

Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра "Автоматизації виробничих процесів"

"Допущено до захисту"

Зав.кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

" ____ " _____ 2025р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за першим (бакалаврським) рівнем вищої
освіти

на тему

«Автоматизація управління колонною дифузійною установкою з використанням принципів координації та адаптації»

Automation of column diffusion unit control using the principles of coordination and adaptation

Виконав: здобувач вищої освіти

IV курсу, групи АК-21

спеціальність 151 «Автоматизація та

комп'ютерно-інтегровані

технології»

_____ Сова В.В.

" ____ " _____ 2025р

Керівник роботи

доцент, к.т.н

_____ Мірошніченко М. С.

" ____ " _____ 2025р

Рецензент

" ____ " _____ 2025р

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ	2
1. Загальна характеристика та аналіз роботи дифузійної установки колонного типу	4
1.1. Дифузійна установка колонного типу як об'єкт керування	4
1.2. Основи створення системи керування	13
2 Розробка системи автоматизованого керування роботою дифузійної установки	18
2.1. Інформаційно-програмне забезпечення системи координації процесу функціонування дифузійної установки	18
2.2. Аналіз загальної задачі керування установкою	25
2.3. Аналіз перехідних процесів у системі автоматизованого керування	29
3 Розробка інформаційно-програмного забезпечення системи автоматичного керування температурним режимом	32
3.1. Алгоритмічне та програмне забезпечення адаптивної системи керування температурним режимом роботи дифузійної установки	32
3.2. Моделювання роботи системи керування температурним режимом	37
4 Програмно-технічний комплекс забезпечення системи керування дифузійною установкою	40
4.1. Побудова системи керування роботою дифузійної установки	40
Висновки	49
Список літератури	50

ВСТУП

Автоматизація виступає одним з головних напрямків науково-технічного прогресу й важливим засобом підвищення ефективності виробництва. Сучасне промислове виробництво відрізняється зростанням масштабів й ускладненням технологічних процесів, також збільшенням одиничної потужності деяких агрегатів й установок, зростанням вимог до якості продукції, одночасно забезпечуючи безпеку персоналу та екологію навколишнього середовища. Надійне, економічне та безпечне функціонування складних промислових об'єктів забезпечується лише за допомогою досконалих принципів й сучасних технічних засобів керування.

Технічний прогрес у розвитку промисловості висуває нові вимоги до створення систем керування: вони мають забезпечувати високу точність, водночас залишаючись максимально простими у реалізації. Такі системи повинні ефективно знаходити оптимальні умови ведення технологічного процесу відповідно до заданих виробничих обставин.

У зв'язку з цим особливої актуальності набуває завдання подальшого розвитку й впровадження систем автоматичного керування (САК), що ґрунтується на розробці оптимальних рішень, узгоджених з техніко-економічними критеріями ефективності.

Використання принципу оптимальності у технічних системах дає змогу забезпечити ефективне керування різноманітними пристроями та технологічними процесами. Це означає, що для конкретного об'єкта керування та заданих умов його експлуатації необхідно досягати найкращих якісних показників роботи. При цьому важливо вирішувати задачу оптимізації режимів функціонування з урахуванням наявних обмежень, які визначаються особливостями роботи об'єкта керування — як у разі впливу детермінованих, так і випадкових сигналів, за умов постійних або змінних параметрів самого об'єкта та зовнішніх впливів. Таким чином, необхідно використовувати нові підходи при керуванні підсистемами технологічних

комплексів, що створює нові можливості за підвищення оперативності керування, прийняттю рішень в умовах невизначеності та дефіциті часу.

При цьому виникають проблеми науково-технічного характеру, що пов'язані зі створенням системи керування технологічним комплексом з високими експлуатаційними характеристиками, а саме, визначення технічної структури, формування функціональної структури, вибір критерію оптимального управління технологічним комплексом, розробка структури підсистем із своїми критеріями оптимальності, математичними моделями та обмеженнями, розподіл задач між технічними засобами тощо. Подібні проблеми слід вирішувати на базі детального вивчення характеристик об'єкта управління й показників його функціонування. Показники якості системи керування повинні однозначно співвідноситись з властивостями об'єкта й забезпечувати заданий чи оптимальний режим роботи.

Особливо актуальними при цьому стають такі системи автоматизації, які за статистичними оцінками дозволяють зменшити витрати енергоносіїв. Окрім того, за даними діяльності сучасних підприємств близько 25% ефекту у роботі досягається за рахунок інформаційного забезпечення, і тільки 6% - за рахунок новітніх технологій.

Процес дифузії (екстрагування) є важливою технологічною операцією, що широко використовується в різних галузях промисловості, таких як олійно-жирова, хімічна, фармацевтична та при виготовленні напоїв. Однак екстрагування цукру з буряків має свої особливості й належить до вузькоспеціалізованих процесів, характерних виключно для цукрової промисловості.

1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА АНАЛІЗ РОБОТИ ДИФУЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ КОЛОННОГО ТИПУ

1.1. Дифузійна установка колонного типу як об'єкт керування

Неперервна дифузійна установка колонного типу (КДУ), з погляду об'єкта керування, являє собою комплекс елементів, що пов'язані між собою як статичними, так і динамічними зв'язками. Аналіз структури та взаємозв'язків між цими елементами дає змогу краще зрозуміти особливості функціонування об'єкта. Характерною рисою КДУ є складна розгалужена структура та наявність численних внутрішніх взаємодій. У статичних режимах основні закономірності, що визначають середній технологічний стан і результати процесу, можна вважати детермінованими на достатньо тривалих інтервалах роботи. Водночас дослідження об'єкта в динамічних умовах дозволяє виявити залежності, які формуються під впливом різноманітних реальних факторів. Серед них: цукристість бурякової стружки, коефіцієнт дифузії, коефіцієнт використання дифузійного потоку, якість функціонування систем контролю та керування тощо.

За класифікацією технологічних процесів [1] у дифузійній установці колонного типу відбуваються механічні, гідромеханічні, теплові, дифузійні (екстрагування) процеси й ряд інших.

Неперервно діюча дифузійна установка колонного типу складається з наступних складових:

- колонного дифузійного апарату;
- ошпарювача бурякової стружки;
- підігрівачів для соків та живильної води.

Принципова технологічна схема КДУ наведена на рис.1.1.

Бурякова стружка ($G_{стр}$) подається у шахту ошпарювача, де проходить процес термоплазмолізу з метою підготовки сировини до подальшого висолоджування. Після цього стружка, змішуючись із соком, надходить на

піногасник (G4), а потім переміщується шнеком уздовж ошпарювача до мішалки. У мішалці ошпарювача відбувається її змішування з башенним соком (G5) у співвідношенні 1:2 або 1:3. У результаті формується сокостружкова суміш (G12), яка за допомогою насоса 6 подається через розподілювач до колонного дифузійного апарата (КДА) (позиція 4).

Під дією робочого насоса та обертання розподілювача над ситом створюється підйомна сила, що забезпечує переміщення стружки “паралельними шарами” знизу вгору по висоті колонного апарата. Сік, який нагнітається до колонного апарату разом із стружкою, змішується з екстракційною рідиною, далі проціжується крізь горизонтальне сито, перший ряд перфорованих контрлап, два ситоочисника й далі по трубопроводу виводиться з апарату. Даний сік (G₆) (башенний) розділяють на два потоки: одна частина (G₅), у кількості 300% до маси буряка, направляється крізь підігрівник 3 до мішалки ошпарювача 1; друга частина (G₃) подається у якості добавки до соку (G₂), який рециркулює у ошпарювачі. Лапи, закріплені на валу колонного апарата, у процесі обертання розпушують шар стружки. Разом із контрлопастями вони створюють умови для рівномірної проникності екстракційної рідини крізь шар стружки у напрямку згори донизу по висоті колонного апарата. Водночас ці елементи забезпечують додаткову підйомну силу, яка сприяє переміщенню стружки знизу догори. У верхній частині колонного апарата стружка захоплюється викидаючими лапами й виводиться крізь спеціальне вікно за межі апарата у вигляді жому (G7). Свіжа вода (G₈) проходить крізь підігрівник 5, поступає у верхню частину колонного апарату, звідти вона рухається назустріч стружці з гори до низу й за мірою проходження у міжстружковому просторі омиває стружку. У результаті наявності різниці концентрацій цукру у стружці й рідині, остання насичується цукром й іншими складовими вакуольного соку. З низу колонного апарату екстракційна рідина змішується з соком сокостружкової суміші й, таким чином, утворюється башенний сік. Сік, який відбирається з ошпарювача до рециркулюючого контуру (G₂) (контур

поперечного потоку) разом з певною частиною башенного соку (G_3) розподіляється на дві частини: перша частина не підігрітого соку (G_4) направляється до шахти ошпарювача задля попереднього підігріву стружки, друга частина (G_1), яка нагрівається у підігрівнику 2, направляється до ошпарювача задля нагріву стружки, яка рухається по ошпарювачу.

Сік (G_4), що подається у шахту ошпарювача, змішується зі стружкою й у процесі теплообміну охолоджується. Після цього частина соку відводиться з установки через лобові сита ошпарювача та направляється на подальше виробництво.

Параметрична схема процесів у дифузійній установці (рис. 1.2) демонструє, які з технологічних параметрів прийнято як вхідні (незалежні змінні), а які — як вихідні (залежні змінні). Основними показниками ефективності роботи дифузійної установки є її продуктивність за кількістю переробленого буряка, вміст цукру у жомі, якість та кількість отриманого дифузійного соку, а також низка інших важливих технологічних характеристик. [2].

Продуктивність дифузійної установки визначають її конструктивними параметрами, станом, ритмічністю роботи дифузійного відділення й підприємства у цілому.

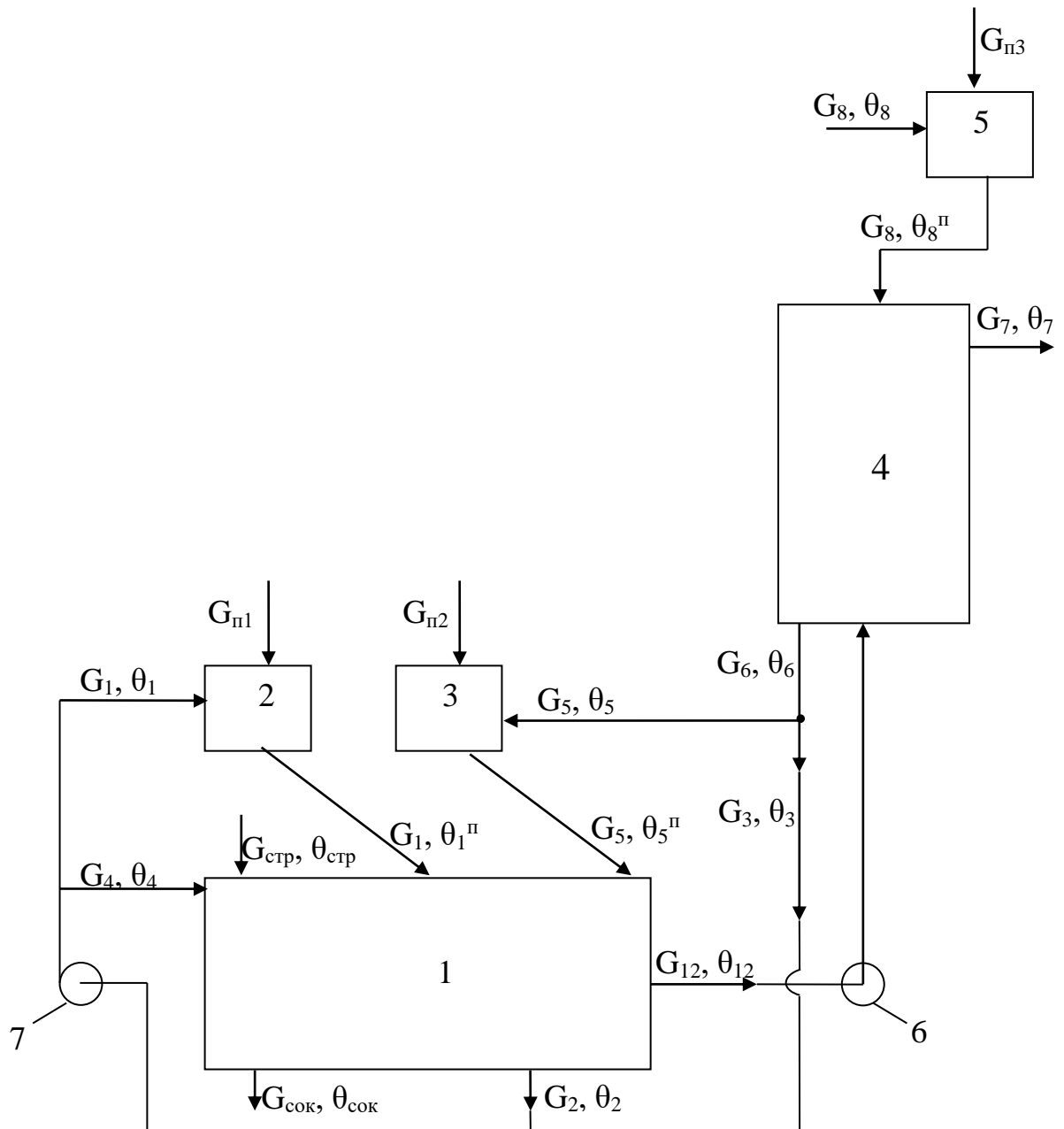


Рис.1.1. Принципова технологічна схема дифузійної установки
колонного типу

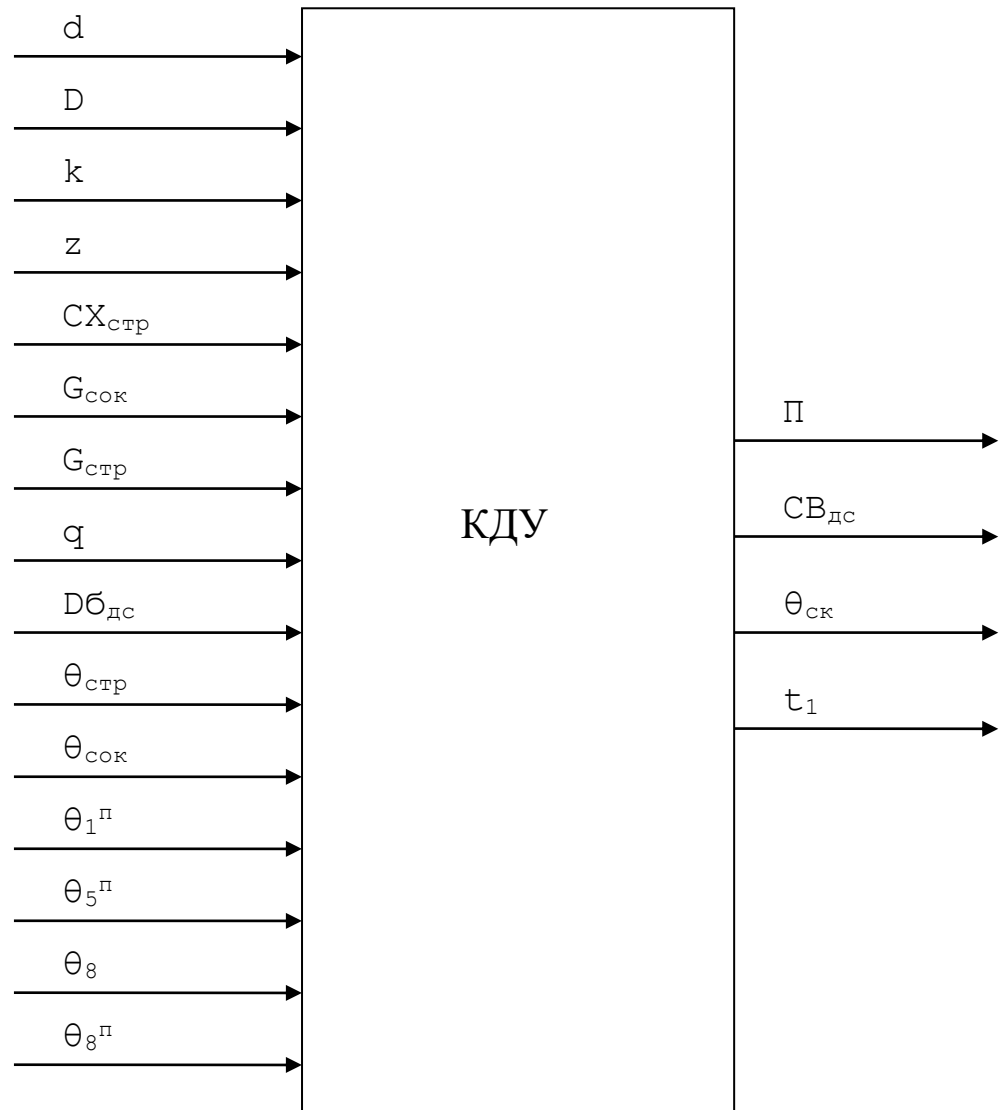


Рис.1.2. Параметрична схема процесів у дифузійній установці

Де :

d - еквівалентна товщина бурякової стружки, м;

D - коефіцієнт дифузії цукру у цукровій тканині, $\text{м}^2/\text{с}$;

k - коефіцієнт нерівномірності роботи дифузійної установки, %;

z - місяць виробничого сезону;

$CX_{\text{стр}}$ - вміст цукру у буряковій стружці;

$G_{\text{сок}}$ - масова витрата соку на виробництво, $\text{кг}/\text{с}$;

$G_{стр}$ - масова витрата цукрової стружки, кг/с;

q - питоме навантаження колонного апарату цукровою стружкою, кг/м³;

$Дб_{дс}$ - якість дифузійного соку, доля одиниці;

$\theta_{стр}, \theta_{сок}, \theta_1^n, \theta_5^n, \theta_8, \theta_8^n$ - відповідно температура на виробництво стружки та соку, температура соку поперечного потоку після підігрівника, температура частини башенного соку, що йде на добавку до соку поперечного потоку до мішалки ошпарювача після підігрівника, температура барометричної води перед підігрівником та після нього, °С.

Вміст цукру у жомі, якість та кількість одержуваного дифузійного соку й багато інших показників залежать від таких режимних параметрів дифузійної установки: еквівалентна товщина бурякової стружки d , коефіцієнт дифузії цукру у буряковій тканині D , коефіцієнт нерівномірності роботи дифузійної установки k , місяць виробничого сезону z , цукристість стружки $SX_{стр}$, витрата дифузійного соку на виробництво $G_{сок}$, витрата стружки $G_{стр}$, питоме навантаження стружкою колонного апарату q , доброякість дифузійного соку $Дб_{дс}$, температури відповідних потоків $\theta_{стр}, \theta_{сок}, \theta_1^n, \theta_5^n, \theta_8, \theta_8^n$.

Вище перелічені змінні відносять до незалежних, вони, у свою чергу, розділяються на керовані (які змінює оператор або система автоматизації) та некеровані (які приймають випадкові значення). Керованими параметрами являються $d, k, G_{сок}, G_{стр}, H, q$ й температури потоків, інші параметри з групи незалежних змінних – некеровані.

Залежними змінними приймають наступні параметри процесу у установці: втрата цукру у процесі дифузії Π , вміст сухих речовин у дифузійному соці $СВ_{дс}$, середня температура у колонному апараті $\theta_{ск}$, час дифундування t_1 .

Процес дифузії у цукровому виробництві належить до найважливіших стадій технологічного циклу, оскільки саме на цьому етапі відбувається вилучення цукру з вихідної рослинної сировини. У процесі

дифузії спостерігаються суттєві якісні зміни сировини, водночас неминучими залишаються певні втрати цукру, що утворюються у відходах виробництва та призводять до значних економічних збитків. У зв'язку з цим питання оптимізації та інтенсифікації процесу дифузії набувають особливої актуальності як з наукового, так і з практичного погляду. Ефективне розв'язання зазначених проблем передбачає проведення глибокої якісної та кількісної оцінки впливу основних технологічних чинників на перебіг процесу. Особливу увагу у цьому контексті приділяють дослідженню впливу таких параметрів, як швидкість руху екстрагувальної рідини, температура процесу, розміри стружки тощо, на інтенсивність масовіддачі під час екстрагування цукру з бурякової сировини. Результати таких досліджень висвітлено у низці наукових праць, що становлять теоретичну основу для подальшого вдосконалення процесу. [3]. Сучасні підходи до оптимізації процесу дифузії передбачають використання різноманітних методів моделювання та автоматизованого керування, що дозволяє підвищити ефективність вилучення цукру та зменшити його втрати у відходах. Особливу увагу дослідники приділяють впровадженню адаптивних та координаційних систем керування, які забезпечують стабільність процесу за змінних технологічних умов і сировинних характеристик. Подальший розвиток у цьому напрямі відкриває перспективи для підвищення техніко-економічних показників виробництва та досягнення більш стійкої якості кінцевого продукту.

Наприклад, на рис.1.3. наведений вплив температури на коефіцієнт дифузії у тканинах буряку, звідси видно, що за зростання температури коефіцієнт дифузії збільшується. Але збільшення температури до 80 °C одночасно призводить до перегрівання стружки, при цьому стружка втрачає пружність й також, можливе її злипання.

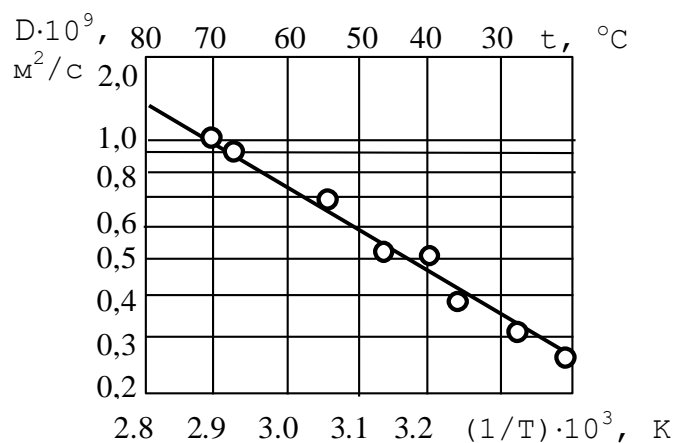


Рис. 1.3. Залежність коефіцієнта дифузії сахарози від температури у тканинах цукрового буряку

Отже, задля отримання дифузійного соку з необхідними технологічними якостями, слід швидко нагріти стружку до температури денатурації білків й надалі підтримувати температуру активної екстракції у інтервалі 72...75 °С.

Кількість цукру, який отримується зі стружки, який містить 100 кг соку, визначається рівнянням [4]:

$$S = D \cdot F \frac{C - c}{d} \tau \quad (1.1)$$

де C – середня концентрація бурякового соку всередині стружки протягом часу її висолоджування; c – середня концентрація соку ззовні стружки; d – товщина стружки; D – коефіцієнт дифузії.

За поверхню дифундування F прийнято поверхню стружки, кількість якої відповідає 100 кг соку.

Рівняння (1.1) дозволяє проаналізувати роль чинників роботи дифузійного апарату:

- зі збільшенням відкачки збільшується вилучення цукру зі стружки, оскільки знижується концентрація дифузійного соку c , отже, у рівнянні (1) зменшується c й збільшується $C - c$, це призводить до збільшення S ;

- збільшення тривалості дифундування τ сприяє збільшенню кількості цукру, так як у рівнянні (1) τ стоїть у чисельнику;

- підвищення температури також покращує процес висолоджування, так як зі збільшенням температури швидко зростає коефіцієнт дифузії сахарози D ;

- збільшення довжини 100г стружки спричиняє зменшення її товщини d й одночасно збільшення поверхні дифундування F , обидва ці фактори збільшують кількість продифундованого цукру S .

Таким чином, ефективність вилучення цукру зі стружки підвищується зі збільшенням інтенсивності відкачування та тривалості процесу висолоджування, підвищенням температури, а також, що особливо важливо, зі зростанням довжини стружки. Багато дослідників [2] звертають увагу на великий вплив питомого навантаження дифузійного апарату стружкою, зміна якого з одного боку, збільшує коефіцієнт масовіддачі й ступінь використання дифузійного потоку, а з іншого – сприяє їх зменшенню, отже, повинна існувати оптимальна величина питомого навантаження у дифузійному апараті. Досліджений також і вплив нерівномірності роботи підприємства на основний технологічний показник процесу дифузії, а саме, втрати цукру у жомі.

Для здійснення ефективного вилучення цукру з бурякової сировини з використанням мінімальної кількості води, яка б відповідала вмісту соку у буряках, необхідно забезпечити ідеальні умови проведення дифузійного процесу. Проте у реальних виробничих умовах досягнення такого режиму ускладнюється впливом ряду факторів, серед яких: ступінь плазмолізу клітинної тканини буряків, наявність повітря та газів у міжклітинному просторі, порушення режиму протитоку, механічне руйнування (дроблення) стружки тощо [3]. Як наслідок, фактичний обсяг відкачуваної рідини зазвичай суттєво перевищує теоретично мінімально необхідний, що знижує загальну ефективність процесу. Величина відкачки може розраховуватись на основі аналізу буряка, жому та дифузійної води [4], дифузійного соку, або

враховуючи передбачувану тривалість виробництва та середньої розрахункової дигестії. Визначається при цьому середній розрахунковий коефіцієнт відкачки дифузійного соку, а у разі зміни таких чинників як дигестія, температура, час дифузії, довжина стружки, втрата цукру у жомі виконують корекцію коефіцієнту відкачки наступним чином: при зміні дигестії на 1% відкачку змінюють на 1%, довжина 100г стружки на 1м – відкачку на 3%, температура процесу на 1⁰С – відкачку на 0.5%, час дифузії на 1хвилину – відкачку на 0.7%, втрата цукру у жомі на 1% - відкачку на 4%.

1.2. Основи створення системи керування

Теоретичною та методологічною основою для створення системи керування колонною дифузійною установкою (КДУ) є результати досліджень, що стосуються як загальних принципів автоматизації, так і прикладних розробок у суміжних галузях промисловості. Зокрема, йдеться про оптимізацію технологічних процесів і виробничих систем, математичне моделювання об'єктів керування, розробку сучасних алгоритмів керування та їхню практичну реалізацію на відповідних технічних засобах — таких як електронно-обчислювальні машини (ЕОМ), мікропроцесорні контролери тощо. При цьому особливе значення має побудова систем керування у рамках визначених структур, зокрема у складі керуючих та обчислювальних мереж. Варто зазначити, що в сучасних умовах усе більшої актуальності набувають методи координації роботи окремих підсистем, що зумовлено тенденціями до зростання рівня інтеграції виробничих процесів і пов'язаних із ними систем автоматичного керування. [4].

Дифузійні відділення на сучасних цукрових заводах, як правило, оснащуються системами автоматизації, побудованими на базі мікропроцесорних контролерів, які за допомогою спеціалізованих інтерфейсів підключаються до електронно-обчислювальних машин (ЕОМ), що у більшості випадків представлені персональними комп'ютерами.

Основна функція ЕОМ у таких системах полягає в організації активного людино-машинного інтерфейсу, що створюється або засобами сучасних мов програмування, або з використанням спеціалізованих інструментальних середовищ, які містять готові функціональні блоки для розробки інтерактивних інтерфейсів — так звані системи SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) [6]. Таким чином формується автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора дифузійного відділення.

Як правило, такі системи, окрім забезпечення активної взаємодії між оператором та системою керування, передбачають можливість автоматичного реєстрування значень контрольованих параметрів у спеціалізованих базах даних (БД), що дає змогу здійснювати подальший аналіз та перегляд історичних даних щодо функціонування технологічного процесу. Автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора може працювати як у автономному режимі, так і у складі інтегрованих промислових мереж, які забезпечують об'єднання всіх мікропроцесорних контролерів та АРМ операторів різних технологічних підрозділів підприємства. Такий підхід створює передумови для реалізації інтегрованого управління на рівні автоматизованої системи керування технологічними процесами (АСУ ТП) та автоматизованої системи управління підприємством (АСУП), що, у свою чергу, охоплює й управління бізнес-процесами цукрового заводу.

Основною метою впровадження подібних систем автоматизованого управління (САУ) є мінімізація кількості контурів керування, що потребують безпосереднього втручання оператора. При цьому основні завдання управління технологічним процесом виконуються мікропроцесорною САУ, яка забезпечує можливість реалізації кількох режимів керування процесом, включно з режимом активного впливу оператора на перебіг технологічного процесу. Так як усі параметри роботи дифузійної установки пов'язані між собою, тому координація керуючих дій на рівні засобів локальної автоматики й мікропроцесорної техніки не є можливою, оскільки необхідний аналіз параметрів системи у цілому, чи її окремих функціонально - зв'язаних

підсистем. Неможливим виявляється також й підтримання оптимального температурного режиму роботи КДУ, так як параметри функціонування об'єкта за часом змінюються й виникає необхідність постійно знаходити оптимальні налаштування регуляторів. Отже, використання сучасних мікропроцесорних САУ у дифузійних відділеннях цукрових заводів дозволяє підвищити ефективність керування технологічними процесами, знизити залежність від людського фактора та забезпечити інтеграцію локальних систем у єдиний інформаційний простір підприємства. Це створює підґрунтя для формування оптимальної архітектури системи автоматизації та обґрунтованого вибору відповідних технічних засобів; засоби автоматизації, які створені задля підвищення ефективності проходження процесу дифузії, тільки частково вирішують задачу зниження енергоспоживання й втрат цукру у жомі, підтримання оптимального температурного режиму й інше, але основна роль у керуванні процесом все ж таки належить оператору. Це пов'язане з великою кількістю контрольованих чинників та специфікою КДУ як досить складного об'єкта. Керування процесом дифузії у конфліктних ситуаціях повністю засновано на інтуїції й досвіді оператора, він, виходячи зі свого досвіду та результатів суб'єктивних спостережень, аналізує при цьому величини температур за зонами апарата, витрату стружки, соку та барометричної води, при цьому приймає оперативні рішення по керуванню процесом. Оператор не завжди має змогу своєчасно сприйняти, обробити значний потік інформації та ухвалити оптимальне рішення щодо керування технологічним процесом, що зумовлює виникнення певної невизначеності у процесі прийняття рішень. У подібних умовах оператор змушений аналізувати велику кількість інформаційних параметрів і одночасно формувати керуючі впливи, часто — за наявності неповної інформації та у режимі дефіциту часу. У критичних ситуаціях значне інформаційне навантаження може перевищувати когнітивні можливості людини, що призводить до помилок у розпізнаванні ситуації, яка складається. У результаті знижується оперативність і якість ухвалення керуючих рішень, а

ефективність управління значною мірою починає залежати від особистого досвіду та індивідуальних особливостей оператора. Аналіз існуючих досліджень й системотехнічний аналіз об'єкта керування показав, що для КДУ роботи за створення САУ різного рівня й призначення [5], у яких вирішувалися би проблеми знаходження оптимальних значень режимних параметрів й навантажень для усіх технологічних ситуацій, але задача розробки САУ КДУ, яка побудована на сучасних теоретичних основах синтезу систем керування, особливо на основі принципів координації й адаптації процесу дифузії, у цілому не розглядалась. Тому доцільним можна вважати напрям автоматизації КДУ зі синтезом систем автоматизації, що включають контури координації й адаптації процесу за змінюваних умов роботи, а це не властиве існуючим на сьогодні системам автоматизованого керування.

Підвищення ефективності стабільного технологічного процесу екстрагування цукру з бурякової сировини шляхом впровадження автоматизованої системи керування, побудованої на основі алгоритмів координації та адаптації, передбачає формування нової оптимальної структури управління підсистемами технологічного комплексу. Для досягнення цієї мети необхідно розв'язати такі ключові завдання: розробити комплекс математичних моделей задля оцінки ефективності процесу екстрагування, дослідити статичні й динамічні режими, вплив на показники роботи дифузійної установки;

Відомі на сьогодні загальні методи й науково-технічні засади з метою розв'язання вище перелічених задач. Використання таких методів задля конкретного об'єкта, у нашому випадку для КДУ, вимагає проведення певних досліджень:

- провести системотехнічний аналіз об'єкта й системи керування;
- визначити основні ситуації функціонування й розробити критерії оцінки ефективності системи у таких ситуаціях;

- розробити й адаптувати математичні моделі задля задач оптимального керування системою;
- розробити алгоритми координації й адаптації задля керування підсистемами колонної дифузійної установки;
- розробити функціональні структури мікропроцесорної системи керування на основі визначених проблем.

2 РОЗРОБКА СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ РОБОТОЮ ДИФУЗІЙНОЇ УСТАНОВКИ

2.1. Інформаційно-програмне забезпечення системи координації процесу функціонування дифузійної установки

У процесі функціонування дифузійної установки основною проблемою при розв'язанні задачі оптимізації багаторівневих ієрархічних систем є взаємна залежність рішень різних рівнів керування. Зокрема, рішення, що приймаються на нижчому рівні, значною мірою визначаються цілями та обмеженнями, сформульованими на рівні вищому. Водночас результати, отримані на нижчому рівні, впливають на формування та коригування рішень вищого рівня. Для усунення цієї проблеми й досягнення узгодженого функціонування системи, на нижчому рівні управління запроваджується поняття нечіткого оптимального розв'язку, що дозволяє підвищити гнучкість і адаптивність процесу прийняття рішень у складних багаторівневих структурах. Відомий процес координації, який відбувається до прийняття рішень елементами нижніх рівнів чи після їх ухвалення (корекція). Пропонується при цьому використовувати методи координації, які узгоджують розв'язки у процесі прийняття рішень за оперативного керування системою. Елементи вищого й нижчого рівнів пов'язані між собою двома видами сигналів: перший сигнал, який посланий до гори, несе елементу вищого рівня інформацію про допустимість й ефективність режимів роботи підсистем (так зване нечітке оптимальне рішення), а другий сигнал, який йде з гори до низу, конкретизує завдання на виконання на нижньому рівні. Елементи вищого рівня у зв'язку з пріоритетом дій повинні обертися для елементів нижніх рівнів стратегію поведінки (вибір способу координації), зміну у структурі й параметрах елементів нижніх рівнів (аспект самоорганізації) й координуючу дію за фіксованої структури й параметрах (аспект керування). Обсяг та характер інформації про елементи нижчих рівнів, необхідної для ухвалення рішень на вищому рівні керування,

визначаються як цілями конкретної задачі оптимізації, так і структурою моделі та взаємозв'язками між її елементами. Для багаторівневої ієрархічної системи принципово важливо описати нижчий рівень як сукупність взаємодіючих підсистем, кожна з яких переслідує власні локальні цілі. У зв'язку з цим у даній роботі основну увагу зосереджено на дослідженні внутрішньорівневих та міжрівневих взаємодій у системі. Запропонований підхід відповідає ключовим засадам системного аналізу, оскільки забезпечує цілісне уявлення про функціонування складної ієрархічної системи. Використання апарату теорії нечітких множин дозволяє утримувати у фокусі розгляду систему в цілому та забезпечує можливість ефективного вирішення задач на всіх рівнях управління з урахуванням системної цільової орієнтації. Застосування системного підходу дозволяє сформулювати фактори, які визначають природу зміни ефективності й допустимості станів складної системи й звести масиви інформації, які описують стан системи у різні моменти й при різних умовах, до невеликої кількості узагальнених характеристик задля наочної інтерпретації кількісних даних про систему за умови використання їх задля прийняття рішень.

У подібній задачі функції належності у якості числової оцінки повинні задовольняти наступним вимогам:

1. величини, які залежать від стану елементів системи й зв'язків між ними, й достатньо просто обчислюються, виходячи з наявної інформації про систему (вірогіднісну, детерміновану, лінгвістичну);
2. функція належності елемента системи має давати уявлення про одну з властивостей системи;
3. функція належності має допускати просту наближену оцінку на основі експериментальних даних або експертних оцінок.

Використали наступні формули задля розрахунку функції належності розробленої системи координації:

- ефективності розв'язку

$$\mu_G(x_{ij}) = \frac{1}{|x_{ij} - x_{ij}^0| + 1}, \quad (2.1)$$

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

- допустимості розв'язку

$$\mu_C(x_{ij}) = \frac{1}{|x_{ij}^{nom} - x_{ij}^0| + 1}, \quad (2.2)$$

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

Однією з важливих переваг використання багатокритеріального підходу до розв'язання задачі оптимізації є те, що на відміну від однокритеріального підходу, який, як правило, призводить до отримання рішення, що лежить на межі одного з обмежень із одночасним істотним погіршенням інших експлуатаційних характеристик системи (зокрема, надійності, відповідності вимогам раціональної експлуатації тощо), багатокритеріальна постановка задачі забезпечує більш адекватне відображення реальних умов функціонування об'єкта та дозволяє досягти збалансованого рішення з урахуванням усіх суттєвих параметрів. У цьому контексті особливого значення набувають методи побудови багатокритеріальних функцій якості, які дозволяють формалізувати процес врахування різномірних вимог до функціонування системи та забезпечити отримання оптимальних, практично придатних рішень у багаторівневих ієрархічних структурах.

Керування за використання функцій належності полягає у знаходженні такого режиму x^0 , задля якого функція належності $\mu_D(x)$ приймає максимальне значення. Таким чином, задача має розв'язок, коли існує такий режим x^0 , задля якого $\mu_D(x^0) \neq 0$, отже

$$(\exists x)(\mu_D(x) \neq 0). \quad (2.3)$$

Розв'язки елементів j нижнього рівня й описуються функціями належності $\mu_D(x_{ij}), i = \overline{1, N}, j = \overline{1, M}$, а рішення задачі елементів r вищого рівня $(i+1)$ за координацією розв'язків підсистем нижніх рівнів - функцією належності $\mu_K(x_{(i+1)r})$. Можна зробити висновок, що задачі, що вирішуються елементами нижніх рівнів, координуються між собою у момент t тоді й тільки тоді, коли справедливо наступне:

$$(\forall j)(\exists x_{ij})(\exists x_{(i+1)r})[\mu_D(x_{ij}) \neq 0 \wedge \mu_K(x_{(i+1)r}) \neq 0]. \quad (2.4)$$

Отже, злагодженість задач між собою вимагає, щоб така задача мала розв'язок хоча б при одному $x_{(i+1)r}$ й для цього рішення множина задач D , яка вирішується елементами нижніх рівнів, також мала розв'язок.

Виходячи з понять злагодженості постулат сумісності може бути записаний наступним чином: задля успішної роботи багаторівневої ієрархічної системи потрібно, щоб цілі (задачі) її підсистем були злагоджені між собою й з глобальною ціллю усієї системи загалом.

Координація виступає специфічною задачею ієрархічної системи керування й на сучасному етапі використовує ряд принципів, на яких засновані ітеративні й безітеративні процедури розв'язку поставленої задачі. Основними принципами координації є наступні:

- прогнозування взаємодії, коли координація здійснюється шляхом завдання змінних взаємодії координуючих підсистем (відповідає проміжним завданням);
- узгодження взаємодій, що передбачає модифікацію локальних функцій мети з допомогою параметрів, заданих координатором (відповідає проміжним цінам);
- оцінки взаємодій, які можна розглядати у якості узагальненого принципу прогнозування взаємодій на той випадок, коли у задачах нижнього рівня координатором зазвичай задаються області таких допустимих значень змінних взаємодії підсистем.

За розв'язку задачі координації роботи колонної дифузійної установки, використали комбінований принцип, або принцип прогнозування й узгодження взаємодій. Відповідно методу прогнозування взаємодій змінними, що координуються, виступають змінні взаємодій x_{ij} , координація зводиться при цьому до пошуку локального екстремуму глобального критерію. За принципом узгодження взаємодії складовим критерію оптимальності підсистем, що координуються, надаються вагові коефіцієнти :

$$\Delta F = \alpha_1 \cdot \Delta F_{Ж} + \alpha_2 \cdot \Delta F_{П} + \alpha_3 \cdot \Delta F_{U} + \alpha_4 \cdot \Delta F_{E}, \quad (2.5)$$

де α_i характеризує “вагу” конкретного критерію, або його значущість, й задається координатором, а їх сума $\sum_{i=1}^4 \alpha_i = 1$.

Наведемо основні особливості зазначених процедур координації:

- на кожній ітерації передбачено найбільше зростання показника ефективності роботи дифузійної установки у цілому за урахування зв'язків між підсистемами;
- кожна ітерація й її результати мають задовольняти існуючі обмеження й відповідати покращеним значенням ефективності роботи технологічного комплексу за порівняння з попередньою ітерацією;
- для колонної дифузійної установки й задачі її координації цілком достатньо математичної моделі підсистем;
- ітераційний процес координації, зазвичай, забезпечує досягнення локального екстремуму показника ефективності роботи дифузії у цілому, але й такий режим має значний ефект задля складних технологічних комплексів.

На основі усього вищевикладеного розробили алгоритм роботи системи координації процесу функціонування колонної дифузійної установки (рис.2.1.).

У таблиці 2.1 наведені значення змінних взаємодії підсистем задля одного з багатьох варіантів розрахунків, необхідний результат при цьому отримується за 4-7 ітерацій.

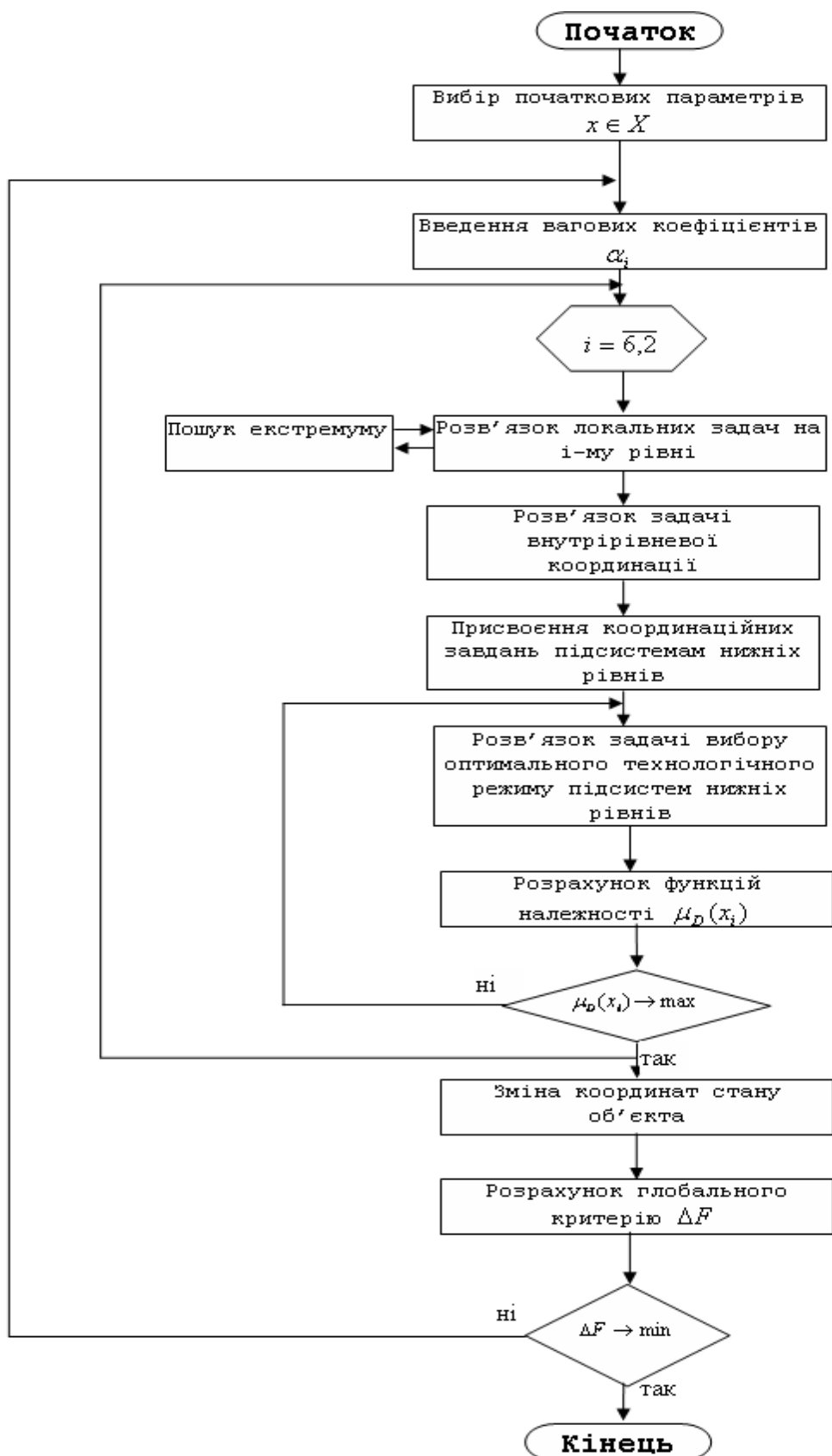


Рис. 4.1. Алгоритм роботи системи координації процесу функціонування колонної дифузійної установки

Таблиця 2.1

№ п/п	Параметр і одиниці виміру	Значення параметру до координації	Значення параметру після координації
1	Коефіцієнт нерівномірності роботи дифузійної установки k , %	12	7
2	Питоме навантаження колонного апарату цукровою стружкою q , кг/м ³	650	734
3	Рівень сокостружкової суміші в КА Н, м.	13.1	13.4
4	Температура барометричної води після підігрівника $\Theta_8^п$, °С	69.5	73
5	Температура частини башенного соку, що йде в мішалку ошпарювача після підігрівника $\Theta_5^п$, °С	72	73.5
6	Температура соку поперечного потоку після підігрівника $\Theta_1^п$, °С	73	73
7	Температура соку, що йде на виробництво $\Theta_{сок}$, °С	42	45
8	Коеф. дифузії цукру в цукровій тканині D_{65} , м ³ /сек	$0.8 \cdot 10^{-9}$	$0.9 \cdot 10^{-9}$
9	Еквівалентна товщина бурякової стружки d , м	0.0017	0.0015
10	Масова витрата цукрової стружки $G_{стр}$, кг/сек	28.2	29.1
11	Масова витрата соку $G_{сок}$, кг/сек	33.7	35.9
12	Вміст сухих речовин в дифузійному соці після випарювання $СВ_{пов}$, %	63	65
13	температура барометричної води перед підігрівником Θ_8 , °С	45	45
14	Коефіцієнт відкачки дифузійного соку на виробництво α	1.19	1.23
15	Масова витрата соку поперечного потоку що йде на підігрівник G_1 , кг/сек	101	104.6
16	Масова витрата соку поперечного потоку що виробляється з ошпарювача G_2 , кг/сек	101	104.6
17	Масова витрата соку що йде на добавку до соку поперечного потоку G_3 , кг/сек	38	39.3
18	Масова витрата соку на піногасник G_4 , кг/сек	38	39.3
19	Масова витрата соку що поступає в мішалку ошпарювача G_5 , кг/сек	83.2	85.85

20	Масова витрата башенного соку G_6 , кг/сек	121.26	125.13
21	Масова витрата жому G_7 , кг/сек	19.74	20.37
22	Масова витрата барометричної води G_8 , кг/сек	20.7	21.25
23	Масова витрата сокостружкової суміші, що поступає в середню частину ошпарювача G_{11} , кг/сек	37.1	38.4
24	Масова витрата сокостружкової суміші, що поступає в колонний апарат G_{12} , кг/сек	120.3	124.25
25	Температура башенного соку Θ_6 , $^{\circ}\text{C}$	65	66.3
26	Температура соку на піногаснику Θ_4 , $^{\circ}\text{C}$	68.1	69
27	Температура сокостружкової суміші в шахті ошпарювача Θ_{11} , $^{\circ}\text{C}$	42	45
28	Температура сокостружкової суміші на виході з ошпарювача Θ_{12} , $^{\circ}\text{C}$	66.4	67.7
29	Середня температура сокостружкової суміші в колонному апараті Θ_{ck} , $^{\circ}\text{C}$	65	69
30	Вміст сухих речовин в дифузійному соці, що поступає на випарювання CB_{ne} , %	15	15.5
31	Час дифундування t_1 , сек	4000	4100
32	Втрати цукру в жомі Π_1 , % до маси буряка	0.7	0.3
33	Загальні втрати цукру на дифузійній установці Π , % до маси буряка	0.9	0.5

2.2. Аналіз загальної задачі керування установкою

Результати розв'язку загальної задачі керування КДУ наведені на рис.2.2, де $\Delta F, \Delta F^*$ - зміна витрат виробництва за відношення до базового варіанту відповідно без координації та з використанням алгоритмів координації.

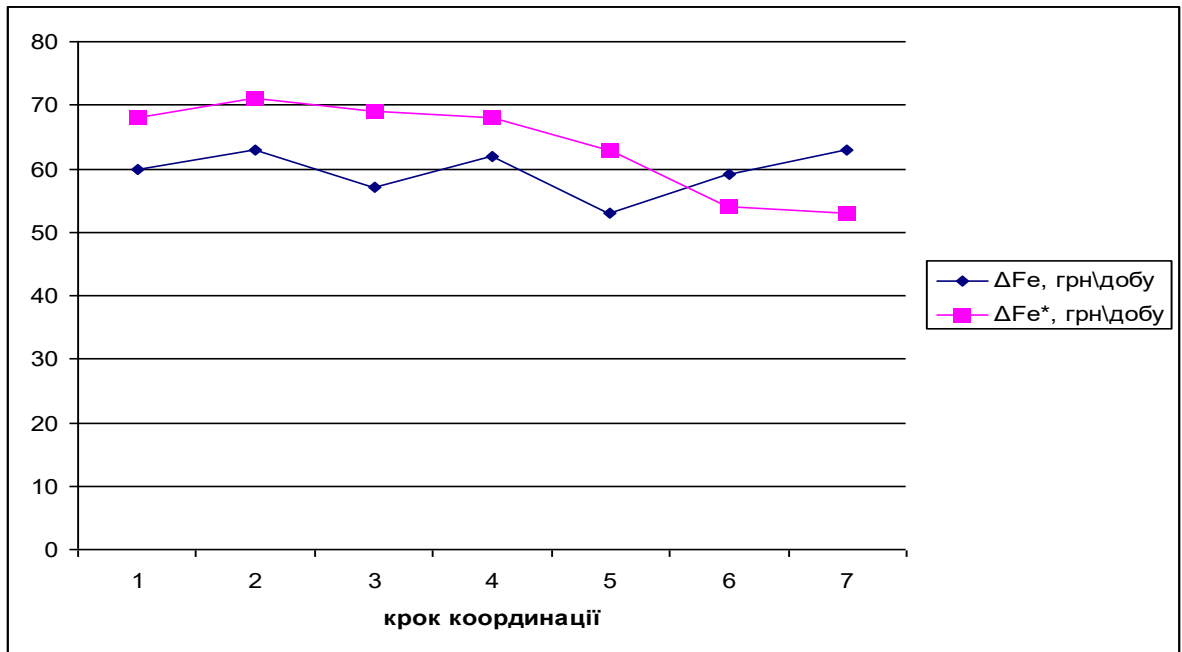


Рис.2.2. Графік зміни $\Delta F_E, \Delta F_E^*$ відповідно без та з використанням координації роботи підсистем КДУ.

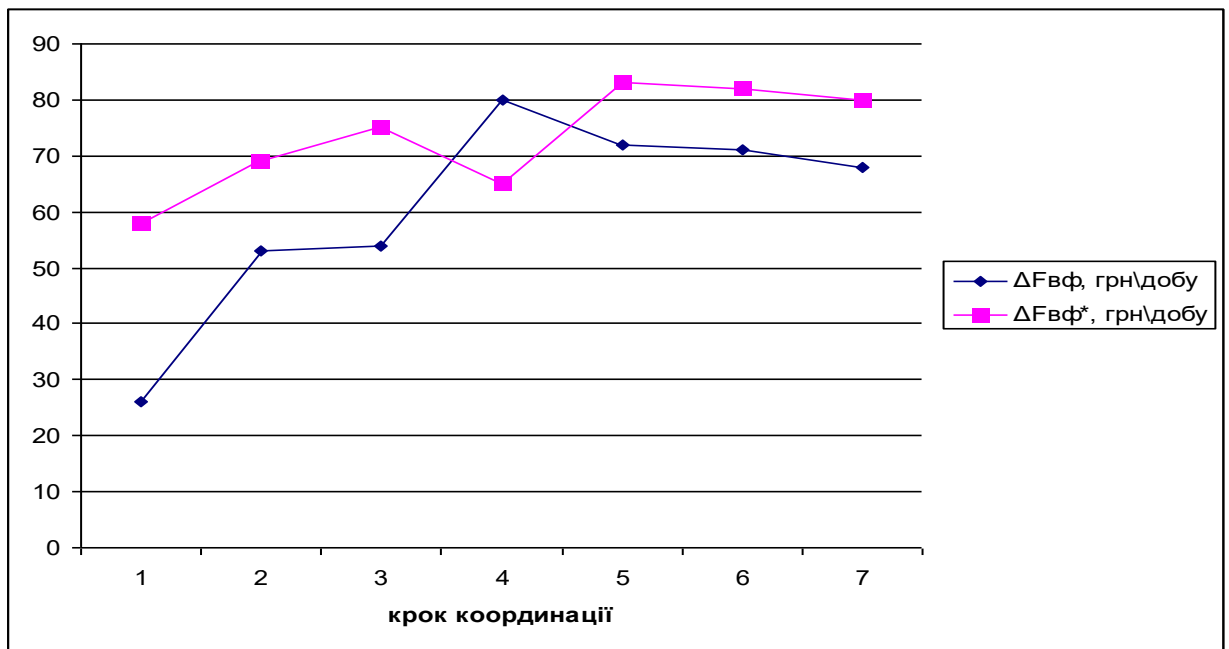


Рис.2.3. Графік зміни $\Delta F_{вф}, \Delta F_{вф}^*$ відповідно без та з використанням координації роботи підсистем КДУ.

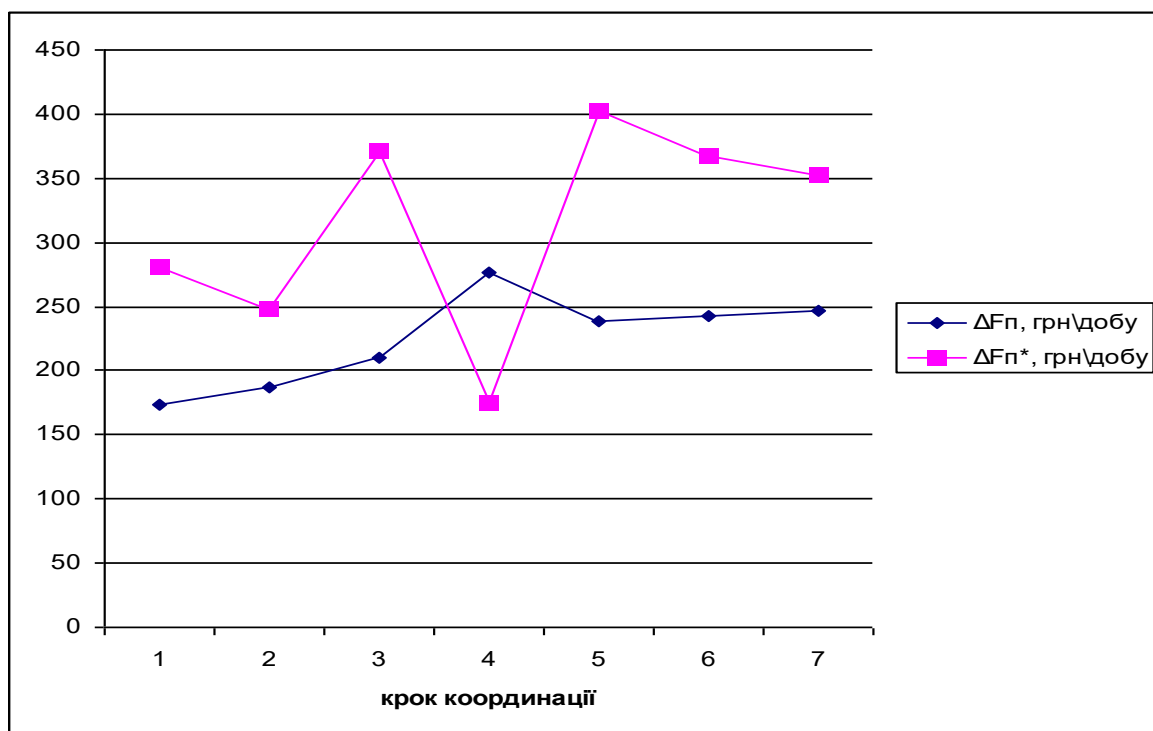


Рис.2.4. Графік зміни $\Delta F_{п}, \Delta F_{п}^*$ відповідно без та з використанням координації роботи підсистем КДУ.

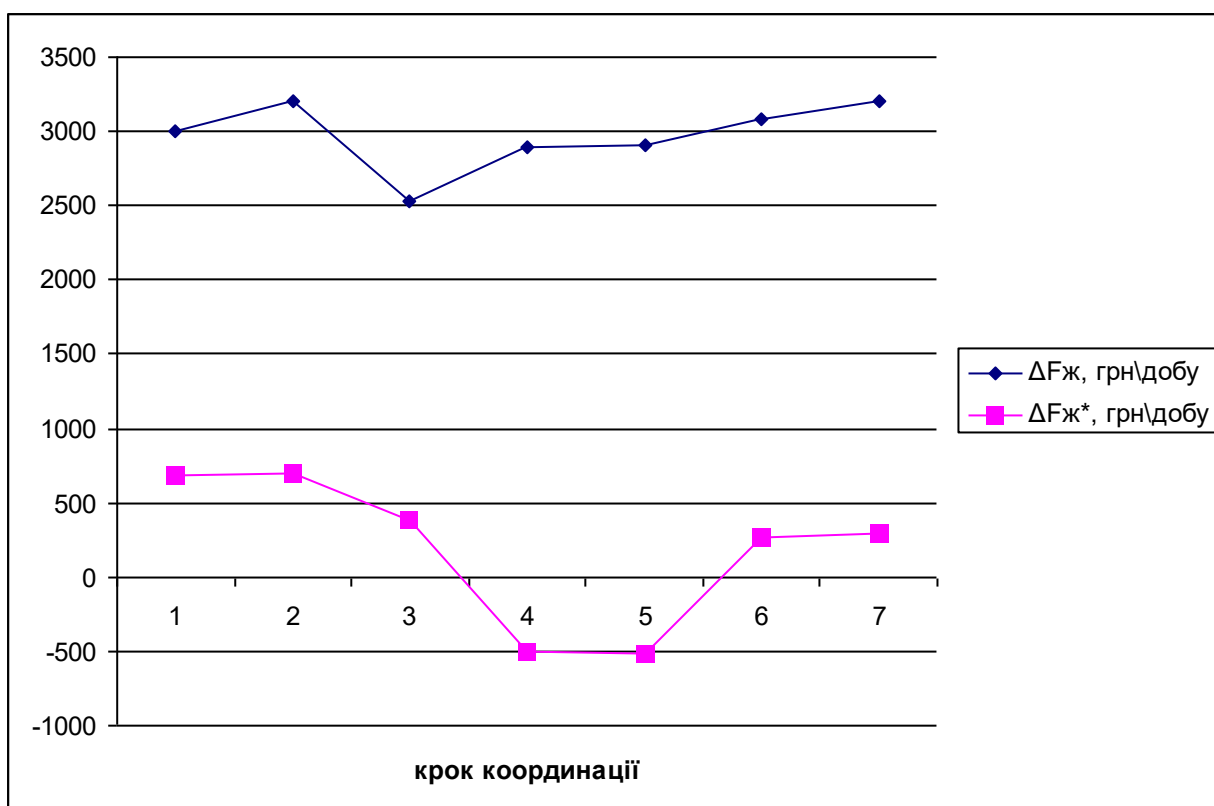


Рис.2.5. Графік зміни $\Delta F_{ж}, \Delta F_{ж}^*$ відповідно без та з використанням координації роботи підсистем КДУ.

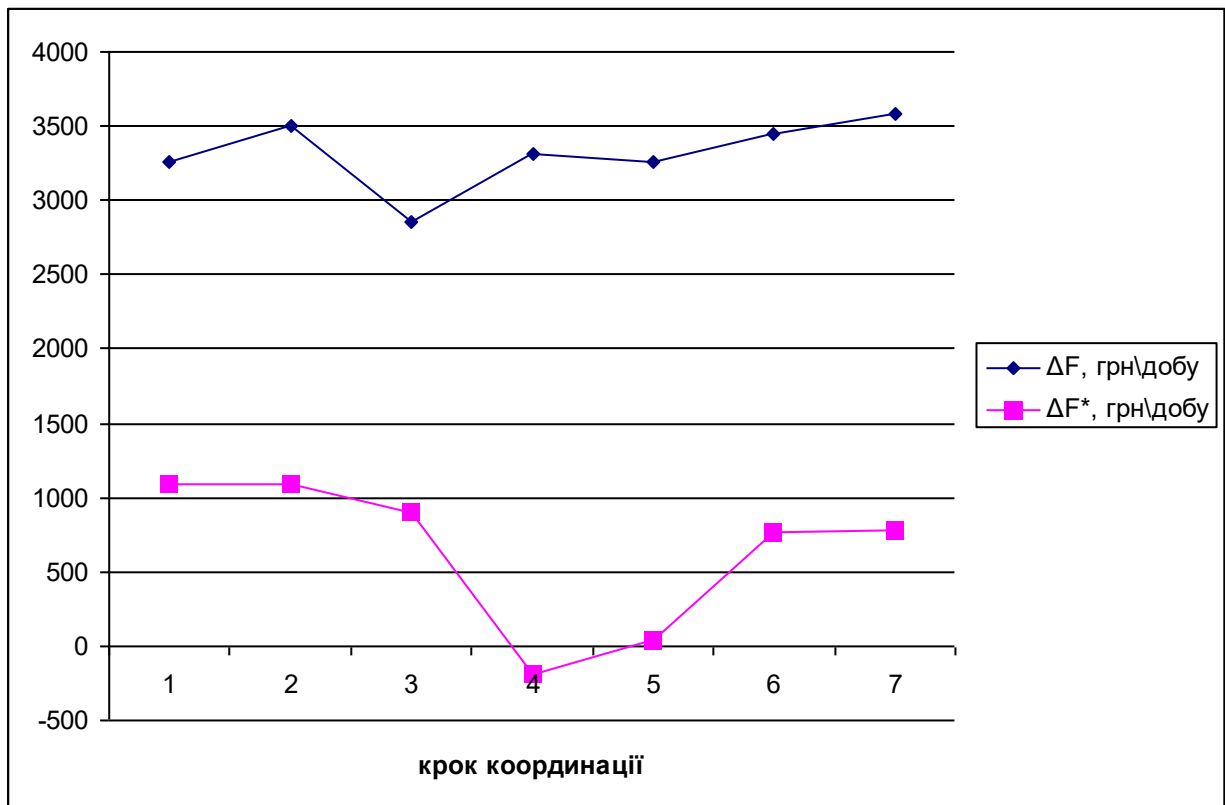


Рис.2.6. Графік зміни ΔF , ΔF^* відповідно без та з використанням координації роботи підсистем КДУ.

Чисельні експерименти свідчать, що розроблені процедури й алгоритми призводять до конкретного розв'язку задач оптимізації підсистем й координації їх роботи за певний час. Оптимізація підсистем (розв'язок задачі вибору оптимального технологічного режиму підсистем) займає певний час у межах однієї хвилини, а час розв'язку задачі координації роботи підсистем (пошук оптимального режиму й видача завдань підсистемам нижніх рівнів) не перевищує 2 хвилини. Координація роботи підсистем дозволяє зменшити загальні зміни витрат виробництва у дифузійному відділенні заводу за відношення до базового варіанту на 12-17%, це є значним техніко-економічним результатом.

2.3. Аналіз перехідних процесів у системі автоматизованого керування

За результатами моделювання, оцінка зміни інтегрального квадратичного функціоналу різниці виходу еталонної моделі й об'єкта I (2.7) за використання адаптивної системи зменшується у десятки, а то й у сотні разів, це свідчить про ефективність використання алгоритмів адаптації налаштувань регуляторів задля підтримання температурного режиму роботи колонної дифузійної установки відповідно до поставленого координаційного завдання.

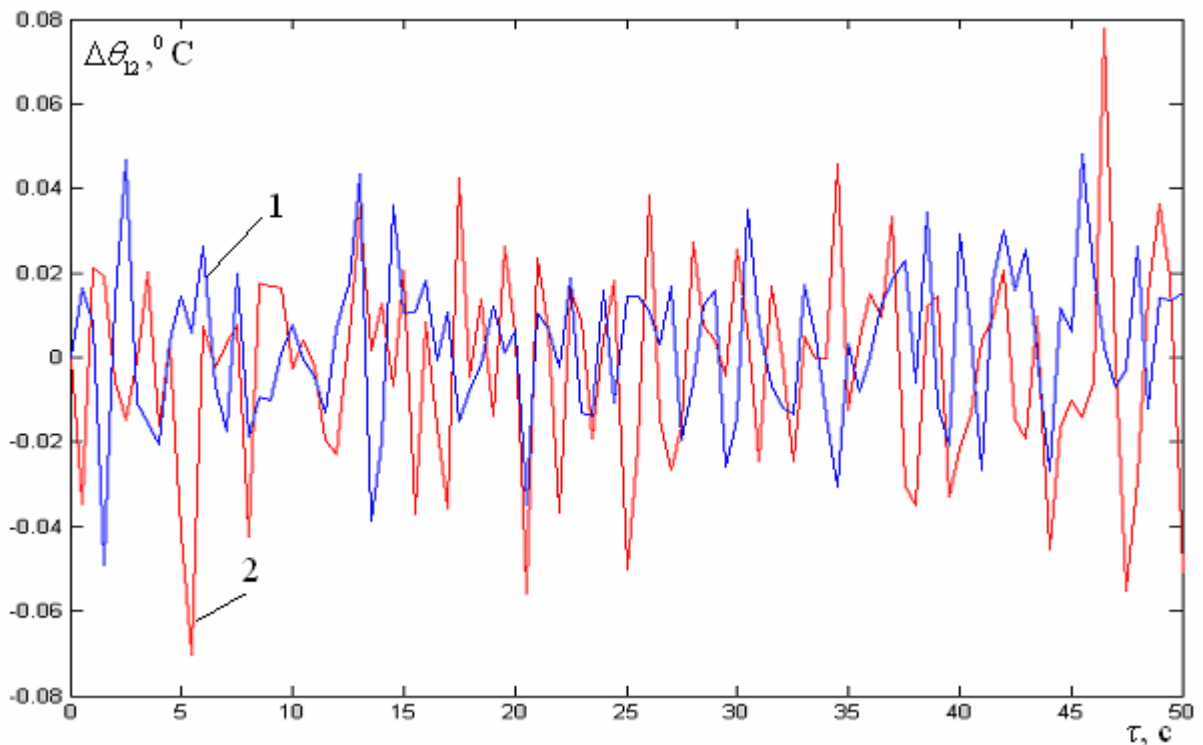


Рис. 2.7. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії випадкового збурення з номінальними характеристиками із адаптацією (значення критерію $I=0.0077$).

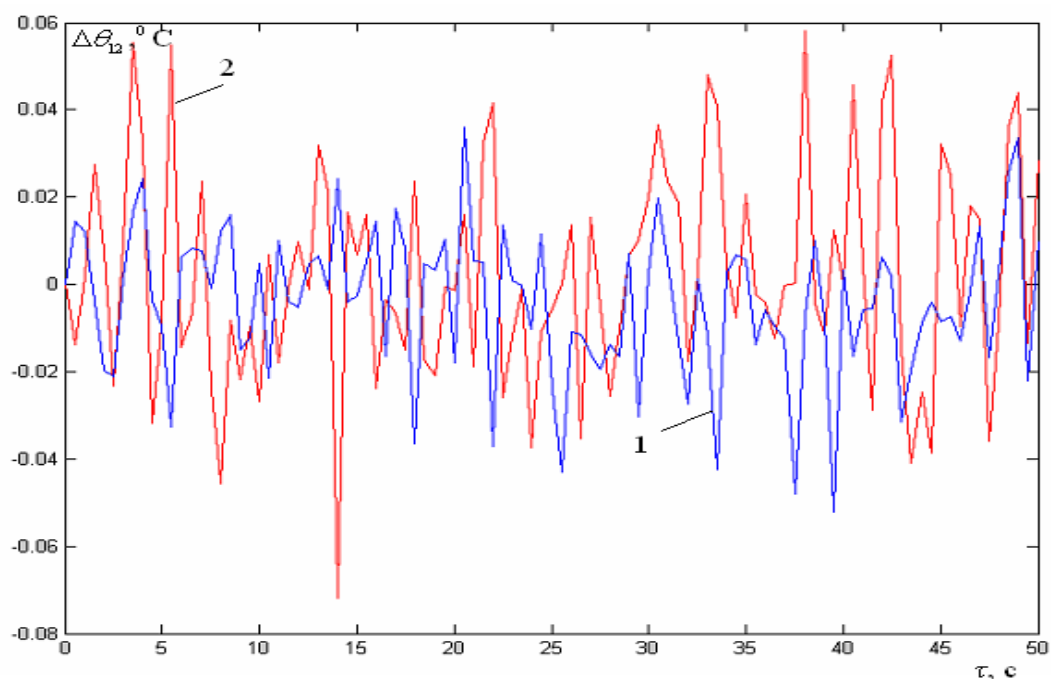


Рис. 2.8. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії випадкового збурення із зміненими характеристиками з адаптацією (значення критерію $I=0.0083$).

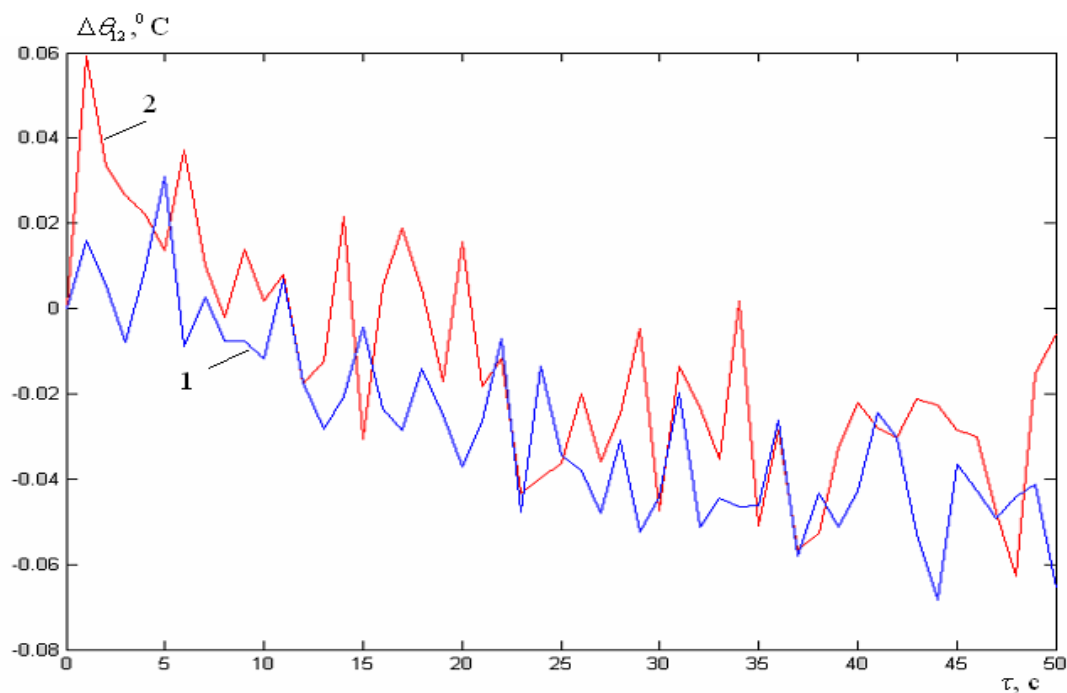


Рис. 2.9. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії збурення випадковий + ступінчатий сигнал з номінальними характеристиками із адаптацією (значення критерію $I=0.0067$).

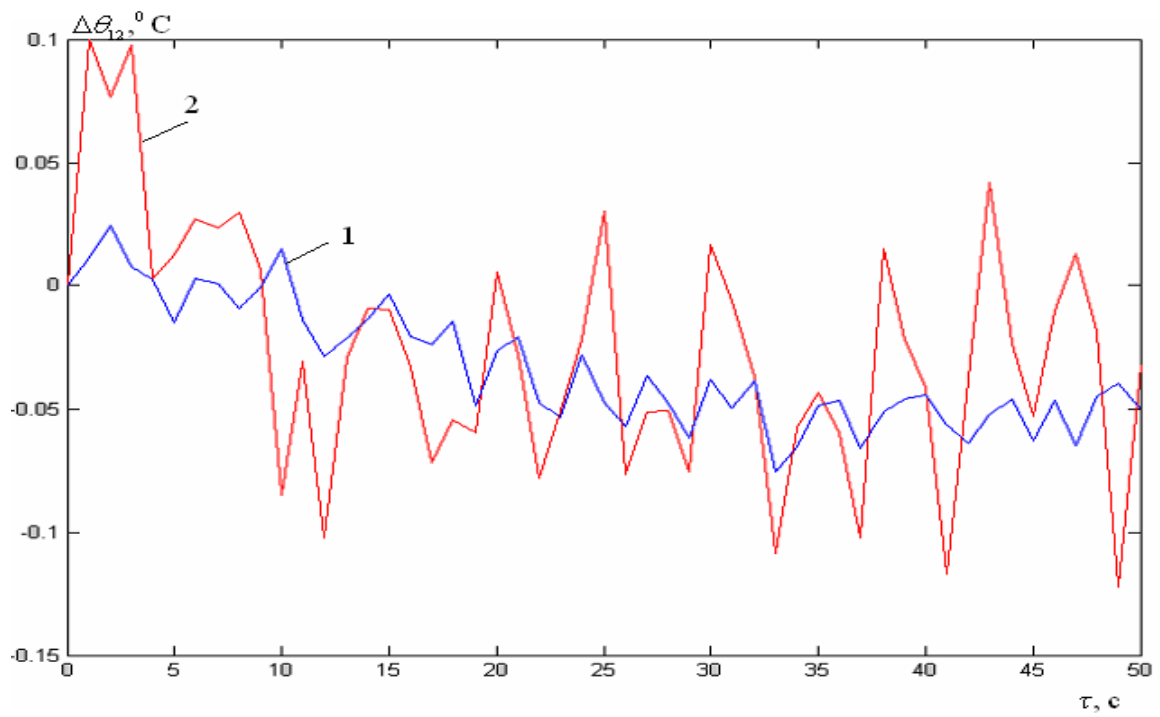


Рис. 2.10. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії збурення випадковий + ступінчатий сигнал із зміненими характеристиками з адаптацією (значення критерію $I=0.019$).

3 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕМПЕРАТУРНИМ РЕЖИМОМ

3.1. Алгоритмічне та програмне забезпечення адаптивної системи керування температурним режимом роботи дифузійної установки

Адаптивні системи здатні автоматично змінювати структуру або параметри регулятора в умовах непередбачуваних змін характеристик об'єкта керування, впливу зовнішніх чинників або зміни цілей керування, що забезпечує збереження необхідної якості функціонування системи. Відповідно, для реалізації адаптації у системі керування температурним режимом колонної дифузійної установки доцільно передбачити включення додаткового керуючого елемента — блока адаптації. Цей блок, аналізуючи зміну сигналів в основному контурі керування, формує необхідні коригуючі впливи на параметри регулятора, забезпечуючи тим самим адаптацію системи до змінних умов роботи. На рис.3.1 наведена структурна схема адаптивної системи керування температурним режимом роботи дифузійної установки, вона складається з об'єкта управління (колонної дифузійної установки) – 1, блоку порівняння – 2, еталонної моделі – 3, блоку вибору й розрахунку критерію керування – 4, автоматичного регулятора – 5, блоку адаптації – 6. Система працює таким чином.

У якості еталонної моделі, використовують математичну модель дифузійної установки, яка складена на основі теплових й матеріальних балансів, значення коефіцієнтів при цьому розраховували для типових режимів функціонування за урахування конструктивних особливостей досліджуваного об'єкта, воно приведена до вигляду у координатах стану :

$$\dot{x} = Ax_e(t) + Bu(t) + Fw(t); \quad x(t_0) = x_0; \quad t_0 = 0, \quad (3.1)$$

де A, B, F – задані матриці чисел розмірності $n \times n, n \times m, n \times 1$ відповідно, $x_e(t)$ – вектор стану об'єкта керування, $u(t)$ – вектор керуючих дій, $w(t)$ – випадкові процеси у каналах управління.

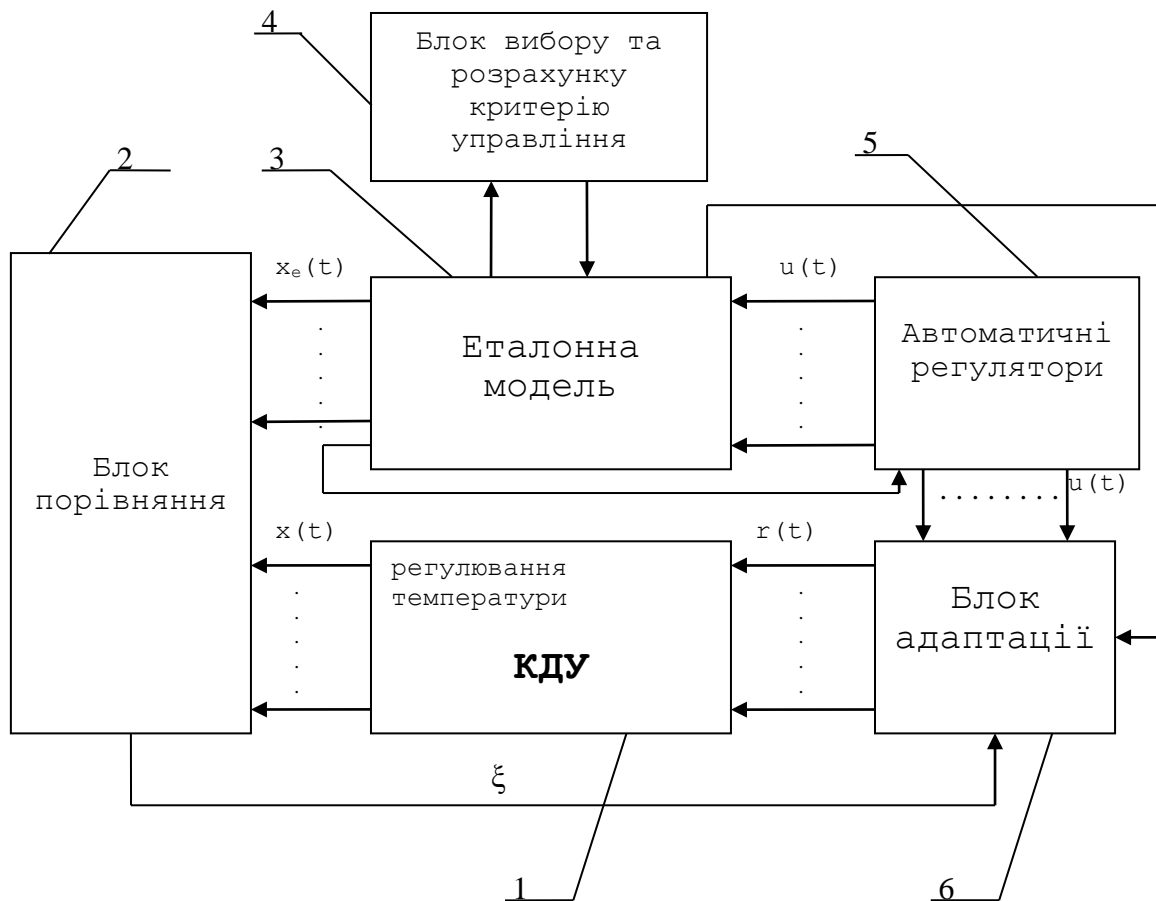


Рис.3.1. Структурна схема адаптивної системи управління температурним режимом роботи колонної дифузійної установки

Рівняння автоматичних регуляторів наведені у [4], їх кількість буде залежати від кількості температур, які регулюються.

За зміною властивостей об'єкта у процесі роботи розраховуються настройки регулятора, вони не забезпечують у подальшому необхідної якості й виникає необхідність пристосування систем до нових умов роботи. Блок порівняння постійно порівнює координати стану об'єкта й еталонної моделі, при виникненні різниці $\varepsilon = x_e - x \neq 0$, сигнал поступає на блок адаптації, його задача полягає у знаходженні такого алгоритму адаптації, щоб задля

будь-якого $\xi \in \Xi$ (набір невідомих параметрів об'єкта керування) у системі досягалась ціль керування. Блок адаптації автоматично змінює налаштування регулятора, для забезпечення заданої якості регулювання.

Оберемо у якості шуканих параметрів налаштування регуляторів T_i, k_p , вони формують керувочу дію $u(t)$ й перейдемо до синтезу алгоритму адаптації, у класі алгоритмів швидкісного градієнта. Далі запишемо інтегральний квадратичний функціонал наступним чином

$$I = \int_{t_0}^y e^T H e dt, \quad (3.2)$$

де $e = e(t) = x(t) - x_e(t)$ - вектор помилки, H – додатньо визначена $n \times n$ матриця, яка обирається за заданою гурвицьовою матрицею A_M за рівняння Ляпунова $HA_M + A_M^T H = -R$, де у якості R обирається будь-яка симетрична додатньо визначена матриця.

При цьому умовою адаптуємості виступає виконання рівняння

$$F(x, u, t, \xi) = F_e(x, t), \quad (3.3)$$

воно відображає співпадіння рівнянь замкненої системи й еталонної моделі за будь-якої зміни параметрів $\xi \in \Xi$. Рішення (3.2) виступає основною умовою застосування методу синтезу адаптивної системи за еталонної моделі. У нашому випадку, задля лінійного об'єкта керування, умова вирішуваності виражається лінійним співвідношенням між коефіцієнтами об'єкта керування й коефіцієнтами еталонної моделі (умови узгодження ЕМ та ОУ [6]).

Задаємо градієнт $\omega(x, u, t)$ за вхідними змінними, які у нашому випадку визначаються

$$\nabla_U \omega(x, u, t) = B^T H e. \quad (3.4)$$

Алгоритм зміни $u(t)$ задаємо диференціальним рівнянням

$$\frac{du}{dt} = -\Gamma \nabla_U \omega(x, u, t), \quad (3.5)$$

де $\Gamma = \Gamma^T > 0$ - симетрична додатньо визначена матриця, для прикладу,
 $\Gamma = \text{diag}\{\gamma_1, \dots, \gamma_m\}, \gamma_i > 0$

Алгоритм (3.5) називають алгоритмом швидкісного градієнта задля інтегрального цільового функціоналу, так як у ньому зміна $u(t)$ відбувається пропорційно градієнту швидкості зміни I .

При цьому алгоритм швидкісного градієнта у кінцевій формі має наступний вигляд:

$$u(t) = u_0 - \Gamma \nabla_{\Gamma} \omega(x(t), u(t), t), \quad (3.6)$$

де u_0 - початкові настройки регулятора,

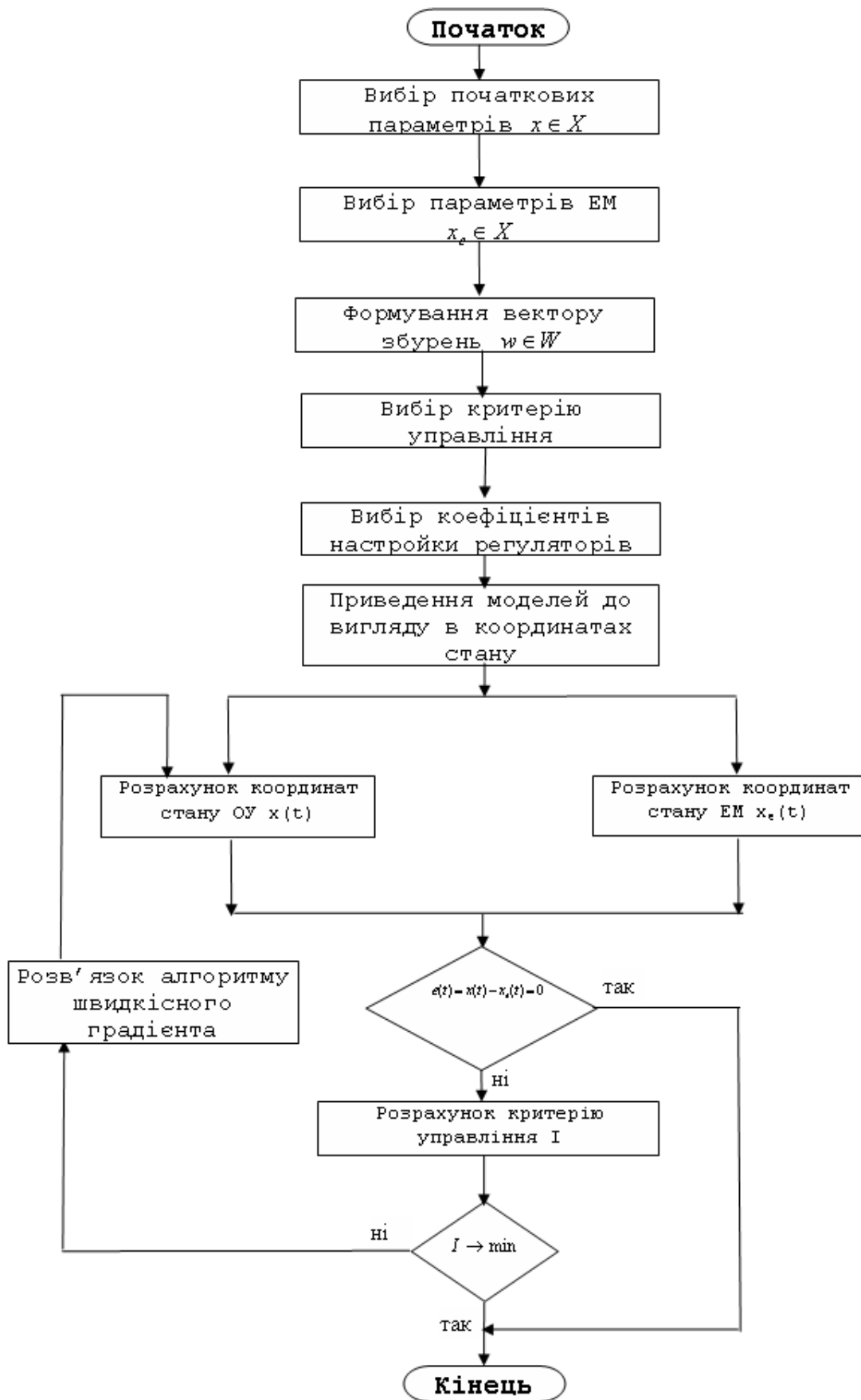
$$\text{або } u(t) = -\Gamma B^T \eta e. \quad (3.7)$$

При цьому умовою застосування синтезованих алгоритмів називають умови тверджень про досягнення у системі цілі керування, обмеження її траєкторій й, можливо, наявність додаткових властивостей.

Далі перерахуємо усі умови застосування алгоритму (3.7) задля вирішення задачі керування об'єктом, яка поставлена у даному розділі роботи:

- умова гладкості : функції $F(x, u, t, \xi)$ та $\nabla_u \omega(x, u, t)$ неперервні за x, u , кусково - неперервні за t й локально обмежені за $t \geq 0$ (обмеженість зовнішніх впливів);
- умовою росту локального цільового функціоналу ϵ : функція $I(x, t)$ невід'ємна, рівномірно неперервна у будь-якій області (x, t) ;
- умовою випуклості ϵ : функція $\omega(x, u, t)$ випукла за $u \in R$, отже для любых u, u', x, t виконується нерівність $\omega(x, u', t) - \omega(x, u, t) \geq (u' - u)^T \nabla_u \omega(x, u, t)$.

На підставі таких досліджень, розроблений алгоритм роботи адаптивної системи процесу функціонування колонної дифузійної установки за еталонної моделі за використання алгоритму швидкісного градієнта задля інтегрального цільового функціоналу (рис.3.1.)



3.2. Моделювання роботи системи керування температурним режимом

Робота наведеної адаптивної системи керування температурним режимом роботи колонної дифузійної установки моделюється задля двох випадків:

- за номінальних характеристиках збурення, або випадковий сигнал має дисперсію, вона розрахована для реальних об'єктів, й ступінчастий сигнал має потужність 20% від номінального;
- за змінених характеристиках збурення йа (або) змінених параметрах математичної моделі (збільшених у два рази).

У якості збурень обрано три варіанти задля досліджень:

- випадковий сигнал, який розподіляється за нормальним гаусівським законом;
- детермінований (ступінчастий) сигнал;
- випадковий нормальний + ступінчастий сигнал.

При цьому за моделювання врахований також час запізнення між зміною витрати пари на підігрівачах й зміною температур за зонами КДУ та основні суттєві нелінійності.

Наведемо порівняльні характеристики перехідних процесів регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача (рис.3.2. – 3.5) за дії різних збурень без та з використанням адаптивної системи. Тут : 1 – перехідний процес регулювання температури задля еталонної моделі; 2 – перехідний процес регулювання температури у об'єкті.

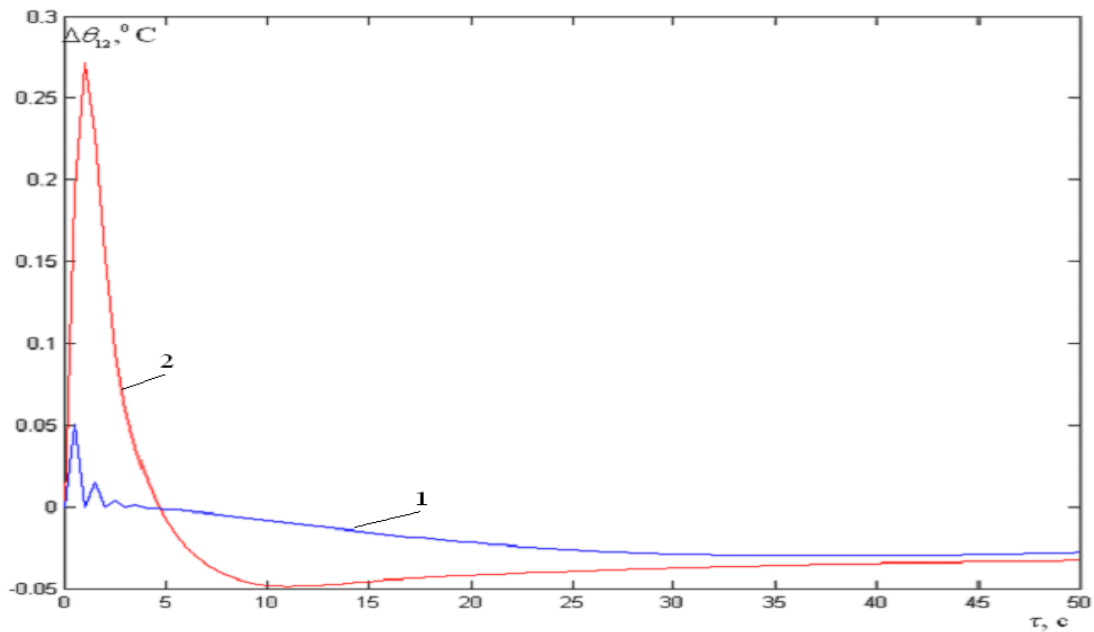


Рис. 3.2. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії стрибкоподібного збурення без адаптації (значення критерію $I=0.091$).

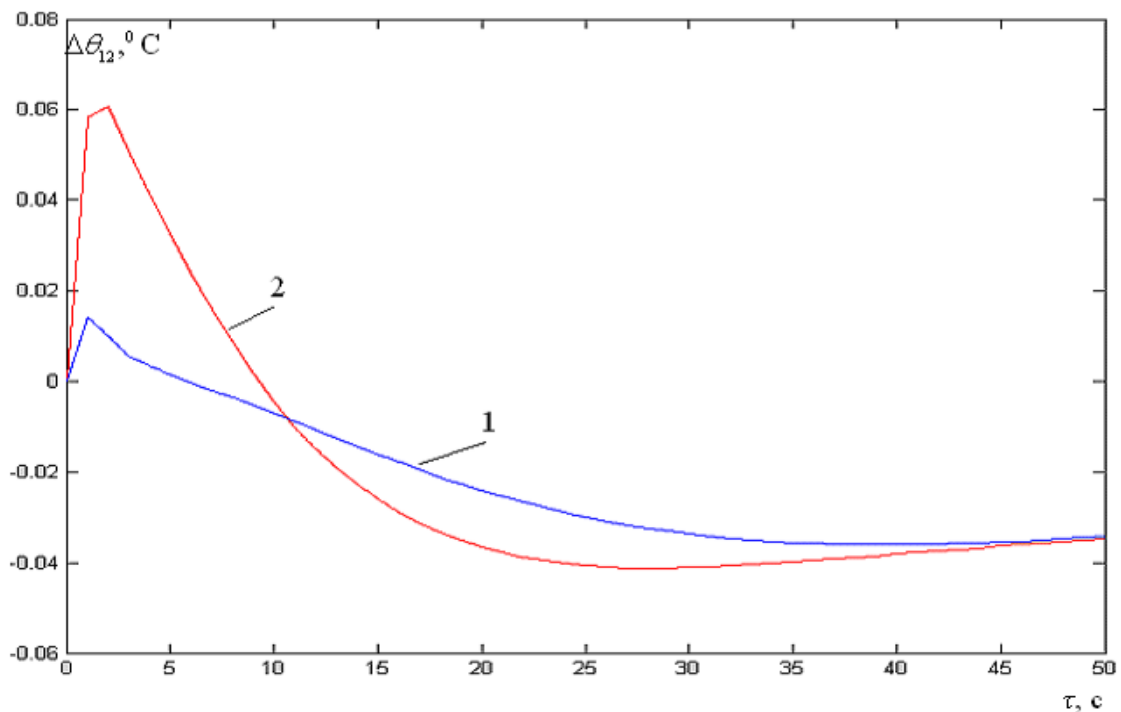


Рис. 3.3. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії стрибкоподібного збурення з адаптацією (значення критерію $I=0.0059$).

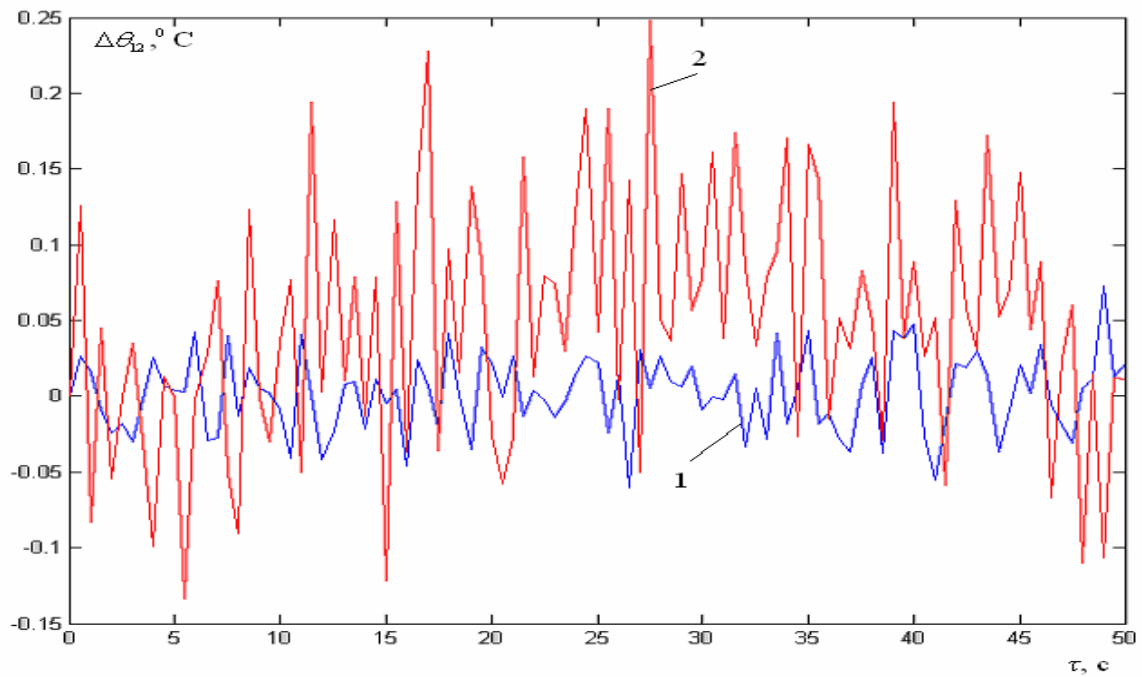


Рис. 3.4. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії випадкового збурення з номінальними характеристиками без адаптації (значення критерію $I=1.27$).

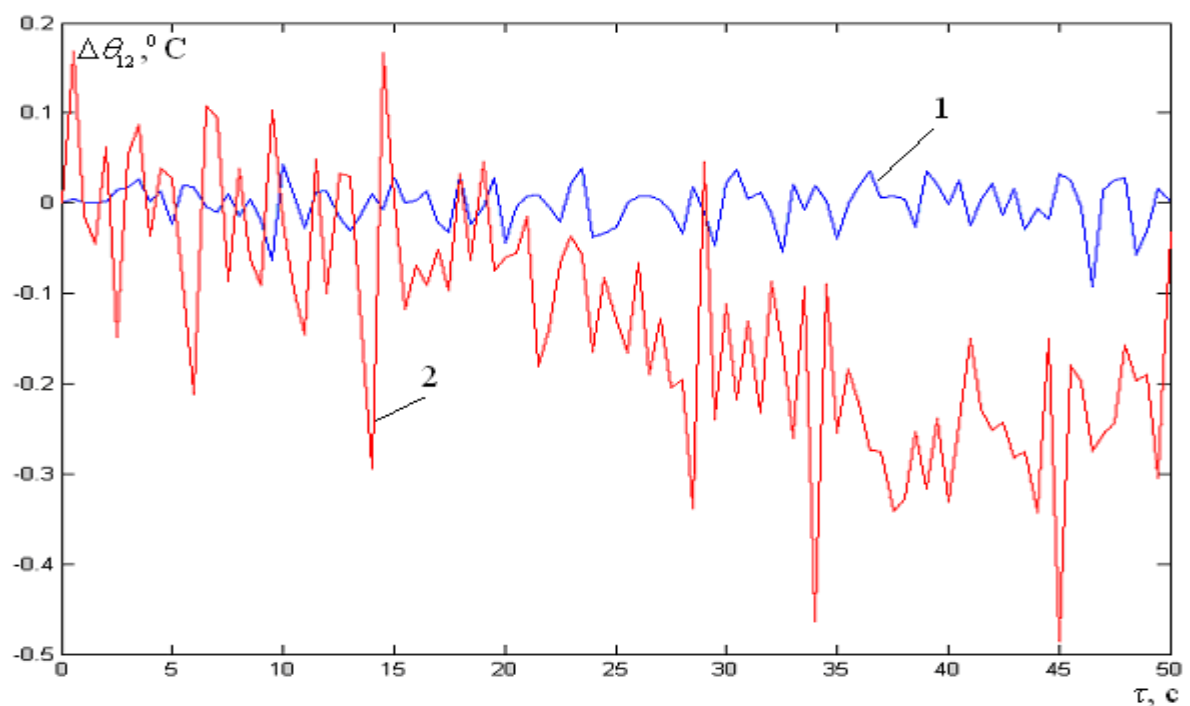


Рис. 3.5. Перехідні процеси регулювання температури сокостружкової суміші на виході з ошпарювача при дії випадкового збурення

4 ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНИЙ КОМПЛЕКС ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ДИФУЗІЙНОЮ УСТАНОВКОЮ

4.1. Побудова системи керування роботою дифузійної установки

Системний аналіз ТК КДУ, аналіз відомих науково-технічних розробок подібних виробництв, ефективне керування процесом екстрагування цукру з буряка можливо здійснити лише за оперативної координації його підсистем, а також підтримці оптимального технологічного режиму на усіх рівнях багаторівневої системи, оцінці якості напівпродукту й розрахунку економічного критерію задля оцінки ефективності роботи дифузійної установки, її наявність дозволить оцінювати, який прибуток або втрати несе цукровий завод за зміною характеру процесу дифузії.

Базовим класом систем керування, що забезпечують зазначені вище функції, є комп'ютерно-інтегровані системи керування (КІСУ) технологічними процесами. Згідно з визначенням [9], такі системи являють собою ієрархічно-розподілені структури, що інтегрують функції керування як організаційно-економічними, так і технологічними процесами. У межах цієї роботи пропонується побудова системи керування роботою колонної дифузійної установки як складової частини комп'ютерно-інтегрованої системи керування, що охоплює також суміжні технологічні підрозділи підприємства — відділення очистки та випарювання, бурякопереробне відділення, а також дифузійне відділення.

Реалізація системи автоматизованого керування ТК КДУ має бути оптимальною за обраним критерієм ефективності задля заданої множини рівнів й функціональних задач, технічних засобів [7].

Головним є режим роботи засобів обчислювальної техніки, тобто : реального часу - задля задач нижчого рівня керування; інтерактивний - задля

задач середнього рівня; запитувальний й пакетної обробки - задля задач верхнього рівня.

Верхній рівень складається з організаційно-економічних станцій (дирекції, планово-економічного відділу, відділу кадрів, відділу матеріально-технічного постачання, бухгалтерії й ін.) у даній роботі детально не розглянуто, вважали, що вузли верхнього рівня відтворюють обмін інформацією з вузлами середнього рівня крізь інтерфейсний зв'язок.

До вузлів середнього рівня відносять диспетчерську координуючу станцію (ДКС) й операторські станції колонної дифузійної установки (ПК КДУ), очищення (ПК ОЧ), тракту подачі буряків (ПК ТПБ) й також випарної установки (ПК ВУ). ДКС здійснює функції оперативного керування частиною технологічного виробництва, воно починається зі тракту подачі буряків й закінчується випарною установкою, одночасно постійно вирішується задача координації процесом дифузії з аналізом завдань за витратою стружки й соку на обраних станціях.

Нижній рівень складено з мікропроцесорних контролерів, вони виконують функції автоматичного контролю й регулювання режимних параметрів, також керування приводами й механізмами, виконуючи також сигналізацію стану технологічного процесу й обладнання.

Для технічної реалізації системи керування технологічним комплексом (ТК) колонної дифузійної установки (КДУ) необхідно було створити таку архітектуру, у якій на нижньому рівні функціонує мікропроцесорний контролер. Його основне завдання — стабілізація параметрів та забезпечення керування режимом роботи КДУ. На середньому рівні передбачено використання двох персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ): перша — ДКСза — відповідає за координацію роботи окремих підсистем КДУ, визначення оптимальних режимів функціонування підсистем, аналіз завдань, пов'язаних зі споживанням стружки та соку; друга — ПК КДУ — виконує функції адаптації налаштувань регуляторів для підтримання оптимального температурного режиму роботи установки, а

також забезпечує диспетчеризацію та організацію автоматизованих робочих місць операторів тощо. Вимоги до програмного забезпечення комп'ютерно-інтегрованої системи:

- висока надійність;
- швидка реакція на будь-які зовнішні події або зміни параметрів об'єкта;
- багатозадачність;
- високе інформативне представлення інформації.

За урахування проведеного аналізу й на основі алгоритмів керування, запропонованих в третьому розділі бакалаврської роботи, розроблена система керування ТК КДУ. КІСУ ТК КДУ забезпечує при цьому автоматизоване керування роботою колонної дифузійної установки за використання принципів координації й адаптації.

Запропонована комп'ютерно-інтегрована система керування може бути реалізована на основі програмно-технічного комплексу, що складається з мікропроцесорного контролера, який відповідає необхідним обчислювальним та функціональним вимогам системи, а також персональних електронно-обчислювальних машин (ПЕОМ). Взаємодія між цими компонентами забезпечується за допомогою перетворювачів інтерфейсів типу RS232/RS485 із застосуванням відповідного протоколу передачі даних, який обирається залежно від типу використовуваного контролера. Подібна система керування має виконувати три групи функцій: керуючі, інформаційно-обчислювальні й допоміжні.

Операції інформаційних функцій запропонованої системи ТК КДУ мають бути наступними:

- контроль режимних параметрів процесу дифузії - неперервний чи за викликом (для прикладу: температура сокостружкової суміші за зонами апарату та у ошпарювачі, температура соку, який прямує на виробництво, витрата стружки йа соку на виробництві, рівень сокостружкової суміші у колоні);

- первинна обробка, збір й зберігання технічної й технологічної інформації, яка поступила від датчиків з лабораторій;

- сигналізація й виявлення відхилень технологічних параметрів від потрібних значень;

- реєстрація результатів розрахунків параметрів технологічних процесів має бути періодичною;

- має здійснюватись обмін інформацією з вищими й суміжними рівнями керування у межах комп'ютерно-інтегрованої системи керування виробництвом цукру.

Здійснення системою указаних функцій дозволить підсистемі координації своєчасно надавати й аналізувати координаційні завдання підсистемам нижчих рівнів за відхилення від нормального ходу технологічного процесу, а також підтримувати оптимальний технологічний режим роботи, й тим самим не допускаються можливі виробничі втрати.

Керуючі функції системи координації полягають у визначенні оптимальних технологічних режимів за обраними критеріями й реалізації керуючих дій автоматичним шляхом, тобто без втручання оператора чи у вигляді рекомендацій оператору, він при цьому повинен проаналізувати, прийняти чи відхилити їх.

Допоміжні функції при цьому наступні:

- контроль функціонування системи у цілому;

- аналіз техніко-економічних показників процесу дифузії цукру зі бурякової стружки.

На рис. 4.1 наведена структурна схема комп'ютерно-інтегрованої системи керування ТК КДУ. Вхідними даними для колонної дифузійної установки виступає вектор управляючих дій \bar{u} , а у якості вихідних

$$\bar{y} = \begin{bmatrix} \bar{x} \\ \bar{w} \end{bmatrix}, \quad (4.1)$$

де \bar{x} – вектор стану об'єкта керування,

\bar{w} – вектор вимірюваних обурень.

Програмне забезпечення задля координації роботи підсистем за обраним алгоритмом написано на мові Delphi. При цьому начальник зміни або головний технолог мають можливість спостерігати за головними параметрами процесу дифузії, їх впливом на економічні критерії за допомогою дисплейних мнемосхем SCADA- програми чи звертаючись безпосередньо до програми (рис.4.2).

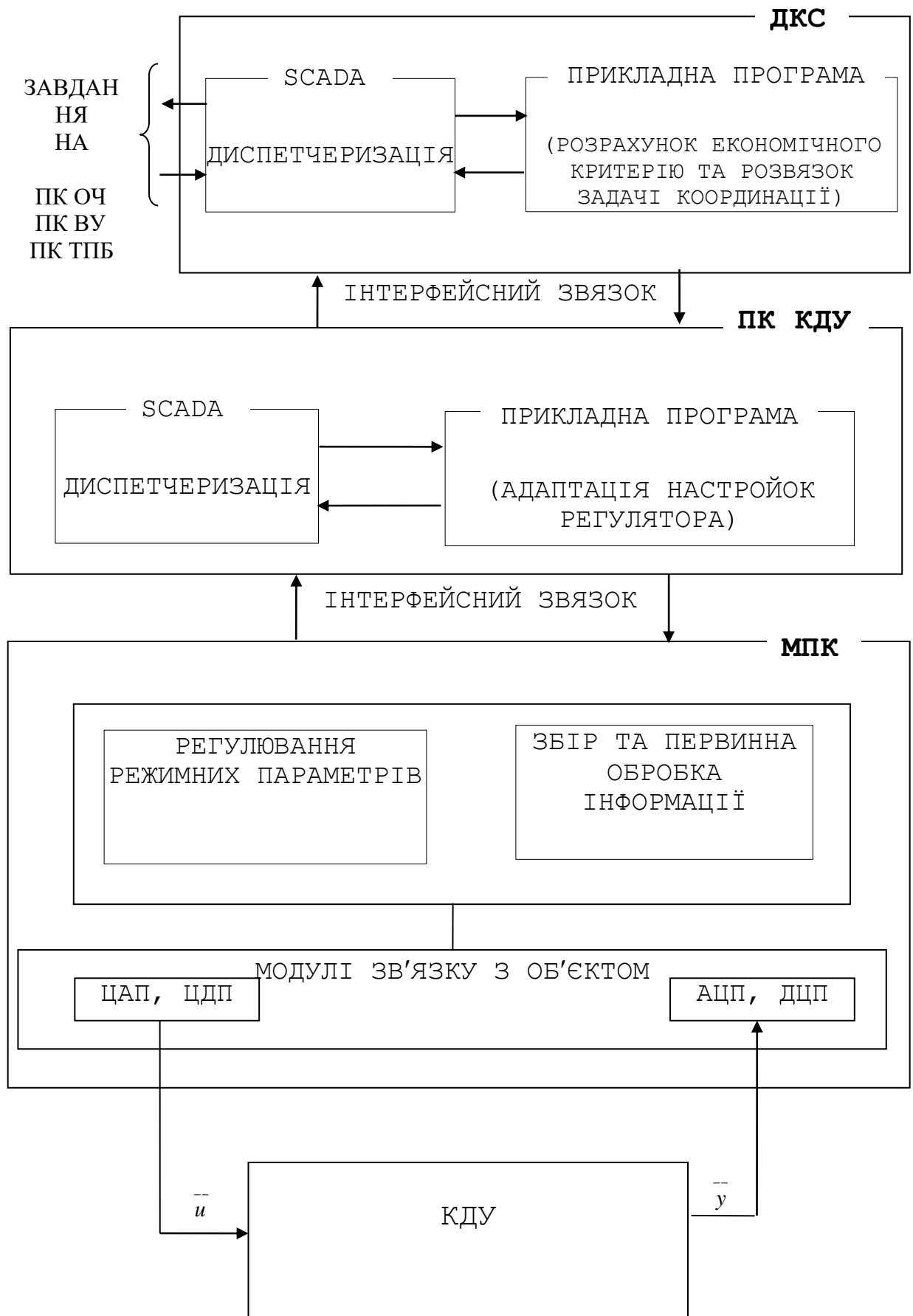


Рис. 4.1 Технічна структура системи управління КДУ

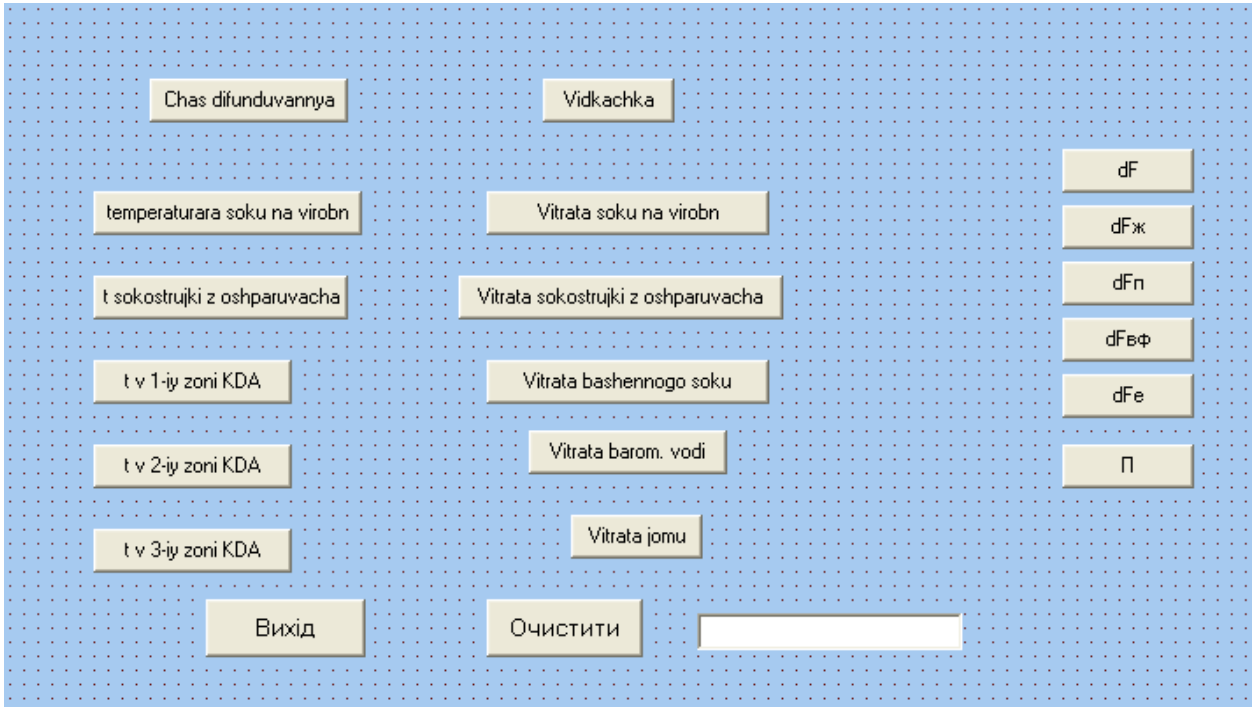


Рис. 4.2. Вікно оператора.

Координаційні завдання задля оптимального режиму процесу дифузії, які передаються до ПК КДУ, можна побачити або змінити (на вимогу головного технолога) використовуючи SCADA- програми ДКС. Завдання задля температурного режиму роботи дифузії водночас являються вихідними даними задля зміни коефіцієнтів еталонної моделі об'єкта, вони розраховуються у прикладній програмі ПК КДУ.

За потреби аналізу координаційних завдань й функції належності, які при цьому передаються між підсистемами різних рівнів, або зміни вагових коефіцієнтів α_i , оператор має можливість звернутися до вікна програми координації (рис.4.3).

Рис. 4.3. Вікно програми для координації підсистем.

Комп'ютерно-інтегрована система керування (КІСУ) процесом екстрагування цукру повинна забезпечувати виконання таких функцій:

- автоматичне регулювання та підтримання температури на виході з ошпарювача шляхом зміни подачі пари до підігрівача соку 1, що працює у рециркуляційному контурі системи;
- автоматичне регулювання та підтримання температури у першій і третій зонах колонного дифузійного апарата шляхом зміни подачі пари до підігрівача соку 2 (що працює у рециркуляційному контурі системи), а також до підігрівача 3 барометричної води;
- автоматичне регулювання та підтримання витрати бурякової стружки на вході до ошпарювача за допомогою керування положенням клапана подачі стружки;
- автоматичне регулювання та підтримання витрати соку, що подається на виробництво, шляхом керування клапаном подачі соку;

- автоматичне регулювання, підтримання та сигналізацію верхнього рівня у колонному апараті шляхом керування насосом подачі сокостружкової суміші до апарата. - програмне керування процесом екстрагування шляхом аналізу визначених значень регульованих параметрів за використання процедури координації підсистем задля запобігання виникнення конфліктних ситуацій за використання алгоритму рис.4.1;

- програмне керування температурним режимом КДУ за рахунок аналізу параметрів налаштувань регуляторів у разі непередбачуваної зміни властивостей об'єкта або зовнішніх впливів за використання алгоритму рис.4.3.

ВИСНОВКИ

У даній бакалаврській роботі було проведено аналіз та дослідження колонної дифузійної системи цукрової промисловості, що дозволило сформулювати такі основні висновки:

1. Розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення для системи координації процесу функціонування колонної дифузійної установки, а також отримано результати розв'язання задачі координації роботи підсистем.

2. Сформовано вигляд еталонної моделі об'єкта, якою виступає математична модель дифузійної установки (наведена у другому розділі роботи). Значення її параметрів розраховано для типових режимів функціонування з урахуванням конструктивних особливостей досліджуваного об'єкта; модель приведено до вигляду у координатах стану.

3. Розроблено алгоритм функціонування адаптивної системи керування процесом роботи колонної дифузійної установки на основі еталонної моделі з використанням алгоритму швидкісного градієнта для мінімізації інтегрального цільового функціоналу.

4. Створено технічну структуру системи керування КДУ, яка забезпечує автоматизоване управління роботою об'єкта з використанням принципів координації та адаптації.

Отримані результати свідчать про перспективність застосування принципів координації та адаптації у побудові сучасних автоматизованих систем керування процесом екстрагування цукру в колонних дифузійних установках. Запропоновані підходи дозволяють підвищити ефективність технологічного процесу, забезпечити його стабільність за умов змінних технологічних і сировинних факторів, а також створюють основу для подальшої інтеграції систем керування у загальну комп'ютерно-інтегровану інфраструктуру підприємства.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ладанюк А. П., Заєць Н. А., Власенко Л. О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація...). Монографія, НУХТ, 2016
2. Pushanko M. M., Verkhola L. A. Екстракція цукру з буряків: можливості наявного обладнання. Цукор України, 2011
3. Кишенько В. Д., Ладанюк А. П., Сіваченко А. А. Система автоматичного інтелектуального керування похилою дифузійною установкою (Патент № 97572 UA), 2015
4. Романюк О. Н., Савчук Т. О. Організація баз даних і знань: Навч. посібник / Мін-во освіти і науки України. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 217 с.
5. Томашевский В. М. Моделирование систем / В. М. Томашевский. — К.: Видавнича група BHV, 2005. — 352 с.
6. Landau I. D. et al. Adaptive Control: Algorithms, Analysis and Applications. arXivbook, 2024
7. Li C., Wang C. Application of Artificial Neural Network in the Control and Optimization of Distillation Tower. arXiv, 2021
8. Korobiichuk I. et al. Adaptive control of dynamic load in blooming mill (аналогічні підходи для координації/адаптації), Adv. Intell. Syst. Comput., 2017.