуру адаптивной системы управления температурным режимом работы КДУ и предложен алгоритм ее работы, который базируется на использовании метода скоростного градиента и обеспечивает изменение параметров настройки регулятора на 8-12% от номинальных.

Для использования в системе автоматизации колонной диффузионной установки разработано техническую структуру системы управления в рамках компьютерно-интегрированной системы управления сахарного завода на основе микропроцессорных контролеров и ЭВМ, что объединяются в сеть.

Ключевые слова: колонная дифузионная установка, статическая и динамическая математическая модель, координация, адаптация, математическое моделирование.

### THE SUMMARY

**Zaets N.A. Automated management by the columnar diffusive setting with the use of principles of coordination and adaptation. - Manuscript.**

Dissertation for a candidate degree of technical science by specialty 05.13.07 is automation of management processes. National university of food technologies, Kyiv, 2008.

Dissertation is devoted the questions of creation of the automated system of management with the use of algorithms of co-ordination and adaptation for the rise of техніко-економічних indexes of functioning the columnar diffusive setting of sugar-house and reduction of expenses of power mediums.

A systems analysis of object is conducted; subsystems which characterize technological processes in columnar diffusive setting are selected and definite possibilities of rise of efficiency of their cooperation. A complex of mathematical models for estimation of extracting process efficiency is developed; the static and dynamic modes and their affecting indexes of work of the diffusive setting are explored. Algorithms and management system structure with the use of methods of co-ordination and adaptation are developed. The informative and program providing of subsystems of co-ordination and adaptation is developed.

Keywords: columnar diffusive setting, static and dynamic mathematical models, coordination, adaptation, mathematical design.