

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ЛЯШЕНКО СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

УДК 681.51: 664.1

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСІВ КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМИ
ВІДДІЛЕННЯМИ ЦУКРОВОГО ВИРОБНИЦТВА НА ОСНОВІ
НЕЙРОМЕРЕЖЕВОВОГО ПІДХОДУ**

05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Харків -2015

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільсько-го господарства ім. П. Василенка Міністерства освіти і науки України

Науковий консультант - доктор технічних наук, професор,
Руденко Олег Григорійович,
Харківський національний університет радіоелектроніки,
завідувач кафедри електронних обчислювальних машин,
м. Харків.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,
Купін Андрій Іванович,
ДВНЗ «Криворізький національний університет»,
завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж,
м. Кривий Ріг;

доктор технічних наук, професор,
Поркуян Ольга Вікторівна,
ДВНЗ Східноукраїнський національний
університет ім. Володимира Даля,
ректор, м. Сєверодонецьк;

доктор технічних наук, професор,
Алексєєв Михайло Олександрович,
ДВНЗ «Національний гірничий університет»,
декан факультету інформаційних технологій,
м. Дніпропетровськ.

Захист відбудеться “29” грудня 2015 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.08 Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, пр. Леніна, 14.

Автореферат розісланий “28” листопада 2015 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.П. Плісс

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Цукрове виробництво належить до найбільш складних та енергетично витратних галузей харчової промисловості. Умови конкуренції при сучасному рівні виробництва на перше місце виводять такі показники, як якість, енергоспоживання, собівартість та змушують більше приділяти увагу останнім новітнім досягненням у сфері використання ефективних технологій, знань теплотехніки та організації цукрового виробництва.

Автоматизація цукрової промисловості забезпечує якісну та ефективну роботу всіх технологічних дільниць цукрового заводу тільки при застосуванні комплексного підходу до вирішення цієї задачі. Як правило, автоматизація різних об'єктів на більшості цукрових підприємств здійснювалась не одночасно, а на протязі значних проміжків часу. Локальні автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП) у межах технологічних відділень заводу мали розвиток незалежно одна від іншої. Відповідно, на сучасному етапі функціонування виробництва цукрові заводи характеризуються наявністю роз'єднаних, різнорідних автоматизованих та інформаційних систем, оснащених технічною базою від різних виробників, що не співпрацюють між собою.

Відомо, що на сьогодні більшість існуючих промислових систем автоматизованого керування реалізовано на основі пропорційних (П), інтегральних (І) та диференціальних (Д) регуляторів, або їх комбінацій, зокрема ПІ- та ПІД-регуляторів. Чинниками, що зумовили широке розповсюдження ПІД-регуляторів, стали простота їх структури та висока надійність. Однак, незважаючи на відмічені переваги, ПІД-регуляторам властивий і ряд недоліків, що пов'язані з недостатньо гнучкими можливостями переулаштування структури керування у разі потреби. Це стало причиною розвитку адаптивного підходу до керування ТП, основна ідея якого полягає у зміні параметрів регулятора в залежності від критерію оптимальності замкнутої системи. Основні недоліки адаптивних систем, які розроблено відповідно до традиційних принципів, полягають у тому, що більшість алгоритмів адаптації отримано за умов відсутності неконтрольованих збурюючих впливів та при спроможності визначення всіх параметрів об'єкта в процесі ідентифікації. Крім того, практично всі алгоритми адаптації працездатні лише, якщо виконується гіпотеза квазістаціонарності об'єкта керування. Слід також зауважити, що існуючі алгоритми адаптації досить складні в реалізації, а процес адаптації часто займає неприйнятно тривалий час.

Враховуючи багатовимірність досліджуваних ТП цукрового виробництва, їх різнотипність, нестационарність характеристик та неповноту технологічної інформації на всіх рівнях керування для підтримки прийняття рішень операторами, диспетчерами, технологами й іншими працівниками, а також підвищення якості прийнятих ними рішень, необхідне застосування інтелектуального підходу. На відміну від традиційних, інтелектуальні системи керування за рахунок використання окремих математичних моделей розумової діяльності людини, при дотриманні деяких умов, дозволяють ефективно вирішувати такі завдання. Нейромережеві системи керування – це системи керування, в яких використо-

вується архітектура штучних нейронних мереж (ШНМ) та їх здатність до навчання. ШНМ є перспективною альтернативою класичним методам ідентифікації та керування нелінійними об'єктами.

На даний час відома досить велика кількість розробок та практичних реалізацій інтелектуальних систем керування ТП як за кордоном, так і в Україні. При цьому слід зазначити, що саме у цукровій промисловості спроб використання технологій штучного інтелекту ще досить мало. Наприклад, у цьому напрямку відомі лише роботи таких авторів, як Еременко Б. А. і Жбанова Н. Ю. в Росії, Ладанюк А. П., Пархоменко І. І., Прокопенко Т. О., Кишенько В. Д. в Україні та інші.

Враховуючи всі зазначені фактори, можна стверджувати, що проблема використання технологій штучного інтелекту для оптимізації цукрового виробництва є порівняно новою та досить актуальною. Зокрема, це стосується можливості застосування ШНМ для адаптивного керування ТП основних відділень (дифузійного, сокоочисного, випарного, кристалізаційного) виробництва цукру.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи та отримані результати відповідають проблематиці держбюджетних та госпдоговірних тем, виконаних у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка.

Дисертаційна робота виконана в рамках науково-дослідних робіт: «Розроблення гнучких технологічних процесів діагностування та відновлення деталей сільськогосподарської техніки на ремонтних підприємствах АПК» (розділи «Моделювання і прогнозування технічного стану сільськогосподарської техніки на основі використання штучних нейронних мереж», «Аналіз нейромережевих систем при обробці інформації про технічний стан сільськогосподарської техніки» та «Моделювання роботи вузлів сільськогосподарської техніки в системі «Людина – машина»») (№ ДР 0105U007212, 2005-2006 рр.); «Розробка нових енергозберігаючих екологічно-безпечних технологій і функціонально-стабільних машино-технологічних систем та організаційно-нормативних заходів, які підвищують ефективність механізованого виробництва сільськогосподарської продукції, поліпшують охорону праці та забезпечують збереження біоресурсів, покращення природокористування» (№ ДР 0109U006633, 2009-2014 рр.); «Визначення експлуатаційних властивостей функціональної стабільності мобільних сільськогосподарських агрегатів за критеріями їх керованості» (№ ДР 0112U004602, 2012-2014 рр.); «Дослідження, наукове обґрунтування і впровадження конкурентоспроможних, ресурсозберігаючих технологій, способів реновації, нових матеріалів і технічних засобів для інноваційного розвитку» (№ ДР 0109U000362, 2009–2015 рр.), де автор був виконавцем, а також «Дослідження та розробка методів обробки даних в автоматичних системах управління технологічними процесами аграрного промислового комплексу на основі нових інформаційних технологій» (№ ДР 0106U013137, 2006-2008 рр.) та «Розробка математичного, програмного та технічного забезпечення АСУ ТП при виробництві цукрової продукції» (№ ДР 0108U001352, 2008-2009 рр.) де автор був керівником науково-дослідних робіт.

Мета і завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми створення теоретичних основ автоматизації процесів керування технологічними лініями цукрового виробництва, що функціонують в умовах суттєвої поточної невизначеності, на основі нейромережевого підходу, з метою підвищення якості та рівня автоматизації виробництва.

Для досягнення поставленої мети у роботі вирішувалися такі завдання:

- аналіз сучасного стану проблеми автоматизованого керування технологічними процесами цукрового виробництва;
- розробка методів синтезу моделей технологічних процесів цукрового виробництва на основі адаптивного підходу;
- синтез методів адаптивної ідентифікації та побудови моделей, призначених для роботи у контурах автоматизованої системи керування технологічними процесами цукрового виробництва, з метою регулювання керуючих параметрів ТП і підтримки необхідної якості вихідних параметрів процесів;
- розробка методів та алгоритмів інтелектуального керування стосовно процесів цукрового виробництва з урахуванням різних типів збурень, що діють на об'єкти керування;
- розробка методів прогнозування ходу технологічних процесів цукрового виробництва із застосуванням нейромережевого підходу, призначених для отримання ефективних управляючих сигналів, що дозволяють підвищити якість кінцевого продукту;
- удосконалення організації інформаційного та програмного забезпечення автоматизованої системи мікроконтролерного керування технологічними процесами цукрового виробництва на основі запропонованих методів та моделей;
- експериментальне дослідження властивостей та характеристик розроблених методів, а також розробка рекомендацій щодо їх застосування при вирішенні практичних завдань автоматизації ТП цукрового виробництва;
- розробка принципів побудови та структури комп'ютерного тренажера для підготовки операторів ТП цукрового виробництва.

Об'єкт дослідження - процеси автоматизованого адаптивного керування технологічними процесами цукрового виробництва.

Предмет дослідження - моделі та методи керування технологічними відділеннями цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу.

Методи дослідження: методи теорії експерименту, що дозволили провести статистичний аналіз та отримати статистичні характеристики процесів, що досліджувались; методи теорії систем керування, що дозволили синтезувати структури адаптивних систем автоматизованого керування технологічними процесами цукрового виробництва; методи теорії ідентифікації, на основі яких були синтезовані моделі, що були налаштовані до розглянутих об'єктів керування; методи побудови штучних нейронних мереж, що дозволили запропонувати процедури інтелектуальної ідентифікації та керування технологічними процесами цукрового виробництва; методи імітаційного моделювання, що дозволили підтвердити ефективність отриманих результатів та розробити рекомендації щодо їх практичного використання.

Наукова новизна результатів дисертаційної роботи полягає у вирішенні проблеми підвищення рівня автоматизації процесів керування ТП цукрового виробництва, що функціонують в умовах суттєвої поточної невизначеності, на основі застосування адаптивного та інтелектуального підходів шляхом створення нових та удосконалення існуючих методів побудови математичних моделей і регуляторів.

При вирішенні цього завдання отримані такі наукові результати:

- вперше запропоновано метод синтезу моделей ТП цукрового виробництва на основі адаптивного підходу з урахуванням нестационарності розглянутих процесів, який автоматично налаштовує параметри моделей, що дозволяє спростити їх структуру, підвищити рівень узагальнення та збільшити швидкість роботи системи керування;

- вперше запропоновано метод побудови нейромоделей ТП, що описано нелінійними різницеви́ми або диференціальними рівняннями, який на основі статичних ШНМ прямого поширення автоматично, за вибіркою даних, будує модель, яка адекватно відображатиме властивості об'єкта, що дозволяє підвищити ефективність процесу керування та рівень достовірності прогнозування ходу ТП;

- вперше запропоновано метод синтезу нейромережевого та нейромережевого предикторного ПІД-регуляторів, у яких на основі розробленого алгоритму керування в автоматичному режимі визначаються параметри цих регуляторів, що дозволяє спростити їх реалізацію та підвищити ефективність керування;

- вперше запропонована нейромережева модель прогнозування ходу ТП на основі динамічного перцептрону, яка дозволяє більш адекватно відображати динамічні властивості ТП, що досліджувались, а також сприяє підвищенню точності прогнозування;

- удосконалено рекурентний метод побудови нестационарної регресійної моделі, призначений для роботи у контурі ідентифікації адаптивної системи керування в умовах, коли параметри об'єкта змінюються у часі, а корисні сигнали вимірюються із завадами;

- удосконалено організацію інформаційного та програмного забезпечення комп'ютерного тренажера за рахунок використання запропонованих методів щодо побудови блоків керування, оптимізації та синтезу моделей ТП, що дозволяє моделювати різні технологічні режими і забезпечує підвищення ефективності підготовки операторів ТП цукрового виробництва;

- отримав подальший розвиток метод керування динамічними об'єктами за допомогою їх статичних моделей, що дозволяє спростити процес побудови узагальненої моделі та її використання для оптимізації режимів роботи відділень цукрового виробництва;

- отримали подальший розвиток нейромережеві методи побудови традиційних нелінійних моделей Вінера та Гаммерштейна, які удосконалено шляхом застосування ШНМ прямого поширення із використанням простих процедур навчання, що дозволяє підвищити рівень автоматизації і швидкість процесу побудови моделей, а також поліпшити їх інтерпретованість;

– отримали подальший розвиток адаптивні моделі нестационарних ТП цукрового виробництва, які модифіковано шляхом використання для їх побудови рекурентних алгоритмів з підвищеною швидкістю збіжності, що дозволяє скоротити час побудови математичних моделей керованих процесів.

Практичне значення отриманих результатів. Запропоновані в роботі методи та моделі синтезу дають можливість вирішувати задачі контролю і автоматизованого керування динамічними нестационарними процесами, які характерні для ТП цукрового виробництва, в умовах відсутності повної інформації про статистичні властивості зовнішніх збурень. В практичних додатках дисертаційної роботи наведені результати моделювання та експериментального дослідження режимів роботи системи адаптивного керування. Експериментальні дослідження, проведені у ТОВ «Кириківський цукровий завод», підтверджують основні положення, що виносяться на захист.

Синтезовані в дисертації структури, моделі та алгоритми можуть бути використані при розробці систем керування об'єктами з безперервними технологічними процесами, а також при створенні тренажерних систем для професійної підготовки операторів, які здійснюють керування різними об'єктами.

Матеріали даної роботи впроваджені у навчальний процес та втілені в основу навчальних курсів «Автоматизація виробничих процесів», «Нейросистеми та мережі», «Безпека виробничих процесів» у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка (акт впровадження від 14.01.2014 р.).

Результати дисертаційної роботи були використані при розробці АСУ ТП дифузії, дефекосатурації, випарювання та кристалізації у ТОВ «Кириківський цукровий завод» (акти впровадження від 24.12.2009 р. та від 28.12.2009 р.), ТОВ «Сільськогосподарське підприємство «Білий колодязь»» (акт впровадження від 16.01.2014 р.), ТДВ «Новоіванівський цукровий завод» (акт впровадження від 25.03.2015 р.). Крім того, було втілено методику проведення інтелектуальної ідентифікації параметрів технологічних процесів цукрового виробництва на базі нейромережевого підходу у ТОВ «Кириківський цукровий завод» (акт впровадження от 29.12.2009 р.), ТОВ «Сільськогосподарське підприємство «Білий колодязь»» (акт впровадження від 17.01.2014 р.), ТДВ «Новоіванівський цукровий завод» (акт впровадження від 25.03.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Усі основні результати отримані здобувачем самостійно. У друкованих працях, написаних у співавторстві, здобувачеві належать: в [3] - підхід до лінеаризації математичних моделей апаратів технологічних систем; в [4] - оцінка втрат при керуванні лінійним динамічним об'єктом за допомогою статичної моделі; в [5] - модифікація рекурентного алгоритму МНК; в [7] - конфігурація програмних модулів в тренажері для операторів АСУ ТП; в [8] - застосування ортонормованих базисних функцій для зменшення числа ідентифікованих параметрів нелінійної моделі Вольтерра; в [9] - процедура навчання мережі, що представляє собою градієнтний алгоритм мінімізації квадратичного функціонала від помилки ідентифікації; в [11] - нейромережевий підхід до побудови нелінійної динамічної моделі Гаммерштейна; в [12] -

процедура навчання нейромережі за допомогою модифікованого алгоритму Уїдроу-Хоффа; в [16] - алгоритм керування ТП на основі нейромережевої моделі; в [18] - ідея лінеаризації математичних моделей ТП сокоочисного відділення; в [22] - нейромережевий підхід для синтезу АСУ ТП цукрового виробництва; в [24] - застосування радіально-базисних мереж (РБМ) з різними базисними функціями та їх кусково-лінійною апроксимацією для нейромережевого керування; в [27] - узагальнена математична модель, що описує взаємозв'язок між основними показниками виробництва; в [28] - визначення оптимальних режимів роботи випарної установки (ВУ); в [29] - вибір оптимальних регульованих перерізів трубопроводів на цукровому заводі; в [30] - критеріальне рівняння зв'язку основних показників теплотехнічних процесів; в [31] - розрахунок оптимізаційних параметрів роботи обладнання дифузійного відділення; в [32] - метод отримання нестационарної моделі ТП; в [36] - оптимізація введення лабораторних даних в АСУ ТП цукрового заводу; в [38] - принцип побудови нейромережевої моделі нелінійного об'єкта за допомогою радіально-базисної мережі; в [42] - підхід до побудови моделей тепло-масообмінних частин обладнання в сокоочисному відділенні; в [43] – оцінка похибки при використанні статичної моделі керування динамічним об'єктом; в [47] – спрощення моделей керування ТП; в [48] – модель переддефекатора; в [49] – формування клієнт-серверної архітектури Web-SCADA системи; в [51] – ідея використання спрощених моделей в тренажерній системі; в [52] – розробка структури комп'ютерного тренажера; в [53] – синтез нейромережевого ПД-регулятора для нелінійного об'єкта.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наступних науково-технічних конференціях, симпозіумах, форумах та семінарах: «Теорія і техніка передачі, прийому та обробки інформації» (Харків-Туапсе, 2003); «Технічний прогрес в АПК» (Харків, 2004, 2005, 2006, 2008, 2010, 2011, 2012, 2013); «Сучасні інформаційні та електронні технології» "СІЕТ-2005", "СІЕТ-2006" (Одеса, 2005, 2006); «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій» "ISDMIT 2006" (Євпаторія, 2006); «Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку» (Харків-Туапсе, 2006); «Сучасні інформаційні системи. Проблеми і тенденції розвитку» (Харків-Туапсе, 2007); «Проблеми інформатики і моделювання» (Харків, 2007); «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 2007, 2008); «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій» (Запоріжжя, 2008); «Прикладна радіоелектроніка. Стан і перспективи розвитку» (Харків, 2008); «ENERGIA 2009» (Сімферополь-Люблін-Луганськ-Львів); «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними комплексами» (Київ, 2009); «Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення» (Севастополь, 2010, 2011, 2012, 2013); «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (Харків-Київ, 2010; Київ-Харків, 2011; Полтава-Баку-Белгород-Кіровоград-Харків, 2014); «Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку» (Київ, 2010, 2011); «Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчис-

лювального інтелекту» (Євпаторія, 2010); «Информатика, математическое моделирование, экономика» (Смоленск, 2013, 2014).

Публікації. Основні положення та результати дисертації надруковані в 58 друкованих роботах, де 34 статті, з яких 32 статті в фахових виданнях України з технічних наук (14 одноосібних), серед яких 7 - у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз і 4 статті в закордонних наукових спеціалізованих виданнях, 2 статті в інших виданнях та 24 публікації у збірниках праць наукових конференцій, форумів та семінарів.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота є рукописом і складається із вступу, 6 розділів, висновків, 9 додатків. Повний обсяг роботи складає 417 сторінок, що включає в основній частині роботи 102 рисунки, з них 27 на окремих сторінках та 19 таблиць, з них 10 на окремих сторінках, список використаних джерел з 269 найменувань на 29 сторінках та 9 додатків на 71 сторінці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність, розглянуто зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, сформульовані мета та ідея роботи, завдання досліджень, позначені об'єкт, предмет і методи дослідження, викладені основні наукові положення, новизна наукових та практичних результатів і їх вірогідність, особистий внесок здобувача, апробація результатів та структура роботи.

У першому розділі наведено аналіз стану автоматизації керування ТП цукрового виробництва. Виробництво цукру з буряка є складним технологічним процесом, який потребує великої кількості енергетики. В умовах конкуренції, для забезпечення роботи ефективного виробництва, на наш час, у першу чергу, розглядаються такі показники, як якість та енергоспоживання, які і диктують необхідність застосування сучасних новітніх досягнень у процесах керування системами автоматизації цукрового виробництва.

Зростання продуктивності праці на цукрових заводах та розробка нових технологій, які застосовуються для підвищення ефективності цукрового виробництва, вимагають оновлення і удосконалення систем керування, що мають сучасні засоби виміру та автоматизації. Автоматизація цукрової промисловості забезпечує якісну та ефективну роботу всіх технологічних дільниць цукрового заводу тільки за допомогою комплексного підходу до вирішення даного завдання. Системний підхід до розвитку цукрового виробництва, поряд з удосконаленням технологій та обладнання, має на увазі і обов'язкове застосування засобів автоматизації.

Сучасна АСУ ТП являє собою розподілену систему, що має різні типи контролерів, зв'язок з якими здійснюється по різним польовим шинам і промисловим мережам передачі даних. У даний час на більшості заводів України використовуються складні ієрархічні системи автоматизації цукрового виробництва, що базуються на чотирьох структурних рівнях функціонування АСУ ТП. Як правило, системи автоматизації поділяються на нижній, середній, верхній та

додатковий корпоративний рівні. Дана концепція комплексної автоматизації технічно та технологічно обумовлена особливостями керування цукровим виробництвом і контролерами, об'єднаними з сервером мережею Ethernet. До недоліків подібних АСУ ТП слід віднести всі недоліки Ethernet (негарантована доставка деяких інформаційних потоків по магістралі до АРМ і серверу у реальному часі, необхідність установки одного або декількох серверів, неминуче зниження швидкості обміну інформацією у разі будь-якого розширення системи при змінах технологічної схеми або збільшенні виробничих потужностей виробництва тощо).

В цукрових заводах України практично на всіх автоматизованих технологічних процесах виробництва цукру застосовується SCADA TRACE MODE, починаючи з АСУ ТП котелень і закінчуючи процесами випарювання та кристалізації. Найбільш популярні SCADA-системи сьогодні - GENESIS 32 (Iconics), RSView32 (RockwellSoftware), WinCC (Siemens), VipWin (Festo).

Слід зазначити, що, як правило, автоматизація різних об'єктів на кожному з цукрових заводів проводилася не одночасно, а поетапно в різні періоди часу. Локальні АСУ ТП у межах технологічних відділень підприємства розвивалися відокремлено, незалежно одна від одної. У підсумку, на сучасному етапі розвитку цукрового виробництва, заводи часто характеризуються наявністю роз'єднаних, що не взаємодіють між собою, різнорідних автоматизованих та інформаційних систем, оснащених технічною базою від різних виробників. Відповідно і програмовані логічні контролери (ПЛК), що використовуються в межах одного заводу, належать до різних поколінь обчислювальної техніки. Серед відомих розробників контролерів можна назвати Allen Bradley, Schneider, Siemens, Advantech та інші. Проблема зв'язку різних контролерів успішно вирішується за допомогою технології OPC (OLE for Process Control). Тому, при інтеграції сучасних АСУ в технологічний процес виробничих дільниць цукрового заводу виникає ряд проблем, основною з яких є забезпечення механічної, електричної та функціональної сумісності ПЛК і їх узгодженої взаємодії. У зв'язку з цим розглянуто ряд умов, необхідних для забезпечення конструктивної, електричної та інформаційної сумісності ПЛК.

При побудові систем керування локальними технологічними процесами в сучасному виробництві широко використовуються пропорційно-інтегральні та пропорційно-інтегрально-диференціальні регулятори (ПІ- і ПІД-регулятори). Чинниками, що зумовили широке поширення ПІД-регуляторів, стали простота їх структури і висока надійність. Налаштування ПІД-регулятора для регулювання деяким об'єктом здійснюється завданням всього трьох параметрів: пропорційного, інтегрального та диференціального коефіцієнтів передачі. Визначено переваги та недоліки даних регуляторів, що стало причиною розвитку адаптивного керування, основна ідея якого полягає в зміні параметрів регулятора в залежності від критерію оптимальності розглянутої замкнутої системи.

Основою синтезу будь-якої системи керування є адекватна математична модель об'єкта, отримання якої являє собою досить складну задачу, тому що реальні процеси характеризуються, як правило, нелінійними залежностями, високим

рівнем шумів та їх корельованістю, мінливими умовами функціонування, які зумовлюють зміну характеристик об'єктів, що досліджувались тощо. Серед значної кількості способів опису нелінійних динамічних об'єктів найбільшого поширення набули математична модель Вольтерра та її різновиди – моделі Гаммерштейна і Вінера. Однак необхідність вирішення завдань керування в реальному часі висуває певні вимоги як до самих алгоритмів керування, що входять до складу математичного забезпечення системи, яка проектується, так і до технічних засобів, що їх реалізують. У цьому випадку доцільним є перехід до параметричних моделей або до регресійних моделей типу NARX або NARMAX.

Основними недоліками адаптивних систем, які було розроблено відповідно до традиційних принципів, є те, що більшість алгоритмів адаптації отримані за умови відсутності неконтрольованих збурюючих впливів та при можливості визначення всіх параметрів об'єкта в процесі ідентифікації. Крім того, практично всі алгоритми адаптації працездатні лише у випадку, якщо виконується гіпотеза квазістаціонарності об'єкту керування впродовж часу налаштування регулятора та відсутності збурюючих впливів. Необхідно також відмітити, що існуючі алгоритми адаптації є достатньо складними при реалізації, а процес адаптації дуже часто займає багато часу.

Враховуючи викладене вище, стає доцільним використання для автоматизації ТП цукрового виробництва інтелектуальних технологій. Зокрема, така концепція була реалізована ПФ "Укрсервісавтоматика" для ВАТ "Лохвицький цукровий завод" при модернізації АСУ ТП "Випарка-155" шляхом застосування однієї з технологій штучного інтелекту - нечіткої логіки, заснованої на матрично-директивному асоціативному регулюванні та нечітких обчисленнях. Дана технологія регулювання дозволяє здійснювати керування об'єктом шляхом впливу на один виконавчий механізм по декількох незалежних вхідних технологічних параметрах за один цикл керування.

Проведено аналіз сучасних напрямків керування та розглянуто особливості систем адаптивного керування. У зв'язку з тим, що якість будь-якої системи керування в значній мірі залежить від математичних моделей об'єктів, які в ній використовуються, проаналізовано існуючі способи математичного описування нелінійних динамічних об'єктів. Зокрема досить детально розглянуто традиційно моделі Вольтерра та її різновиди – моделі Гаммерштейна та Вінера. Розглянуто основні недоліки адаптивних систем, які розроблено відповідно до традиційних принципів, та обґрунтовано необхідність і доцільність переходу до інтелектуалізації процесів ідентифікації, керування та прогнозування.

Слід зазначити, що на відміну від традиційних, інтелектуальні системи керування за рахунок використання окремих математичних моделей розумової діяльності людини, при дотриманні деяких умов, дозволяють ефективно вирішувати такі задачі. Це у першу чергу відноситься до ШНМ. Будучи альтернативою традиційним методам керування, нейромережеве керування засноване на застосуванні повністю визначених штучних нейронних мереж для вироблення необхідних сигналів керування. Розглянуто різні типи ШНМ (статичні – багатощаровий перцептрон (БШП), радіально-базисна мережа (РБМ), узагальнена регресійна

мережа та динамічні), що мають добрі апроксимуючі властивості та є зручним інструментом для розв'язання задач ідентифікації нелінійних об'єктів та керування ними. Докладно розглянуто стратегії навчання та методи реалізації цих стратегій. Значну увагу приділено аналізу особливостей реалізації рекурентних процедур навчання ШНМ, яке полягає у налаштуванні ваг та інших параметрів мереж.

Адаптація відомих нейромережових методів до умов функціонування цукрового виробництва дозволить істотно підвищити ефективність АСУ ТП, що створюються для цукрового виробництва.

У другому розділі викладена концепція автоматизованого керування ТП цукрового виробництва. Дана загальна характеристика виробництва цукру. Технологію переробки цукрового буряка у цукор-пісок відображено на рис. 1.

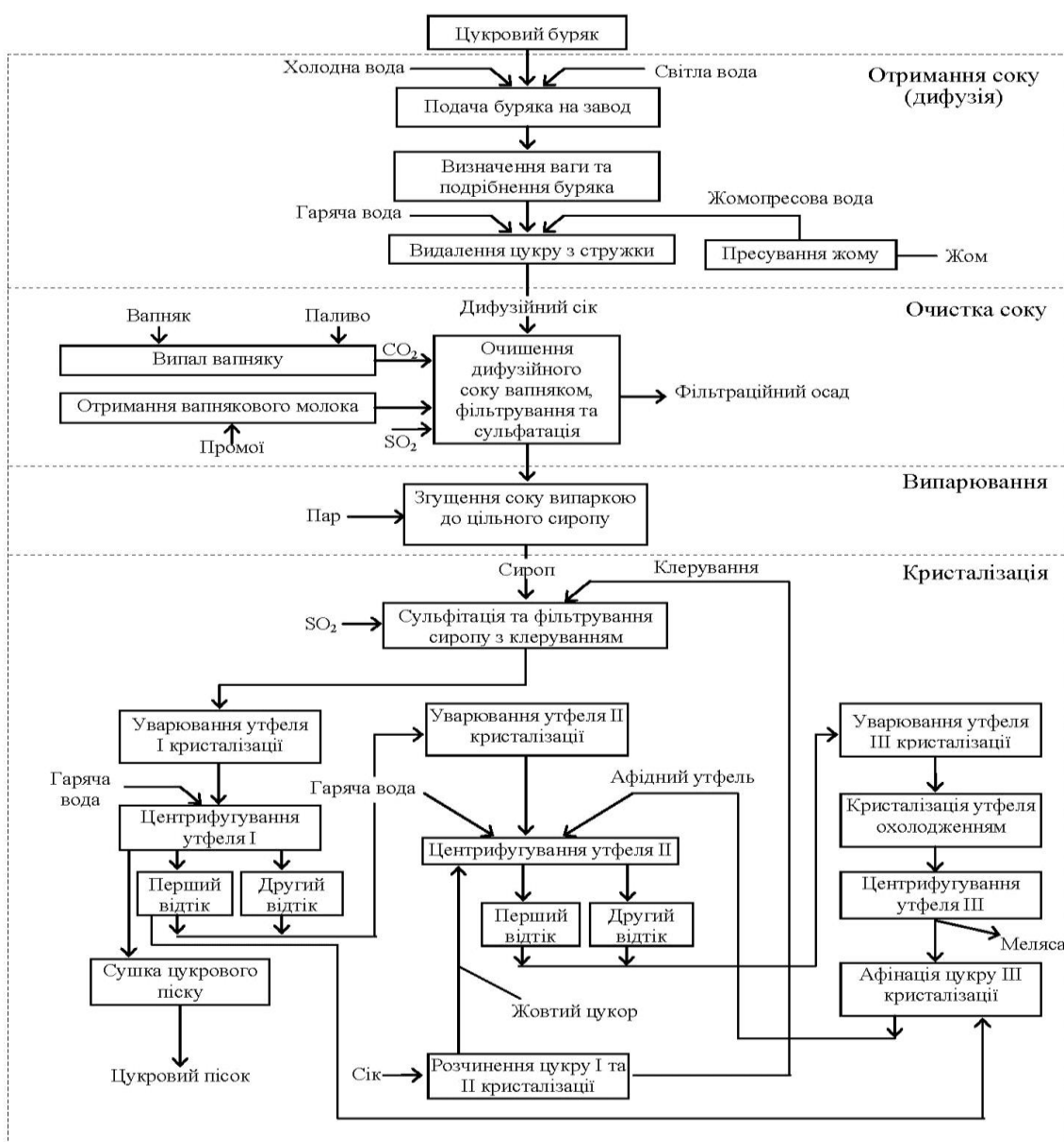


Рисунок 1 – Технологія переробки цукрового буряка

Проведений аналіз типової трьохступеневої технологічної схеми виробництва цукру у ТОВ «Кириківський цукровий завод» дозволив систематизувати та представити локальні технологічні процеси як об'єкти керування, що дало можливість чітко визначити завдання керування окремими ТП, а також необхідну для опису процесів кількість інформаційних і керуючих параметрів, збурень та вихідних сигналів.

У зв'язку з тим, що найбільш важливими процесами, з точки зору автоматизації, де необхідно автоматично підтримувати задані технологічні параметри, є процеси дифузії, очищення, випарки соку та кристалізації, розглянуто і відповідні локальні технологічні процеси виробництва цукру як об'єкти керування. Ефективність технологічних процесів отримання цукрової продукції залежить від чіткої підтримки теплових режимів роботи обладнання на цих дільницях заводу.

Проведений аналіз показав, що чинні системи автоматизації виділених підсистем не забезпечують необхідної якості продукції на виходах апаратів, а недостатня точність підтримки технологічних режимів призводить до збільшення витрат енергоносіїв та зменшення продуктивності виробництва у цілому. Вивчено особливості систем автоматизації відділень цукрового виробництва та визначено головні вимоги до систем автоматизації основних відділень, що забезпечують отримання максимального виходу продукції та досягнення максимального економічного ефекту.

Так головними вимогами до системи автоматизації відділення дифузії є створення безпечних та ефективних виробничих умов для отримання максимального виходу дифузійного соку відповідної концентрації зі стружки, а також забезпечення роботи обладнання дифузійного відділення із заданою нормативною продуктивністю, при одночасному забезпеченні економічності процесу дифузії.

При введенні в експлуатацію системи автоматизації дифузійної установки економічний ефект, в основному, досягається за рахунок підвищення продуктивності роботи дифузійної установки, збільшення вмісту цукру у дифузійному соку та за рахунок зниження витрат енергії, пари (газу). За аналогією з цим розглянуто вимоги до систем автоматизації ТП інших технологічних відділень цукрового заводу.

Розглянуто один із найбільш відповідальних етапів процесу оптимізації виробництва – вибір та обґрунтування критерію оптимальності. У результаті аналізу технічних та економічних критеріїв визначено основні дані, необхідні для їх розрахунків. Визначено основні критеріальні залежності між оптимальними технічними, діагностичними та регульовальними параметрами процесів дифузії, дефекосатурації, випарювання і кристалізації, які базуються на основі законів збереження тепла та маси, що застосовуються до тепло- і гідротехнічних процесів, які відбуваються при переробці цукрового буряка та сировини на заводі. Докладно розглянуто технічні (продуктивність, надійність, вихід продукції, якість сировини тощо) та економічні (прибуток, рентабельність, собівартість, матеріальні витрати на одиницю продукції тощо) критерії оптимізації виробництва.

З метою оптимізації роботи цукрового виробництва визначено основні критеріальні параметри, які найбільшою мірою впливають на ефективність виробництва, що визначається виходом цукрової продукції. При розгляді критеріїв наголошується, що важливе значення для досягнення ефективного виробництва цукрової продукції має правильний підбір та розрахунок обладнання і комунікацій. Як показали дослідження, у реальних умовах роботи цукрового заводу, забезпечення трубопроводами із необхідними перетинами не можна визнати оптимальним. У зв'язку із необхідністю автоматичного регулювання перетинів трубопроводів, яке здійснювалось за рахунок використання регульовальних заслінок і з допомогою пневмоприводів та електропневмопозиціонерів, пропонуються розрахунки технічної продуктивності трубопроводів і визначення їх необхідних технологічних діаметрів у залежності від заданої робочої потужності цукрового заводу.

Розгляд та аналіз технічних і економічних критеріїв оптимізації визначив основні складові, які потрібні для розрахунків ефективності виробництва. Обґрунтовано висновок про те, що дані критерії необхідно враховувати та використовувати в цукровому виробництві, і їх можна представити в вартісній величині - гривні. Крім того, необхідно відзначити, що у всіх цих критеріях оптимізації використовується узагальнюючий показник – собівартість. Визначено основні критеріальні залежності між оптимальними діагностичними та регульовальними параметрами процесів дифузії, дефекосатурації, випарювання і кристалізації, що здійснюються при тепло- і гідротехнічних технологічних процесах цукрового виробництва.

Виходячи з аналізу, можна зробити висновок, що ТП цукрового виробництва характеризуються наступними основними величинами: вихід соку і пара $(G, \frac{kg}{c})$ або $(\frac{m^3}{c})$; площа перерізу трубопроводів (F, m^2) ; температура $(\theta, ^\circ C)$; теплоємність $(C, \frac{m^2}{c^2 \cdot ^\circ C})$; коефіцієнт теплопередачі $(K, \frac{Wm}{m^2 \cdot ^\circ C})$ або $(\frac{kg}{c^3 \cdot ^\circ C})$; час здійснення процесу (T, c) .

Основним сполучним показником та регульованим критерієм, що описує розглянуті технологічні процеси, є тепло, яке можна представити як функцію наведених параметрів:

$$Q = (G, F, T, C, R) \text{ або } f(G, F, T, C, K) = 0. \quad (1)$$

З використанням Пі-теорему у роботі було отримано наступне критеріальне рівняння:

$$f\left(\frac{2T \cdot C}{F}; \frac{K \cdot 2T}{G}\right) = 0. \quad (2)$$

Третій розділ присвячено питанням синтезу адаптивного керування ТП на основі лінійних моделей.

При побудові оптимальних регуляторів для розглянутих ТП необхідно провести статистичний аналіз основних збурень та параметрів досліджуваних об'єктів, щоб віднести їх до конкретного класу випадкових процесів. У результаті проведення пасивних експериментів були отримані масиви даних погодинної роботи всіх основних переробних відділень цукрового виробництва, які і використовувалися при побудові лінійних регресійних моделей.

За експериментальними даними були розраховані накопичені частоти $P_0(x)$, очікувані накопичені частоти для нормального розподілу, потім вибиралося максимальне значення $|P_0(x) - S(x)|$, за допомогою якого і визначався критерій згоди Колмогорова-Смирнова.

Задача вибору структури моделі сформульована як оптимізаційна

$$s^* = \arg \min_{s \in \Omega} CR(s), \quad (3)$$

де s^* - оптимальна структура моделі; s - структура моделі; Ω - множина всіх можливих структур, що містять деякі регресори з «повного» набору регресорів; $CR(s)$ - критерій якості структури.

У якості критерію вибору структури в роботі використовується залишкова сума квадратів похибок моделі та статистика Фішера.

У результаті статистичного аналізу та застосування кореляційних методів було встановлено зв'язки між вхідними і вихідними параметрами досліджуваних процесів, а також визначені керуючі та інформаційні параметри кожного відділення. При цьому враховувалися особливості процесів, зокрема при побудові регресійних моделей дифузійного відділення було розглянуто наступні два випадки:

1. В якості вихідної величини дифузійного відділення, а відповідно і дифузійного апарату (ДА), тому що ДА є основним технологічним обладнанням, що задає режим роботи не тільки для всього відділення, а й для всього заводу у цілому, використовувалася одна вихідна змінна – вихід дифузійного соку.

2. За аналогією з диференціальними рівняннями, що описують залежності температур сокостружечної суміші окремо у кожній зоні ДА від інших параметрів процесу – кількість поданої води, бурякової стружки, пара та інших, було отримано регресійні залежності цих температур від керованих параметрів дифузійного апарату.

Визначення структур регресійних моделей всіх відділень здійснювалося методом покрокової регресії, а застосування МНК дозволило отримати регресійні моделі всіх розглянутих відділень заводу при $R^2 = 0,65 - 0,8$.

Для дифузійного відділення, для першого випадку, отримана наступна регресійна модель:

$$Y = 63,27 + 12,65X_1 + 9,435X_2 + 18,42X_3 + 10,63X_4 - 3,657X_5 + 24,3X_6 + 7,36X_7, \quad (4)$$

де Y - вихід дифузійного соку з ДА, ($G_{dc}, m^3/ч$), а керованими параметрами ДА були X_1 - температура сокостружечної суміші від пари в 1-й зоні ДА, (θ_1^0, C); X_2 - температура сокостружечної суміші від пари в 2-й зоні ДА, (θ_2^0, C); X_3 - температура сокостружечної суміші від пари в 3-й зоні ДА, (θ_3^0, C); X_4 - температура сокостружечної суміші від пари в 4-й зоні ДА, (θ_4^0, C); X_5 - кількість питної води, ($G_{dc0}^{ij}, m^3/ч$); X_6 - кількість поданої бурякової стружки, ($G_c^{ij}, m/ч$); X_7 - температура барометричної сульфітованої води, ($\theta_a,^0 C$).

Для цього ж відділення, для другого випадку, застосування МНК дало наступні моделі для кожної з 4-х зон ДА:

$$Y_1 = 4,352 + 10,794X_1 - 0,292X_2 + 0,006X_3 + 0,730X_4 + 0,30X_5; \quad (5)$$

$$Y_1 = 21,176 + 17,973X_1 - 0,255X_2 + 0,005X_3 + 0,693X_4 + 0,730X_5; \quad (6)$$

$$Y_3 = 3,091 + 7,794X_1 - 0,479X_2 + 0,016X_3 + 0,87X_4 + 0,19X_5; \quad (7)$$

$$Y_4 = 18,378 + 11,49X_1 - 0,482X_2 + 0,012X_3 + 0,566X_4 + 0,472X_5. \quad (8)$$

де $Y_i(1,4)$ - температура сокостружечної суміші в i -й зоні ДА; X_1 - кількість поданої бурякової стружки, ($G_c^{ij}, m^3/ч$); X_2 - вихід дифузійного соку, ($G_{dc0}^{ij}, m^3/ч$); X_3 - кількість питної води, ($G_e^{ij}, m^3/ч$); X_4 - температура барометричної сульфітованої води, ($\theta_o,^0 C$); X_5 - температура жомопрісної води, ($\theta_{ж},^0 C$).

При цьому необхідно відмітити, що при проведенні пасивного експерименту використовувались і інформаційні параметри про технологічні параметри процесу дифузії. Як показав розрахунок статистичних критеріїв погодження Фішера та Ст'юдента, отримані моделі досить адекватно відображають властивості досліджуваних процесів. Аналіз отриманих регресійних моделей виявив їх ряд властивостей, які обмежують сферу застосування цих моделей у задачах керування. Це пов'язано у першу чергу з тим, що у цукровому виробництві технологічний процес отримання цукру постійно змінюється у залежності від зміни якості продукції. Тому доцільним став розгляд питання побудови математичних моделей ТП цукрового виробництва, що відображають динаміку процесів та засновані на використанні рівнянь матеріального балансу і енергетичного або його складової – теплового балансу.

При виробництві цукрової продукції відомі параметри обладнання та значення сировини, що переробляється на всіх етапах виробництва, а опис ТП отримано на основі розгляду матеріального балансу і з урахуванням критерію економічної ефективності виробництва. Для цукрового виробництва матеріальний баланс визначається, в основному, по виходу продукції за певний час (година, доба). У підсумку визначається коефіцієнт виробництва, який обчислюється співвідношенням виходу цукрової продукції до величини сировини (кількість буряка або цукру в буряку), яка подається на переробку.

Енергетичний баланс об'єкта складають на основі закону збереження енергії з урахуванням входу та виходу всіх видів енергії, наприклад, витрат механічної енергії на змішування і стиснення рідин, газів та їх переміщення. На підставі теплового балансу знаходять витрати водяного пару, води та інших теплоносіїв, а за даними енергетичного балансу – загальні витрати енергії на здійснення процесу переробки сировини. При цьому, що на всіх етапах дослідження роботи основних відділень цукрового виробництва присутні жорсткі технологічні обмеження по температурним режимам, побудова моделей здійснювалася, у першу чергу, на основі теплових балансів.

Отримані динамічні моделі можуть бути приведені до моделей у просторі станів, а у зв'язку з тим, що об'єкти, які досліджувались, є багатозв'язаними, для керування ними можуть використовуватися багатовимірні оптимальні регулятори, побудовані на основі цих моделей. Однак для синтезу таких регуляторів потрібно мати досить великий обсяг апріорної інформації щодо властивостей самого об'єкта, а також щодо статистичних властивостей корисних сигналів і завад. Крім того, всяке рішення даної проблеми вимагає рішення алгебраїчних рівнянь типу Рікатті, яке пов'язано зі значними труднощами. При цьому треба відмітити, що проблеми оптимізації розглянутого технологічного процесу поглиблюються нелінійним та нестационарним характером рівнянь, які його описують, і призводять до того, що у реальних умовах значення параметрів регуляторів вибирають такими, щоб забезпечити оптимальне керування у деякій компромісній точці. Для оптимізації системи у декількох точках необхідна корекція параметрів регуляторів відповідно до змін робочих умов.

У зв'язку з тим, що дослідження динамічних властивостей ТП важко здійснювати внаслідок нелінійності об'єктів, які до того ж ще й описуються диференціальними рівняннями в часткових похідних, на практиці виправдовують себе спрощення (лінеаризація в околу робочих режимів тощо). Це стало основою для дослідження можливості керування динамічними об'єктами за допомогою їх статичних моделей та оцінювання виникаючих при цьому втрат. Так, лінійний динамічний об'єкт, що досліджується, можна описати рівняннями у просторі станів

$$\begin{aligned} \dot{x} &= \tilde{A}x + \tilde{B}u; \\ y &= \tilde{C}x \end{aligned} \tag{9}$$

або представити в канонічній формі

$$\begin{aligned}\dot{z} &= \Lambda z + Bu; \\ y &= Cz,\end{aligned}\tag{10}$$

де u - керуючий сигнал; y - скалярний вихідний сигнал; x - N -мірний вектор стану; \tilde{A}, \tilde{B} і \tilde{C} - матриці розмірностей $N \times N, N \times 1$ і $1 \times N$ відповідно; $\Lambda = \text{diag} \lambda_i$ - діагональна матриця власних значень A ; $z = G^{-1}x$ - вектор канонічних змінних; $B = G^{-1}\tilde{B}$; $C = (1, 1, \dots, 1)$; G^{-1} - матриця, зворотна матриці Вандермонда.

Рівняння статичної моделі при $t \rightarrow \infty$ має вигляд

$$\hat{y} = \lim_{t \rightarrow \infty} y(t) = -C\Lambda^{-1}Bu(\infty) = \alpha u(\infty),\tag{11}$$

де $\alpha = -C\Lambda^{-1}B$.

Отримано оцінки похибки керування динамічним об'єктом (9) на інтервалі $[0, T]$ за допомогою його статичної моделі при використанні функціоналів

$$F_1 = \frac{1}{T} \int_0^T (y^*(t) - y(t))^2 dt\tag{12}$$

та

$$F_2 = \frac{1}{T} \int_0^T [e^2(t) + \beta u^2(t)] dt,\tag{13}$$

де $y^*(t)$ - необхідне значення вихідного сигналу, причому $\max_{[0, T]} |y^*(t)| \leq \delta$;

$\beta > 0$ - деякий коефіцієнт.

Так для критерію керування (11) оцінка похибки має вигляд

$$\tilde{F} \leq KN\lambda_{\min}^{-2} \delta^2,\tag{14}$$

де λ_{\min} - мінімальне власне значення.

Для критерія (13) оцінка, зважаючи на її громіздкість, не наведена. Як показано в роботі, ці втрати визначаються співвідношенням швидкості зміни необхідного значення вихідного сигналу та власних значень матриці стану розглянутого об'єкта.

Слід зазначити, що за наявності у вимірах завод, задачі ідентифікації та керування значно ускладнюються. При цьому змінюються і величини втрат при використанні статичної моделі.

Як показано в роботі, при використанні статичної моделі

$$y = \alpha u + Dw + \xi, \quad (15)$$

де w - вектор завад розмірності $N \times 1$; ξ - скалярна завада вимірювання вихідної величини; $D = -C\Lambda^{-1}$ - вектор розмірності $1 \times N$, у припущенні, що швидкості змінення завад є обмеженими та задовольняють наведеним нерівностям

$$\max_{t \in [0, T]} |\dot{\xi}(t)| \leq \gamma_\xi, \quad (16)$$

$$\max_{t \in [0, T]} \sum_{i=1}^N |c_i \lambda_i^{-1} \dot{w}_i(t)| \leq \gamma_w, \quad (17)$$

втрати можуть бути оцінені наступним чином:

$$\tilde{F}_1 \leq k_1 \sum_{i=1}^N \frac{(\delta + \gamma_\xi + (n-1)\gamma_w)^2}{\lambda_i^2} \leq k_1 \cdot N \frac{(\delta + \gamma_\xi + (N-1)\gamma_w)^2}{\lambda_{\min}^2}, \quad (18)$$

$$\text{де } k_1 = \alpha^{-2} \sum_{i=1}^N (\lambda_i^{-1} c_i b_i)^2.$$

Враховуючи те, що $\delta^2 < (\delta + \gamma_\xi + (N-1)\gamma_w)^2$, можна зробити висновок, що наявність завад w та ξ призводить до збільшення втрат при керуванні динамічним об'єктом у цукровому виробництві за допомогою його статичної моделі.

Наведені результати справедливі при керуванні стаціонарними об'єктами. Врахування нестационарності параметрів досліджуваних процесів призводить до необхідності використання адаптивного підходу при керуванні цими процесами, що забезпечує своєчасне та адекватне вироблення рішення про зміну керуючих впливів. Ефективне вирішення завдання пов'язане з введенням в контур керування ідентифікатора, що працює за відповідним адаптивним алгоритмом.

Таким чином, для вирішення задачі оптимізації роботи відділень доцільно застосовувати методи адаптивного керування, в яких ідентифікація, яка здійснюється у реальному часі, дозволяє оцінити зміну характеристик процесів, що призводить до корекції алгоритму керування та в кінцевому підсумку - до підвищення якості керування. У зв'язку з тим, що до ідентифікатора пред'являються певні вимоги, зокрема, простота обчислювальної процедури та її необхідна швидкодія, для лінійних динамічних стохастичних об'єктів, що описані рівнянням псевдолінійної регресії

$$y(k) = \theta^T q(k) + w(k), \quad (19)$$

де $\theta = (a_1, a_2, \dots, a_{N_A}, b_1, b_2, \dots, b_{N_B})^T$ - вектор параметрів об'єкта $(N_a + N_b) \times 1$;

$q(k) = (-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-N_A), u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-N_B))^T$ - вектор стану $(N_a + N_b) \times 1$; $w(k)$ - завада виміру; $k = 0, 1, 2, \dots$ - дискретний час, була розроблена процедура прискореної ідентифікації, що поєднує властивості алгоритму МНК і градієнтного з матричним коефіцієнтом посилення

$$\hat{\theta}(k) = \hat{\theta}(k-1) + \alpha(k)Pe(k)x(k) + \beta(k)P(k)e(k)x(k), \quad (20)$$

де $P^{-1}(k) = \lambda P^{-1}(k-1) + \gamma x(k)x^T(k), \quad (21)$

$$\alpha^{-1}(k) = \mu(k) + mx^T(k)Px(k), \quad \mu(k) > 0, \quad (22)$$

$$\beta^{-1}(k) = \mu'(k) + mx^T(k)P(k-1)x(k), \quad \mu'(k) > 0, \quad (23)$$

де $m = 2, 0 < \lambda \leq 1, 2 \leq \gamma\mu(k) \frac{8}{3}, \quad (24)$

яка має більш високу швидкість збіжності у порівнянні з рекурентним МНК, та проведено дослідження її збіжності. За допомогою даної процедури були побудовані нестационарні регресійні моделі для всіх розглянутих основних технологічних процесів цукрового виробництва.

Використання даного алгоритму спільно з розробленим алгоритмом адаптивного керування, що має вигляд

$$q(k+1) = \begin{cases} q(k), |\Delta y(k+1)| < \delta(k+1), \\ q^{\max}, q(k) + \Delta q(k+1) \geq q^{\max}, |\Delta y(k+1)| \geq \delta(k+1), \\ q(k) + \frac{\Delta y(k+1)}{\hat{\theta}^T(k)A^{-1}\hat{\theta}(k)} A^{-1}\hat{\theta}(k), q^{\min} < q(k) + \Delta q(k+1) < q^{\max}, \\ q^{\min}, q(k) + \Delta q(k+1) \leq q^{\min}, |\Delta y(k+1)| \geq \delta(k+1), \end{cases} \quad (25)$$

де A - матриця вартості керуючих сигналів, є досить ефективним при вирішенні задач стабілізації вихідних змінних відділень.

У четвертому розділі розглянуто питання інтелектуальної ідентифікації ТП цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу: визначено структуру нейромережевих моделей багатовимірної ідентифікації, обрано методи параметризації (навчання) та досліджено основні робочі параметри ТП цукрового виробництва.

Розглянуто особливості побудови нейромережевих моделей нелінійних динамічних об'єктів, заснованих на різних способах формування очікуваного сигналу об'єкта, а також на різному вигляді представлення моделей, і наведено структури нейромережевих моделей. Запропонований підхід дозволяє формалізувати опис складних нелінійних технологічних об'єктів з метою їх ідентифікації.

На даний час при моделюванні складних ТП досить широко використовуються нелінійні моделі Вольтерра та її окремі випадки - моделі Вінера і Гам-

мерштейна. Класична модель Вольтерра, яка була досить детально розглянута у першому розділі, є непараметричною, що створює деякі незручності як при її побудові, так і при дослідженні. Тому при вирішенні практичних завдань зазвичай переходять до параметричної моделі Вольтерра, яка є лінійною щодо невідомих параметрів. Застосування нейромережевого підходу дає можливість спростити реалізацію моделі Вольтерра.

Розглянемо нелінійний об'єкт, який можна описати моделлю Вольтерра m -го порядку

$$\begin{aligned} y(k) = & h_0 + \sum_{i_1=1}^m h_{1i_1} u(k-i_1) + \sum_{i_1=1}^m \sum_{i_2=1}^m h_{2i_1 i_2} u(k-i_1) u(k-i_2) + \dots \\ & \dots + \sum_{i_1=1}^m \sum_{i_2=1}^m \dots \sum_{i_n=1}^m h_{ni_1 i_2 \dots i_n} u(k-i_1) u(k-i_2) \dots u(k-i_n). \end{aligned} \quad (26)$$

Для визначення шуканих ядер $h_0, h_{1i_1}, h_{2i_1 i_2}, \dots, h_{ni_1 i_2 \dots i_n}$ досить ефективним є використання БШП, який має один прихований шар. Якщо в якості активаційної вибрати поліноміальну функцію виду

$$p_i(x_i) = a_{0i} + a_{1i}x_i + a_{2i}x_i^2 + \dots + a_{ni}x_i^n, \quad (27)$$

ядра Вольтерра обчислюються наступним чином:

$$\begin{aligned} h_0 = \sum_{i=1}^N c_i a_{0i}, \quad h_{1i_1} = \sum_{i=1}^N c_i a_{1i} w_{i_1 i}, \quad h_{2i_1 i_2} = \sum_{i=1}^N c_i a_{2i} w_{i_1 i} w_{i_2 i}, \\ h_m(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_m) = \sum_{i=1}^M c_i a_{mi} w_{\tau_1 i} w_{\tau_2 i} \dots w_{\tau_m i}. \end{aligned} \quad (28)$$

Використання активаційної сигмоїдальної функції

$$f_i(v_i) = \frac{1}{1 + e^{-(v_i - \theta_i)}}, \quad (29)$$

де θ_i - поріг для i -го нейрона, дозволяє отримати аналітичні вирази для ядер Вольтерра першого та другого порядків, які матимуть відповідно вигляд

$$\begin{aligned} h_{1i_1} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i e^{\theta_i w_{ji}}}{(1 + e^{\theta_i})^2}, \\ h_{2i_1 i_2} = \sum_{i=1}^N \frac{w_i (e^{2\theta_i} - e^{\theta_i}) w_{j_1 i} w_{j_2 i}}{2(1 + e^{\theta_i})^3}. \end{aligned} \quad (30)$$

Слід зазначити, що при виборі активаційних функцій інших видів доцільно скористатися їх розкладанням у ряд Маклорена. Істотного спрощення рі-

шення задачі ідентифікації та досягнення у ряді випадків позитивних результатів забезпечує перехід від моделі Вольтерра до моделі Гаммерштейна, яка представляє собою послідовно з'єднані нелінійну статичну і лінійну динамічну частини. Найбільш простою є реалізація моделі Гаммерштейна на основі РБМ. Хоча отриманий при цьому опис нейромережевої моделі не відповідає представленню у вигляді ряду Вольтерра, лінійність моделі відносно шуканих параметрів зберігається. Якщо ж базисні функції (БФ), що використовуються, інтерпретувати як вхідні сигнали моделі, шукані параметри мережі можуть бути представлені за аналогією з параметрами моделі ядер Вольтерра першого порядку.

У цьому випадку, позначаючи

$$\tilde{w}_{1i} = w_1 h_i, \quad \tilde{w}_{2i} = w_2 h_i, \dots, \quad \tilde{w}_{qi} = w_q h_i,$$

отримуємо співвідношення, яке описує нейромережеву модель Гаммерштейна як нейромережеву модель Вольтерра:

$$\begin{aligned} \hat{y}(k) &= \sum_{i=1}^m \tilde{w}_{1i} f_1(u(k-i)) + \sum_{i=1}^m \tilde{w}_{2i} f_2(u(k-i)) + \dots \\ &\dots + \sum_{i=i}^m \tilde{w}_{qi} f_q(u(k-i)) = \tilde{w}^T f(k), \quad i = \overline{1, m}, \end{aligned} \quad (31)$$

де $\tilde{w} = (\tilde{w}_1^T \tilde{w}_2^T \dots \tilde{w}_q^T)$ – вектор $m q \times 1$; $\tilde{w}_i = (\tilde{w}_{i1} \tilde{w}_{i2} \dots \tilde{w}_{iq})^T$ – вектор $q \times 1$;

$f(k) = (f_1^T(k) f_2^T(k) \dots f_q^T(k))^T$ – вектор $m q \times 1$; $f_i(k) = (f_i(u(k-1)) f_i(u(k-2)) \dots f_i(u(k-m)))^T$ – вектор $m \times 1$.

Для навчання ШНМ (оцінювання параметрів моделі) можна використати, наприклад, найбільш простий градієнтний алгоритм Уїдроу-Хоффа, який для РБМ з гаусовськими БФ та нормалізованими σ має вигляд:

$$\hat{w}_i(k) = \hat{w}_i(k-1) + \frac{y(k) - \hat{y}(k)}{\|f_i(u(k))\|^2} f_i(u(k)), \quad (32)$$

де $f_i(u(k)) = e^{-\frac{(u_i - c_j)^2}{2\sigma_{\text{норм}}^2 \Delta c}}$.

При підвищенні обраного ступеня нелінійності статичної частини моделі зростає кількість параметрів, які підлягають визначенню, що істотно збільшує час процесу навчання мережі. Тому з метою зменшення кількості параметрів, які оцінюються, слід застосовувати ортонормовані БФ.

Отримані одновимірні моделі Гаммерштейна стали основою для розробки багатовимірних адитивних і мультиплікативних нейромережевих моделей, що описують об'єкти з багатьма входами. Використання при цьому еквівалентного опису, який має вигляд рівняння псевдолінійної регресії дозволяє застосовувати

для оцінки невідомих параметрів алгоритм МНК.

На основі комп'ютерного моделювання були отримані нейромережеві моделі ТП цукрового виробництва, що засновані на БШП та РБМ.

Кращих результатів було досягнуто при використанні БШП зі структурою 2-20-20-1, 2-15-10, для навчання яких потрібно 6 і 5 хвилин відповідно. Спрощення цих структур шляхом видалення найменш значущих ваг привело до отримання остаточної персептронної моделі 2-7-5-1, точність якої виявилася цілком прийнятною. Час навчання за алгоритмом Левенберга-Маркуардта склав 3 хвилини. Як видно з рис. 2, 3, на яких наведено результати побудови нейромережевих моделей дифузійного відділення, що відповідають регресійним моделям (4) та (5-8), отримані моделі є адекватними.

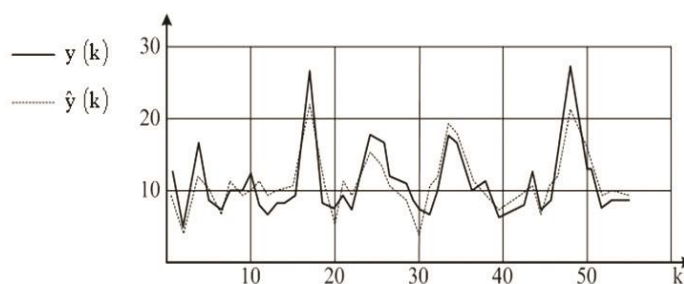


Рисунок 2 – Зміни реальної (y) та модельної (\hat{y}) вихідних змінних дифузійного відділення – вихід дифузійного соку, для моделі (4)

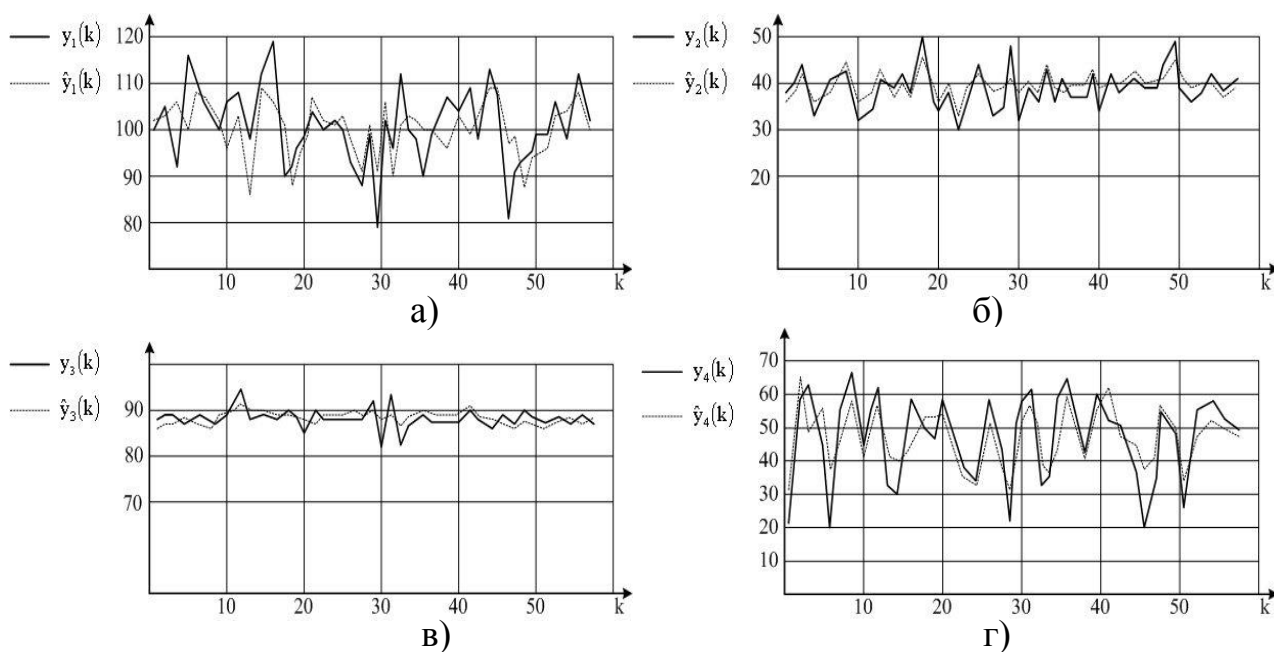


Рисунок 3 – Зміни реальної (y) та модельної (\hat{y}) вихідних змінних дифузійного відділення - температури сокостружечної суміші, для моделей (5)-(8): а) в 1-й зоні ДА; б) 2-й зоні ДА; в) в 3-й зоні ДА; г) в 4-й зоні ДА

У п'ятому розділі розглянуто питання синтезу інтелектуальних систем (схем регуляторів) для автоматизованого керування локальними технологічними процесами цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу. Для керування об'єктами зі змінними параметрами використовуються два принципово різних підходи до реалізації адаптивного керування: пряме і непряме (з ідентифікатором). Обидва ці підходи використовуються і при нейромережевому керуванні нелінійними об'єктами. Якщо при прямому адаптивному керуванні застосовується одна ШНМ, що реалізує нейроконтролер, то в разі непрямого адаптивного нейромережевого керування – дві ШНМ, одна з яких реалізує нейроконтролер, а інша – ідентифікатор.

У прямих методах регулятор навчається без використання моделі об'єкта шляхом мінімізації деякого критерію якості функціонування системи у цілому. Корегування параметрів нейрорегулятора виконується на основі алгоритму зворотного поширення. Одним з варіантів застосування нейронних мереж в задачах керування є використання схем нейрокерування з самостійним налаштуванням. У цьому випадку ШНМ виконують аналогічні функції, що і оператор системи, тобто здійснює налаштування параметрів звичайного регулятора. Використання ШНМ дозволяє автоматизувати цей процес.

Синтезовано схеми нейрокерування (самонастроювання) з самостійним налаштуванням для ПІД-регулятора на базі БШП та РБМ. Показано, що реалізація даних схем є досить простою та не вимагає будь-якої додаткової інформації щодо властивостей об'єкта та завад. Отримано умови збіжності процесу керування при використанні РБМ загального вигляду.

Слід зазначити, що при реалізації ПІД-регулятора виникає завдання оптимізації його параметрів, а зміна умов функціонування об'єкта, стохастичних характеристик корисних сигналів, завад тощо значно її ускладнюють.

В роботі синтезовано нейромережевий ПІД-регулятор для об'єкта, який представлено нелінійною регресійною моделлю. Використання наведеного критерію

$$E_u(k+1) = \frac{1}{2} [y^*(k+1) - y(k+1)]^2 + \frac{1}{2} \lambda u^2(k), \quad (33)$$

дозволило отримати наступний алгоритм керування (процес налаштування пропорційного, інтегрального та диференціального коефіцієнтів регулятора (K_p, K_i, K_d))

$$\Delta K = -\gamma \frac{\partial E}{\partial K} = -\gamma \left[e(k+1) \frac{\partial e(k+1)}{\partial K} + \lambda u(k) \frac{\partial u(k)}{\partial K} \right], \quad (34)$$

де: $\Delta K = (\Delta K_p, \Delta K_i, \Delta K_d)^T$; $e(k+1)$ - похибка керування; $\lambda \in (0,1]$ - ваговий параметр; γ - деякий параметр, що впливає на швидкість збіжності алгоритму

$$0 < \gamma < \frac{2}{\left\| \frac{\partial e(k)}{\partial K} \right\|^2 + \lambda \|X\|^2}. \quad (35)$$

Показано, що швидкість збіжності алгоритму керування буде найбільшою при

$$\gamma^{opt} = \frac{1}{\left\| \frac{\partial e(k)}{\partial K} \right\|^2 + \lambda \|X\|^2}. \quad (36)$$

Одним з найбільш ефективних шляхів вирішення даної задачі є використання предикторного керування, коли на основі поточної інформації предиктор здійснює прогнозування значень вихідних сигналів об'єкта, яке і служить основою для пошуку оптимальних законів корекції керуючих сигналів. У зв'язку з цим розроблені нові процедури предикторного нейромережевого ПД-регулювання, що складаються з корекції параметрів нейромережевого ПД-регулятора на основі мінімізації квадратичного функціонала від похибки прогнозування. Традиційні ШНМ (БШП, РБМ, мережі з затримкою сигналу) є статичними мережами, а динаміка процесу, що досліджується, відбивається у значеннях ендо- та екзогенних сигналів, які представляють собою затримані на певне число тактів значення відповідних змінних. З метою підвищення точності прогнозування розв'язана задача прогнозування ходу технологічного процесу з застосуванням локально-рекурентного персептрону, при побудові якого використовуються динамічні нейрони, що містять БІХ-фільтри. Отриманий алгоритм навчання мережі є однією з модифікацій методу зворотного поширення похибки, реалізація якого ускладнень не викликає.

Проведено імітаційне моделювання розроблених схем нейромережевого керування з використанням ППП Neural Network Toolbox. Для кожної зі схем використовувалась одна процедура ідентифікації, але етапи синтезу були різні. Досліджено процес вирішення завдань адаптивного нейромережевого керування нелінійними динамічними об'єктами при наявності завад та показана ефективність використання для цього алгоритму Левенберга-Марквардта. На рис. 4 наведені результати порівняльного моделювання роботи різних нейроконтролерів.

Моделювання роботи контролера на основі моделі авторегресії з ковзним середнім NARMA - L2 Controller, контролера на основі еталонної моделі Model Reference Controller та контролера з прогнозом NN Predictive Controller показало, що найбільш доцільним при керуванні ТП цукрового виробництва є застосування NARMA - L2 Controller. Результати імітаційного моделювання для дифузійного відділення дозволили отримати досить високу точність керування (відхилення від необхідного вихідного показника склало 5-8 %).

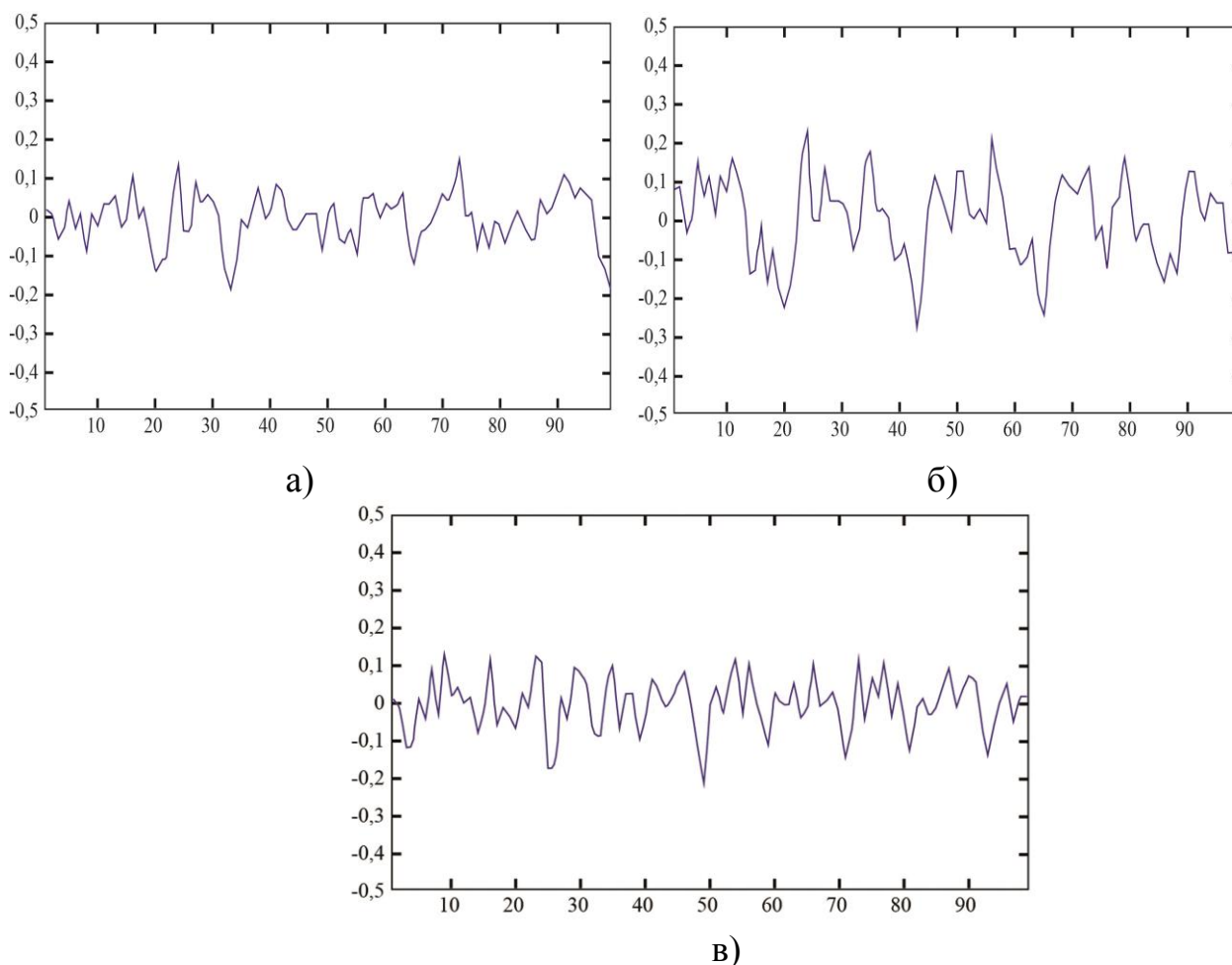


Рисунок 4 – Похибки керування: а) регулятор з еталонною моделлю; б) NARMA-L2 Controller; в) NN Prediction Controller

У шостому розділі розглянуто питання розробки організації інформаційного та програмно-алгоритмічного забезпечення комп'ютерного тренажера для підготовки диспетчерського персоналу - операторів технологічних систем (ТС).

В основі всіх завдань, що вирішуються на тренажері, лежить імітаційна навчаюча модель. Орієнтація даної моделі як на навчання, так і на перепідготовку (підтримання на постійно високому рівні знань та навичок) диспетчерського персоналу визначила основні принципи, покладені в основу формування навчально-тренувальних завдань (НТЗ).

Функціональна структура модульного тренажера, що забезпечує виконання всіх завдань навчання, є блоковою та включає у себе основну керуючу програму, редактор, інтерпретатор введення-виведення, базу даних, імітатор і програму управління навчанням, що реалізовує алгоритм навчання для різних режимів функціонування автоматизованого навчального комплексу для технологічних процесів відділень цукрового заводу.

У зв'язку з тим, що навчання на тренажері має здійснюватися у ході вирішення НТЗ в інтерактивному режимі з імітаційною моделлю, а контингент робітників, яких навчають, має різний досвід виробничої діяльності, а також враховуючи необхідність перевірки знань, стає доцільним використання трьох режимів функціонування автоматизованого тренажерного комплексу (АТК) – навчан-

ня, контроль, дослідження. На рис. 5 показана структура імітаційної навчаючої моделі як ядра АТК.

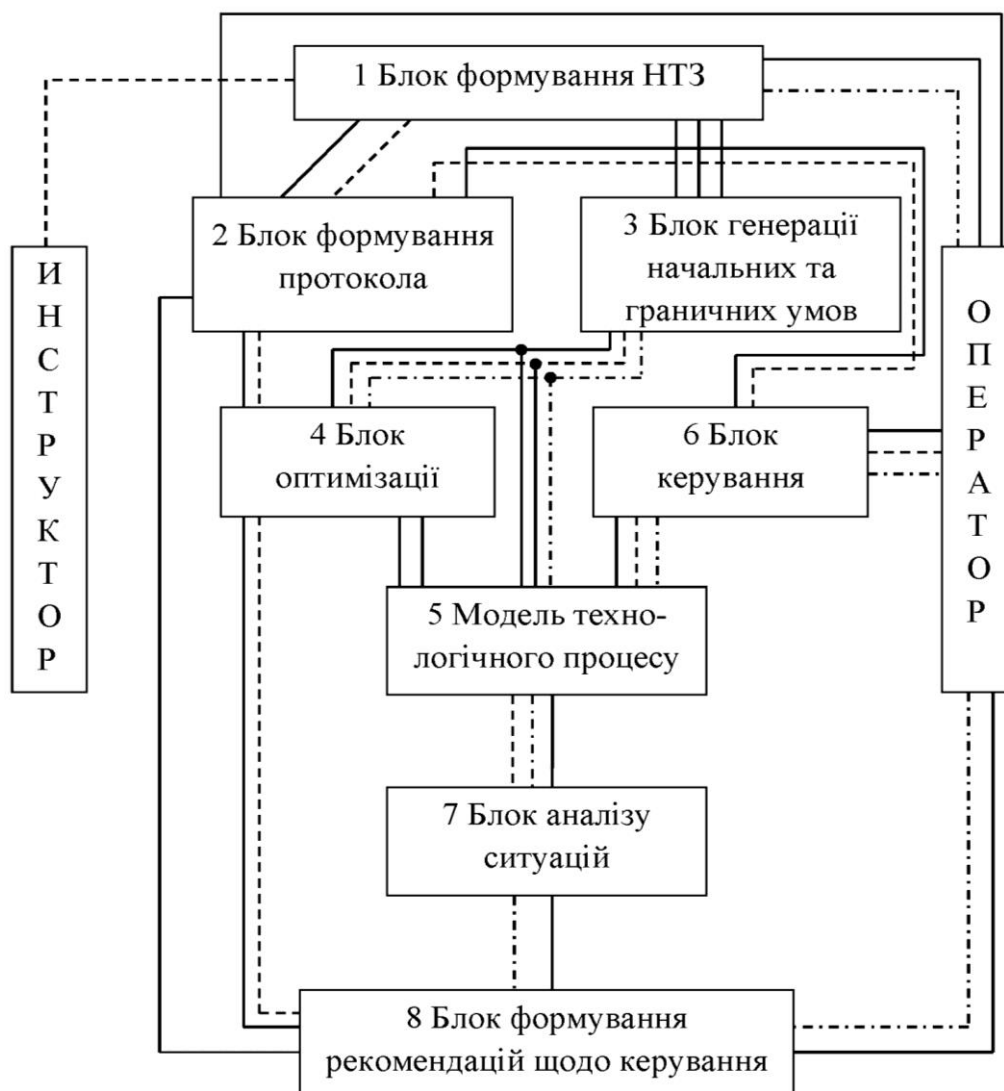


Рисунок 5 – Структура імітаційної навчаючої моделі

Суцільними лініями показана функціональна структура при режимі «Навчання», пунктирними – при режимі «Контроль», штрих-пунктирними – функціональна структура режиму «Дослідження».

Центральне місце в роботі тренажера займає досить універсальний алгоритм навчання диспетчерського персоналу, який може бути застосований при навчанні на різних сформульованих вище класах завдань. Алгоритм навчання реалізовано у вигляді компонента, керуючого діалогом між робітником, який навчається, та імітаційною моделлю. Навчання ведеться у термінах проблемної області та включає меню і питання, які потребують відповіді «ТАК / НІ», шаблони. Докладно описані всі блоки алгоритму та наведені різні вікна меню. Виконання кожного кроку діалогу супроводжується картинкою на екрані дисплею.

Розроблено структуру організації інформаційного забезпечення імітаційної навчаючої моделі, основою якої є дворівнева база даних (БД), що уможли-

лює реалізацію імітаційних моделей у вигляді цілісної системи самостійних завдань (автономних програм). Дворівнева БД може бути подана як розподілена інформаційна система, при цьому локальні БД повинні бути організовані на основі об'єктно-орієнтованого підходу.

Найбільш складною проблемою при розробці імітаційної навчальної моделі є створення моделей ТП, що забезпечують імітацію робочої обстановки диспетчера та його діяльності при керуванні у різних технологічних режимах .

Приклад вікна меню для дифузійного відділення цукрового заводу наведено на рис. 6.

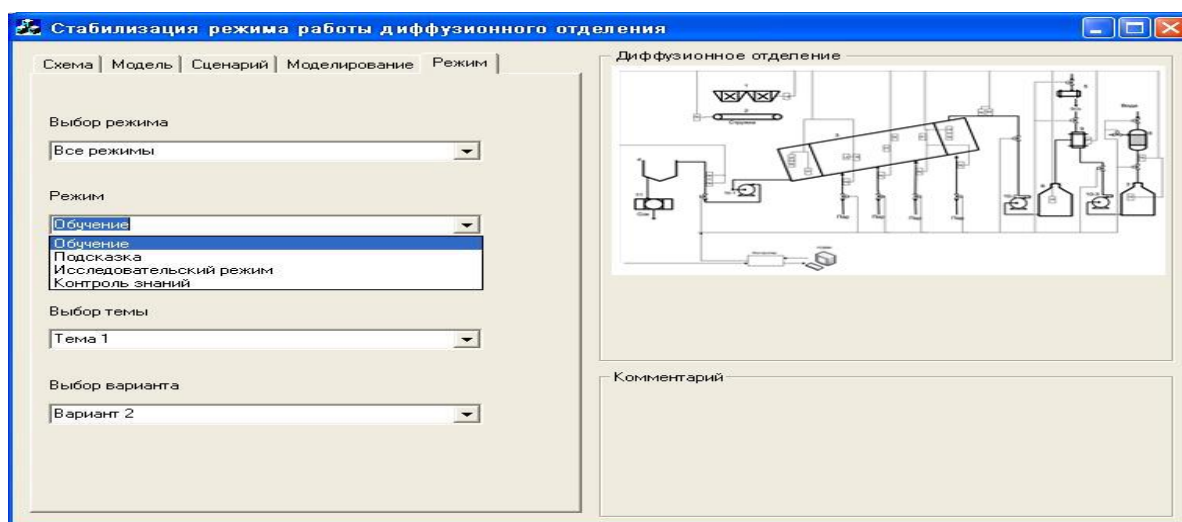


Рисунок 6 – Вікно меню відділення дифузії

Складність розробки моделі ТЗ для використання в імітаційній навчальній моделі, поряд з вирішенням питань вибору математичного апарату для опису фізичних процесів у перехідних та аварійних режимах експлуатації, ідентифікації параметрів, початкових і граничних умов, пов'язана також з вирішенням ряду питань, що мають велике значення в забезпеченні ефективності імітації.

У зв'язку з тим, що імітаційне моделювання є необхідним етапом дослідження ефективності як обраної архітектури ШНМ, так і вживаного алгоритму навчання мережі, розглянуто питання вибору ефективного нейросимулятора. Аналіз найбільш широко поширених симуляторів (SNNS 4.1, Trajan Neural Network Simulator 3.0, NeuroPro 0.25 і Neural Network Toolbox (v.4.0) для MATLAB (v.6.1)) показав, що кращим при моделюванні розглянутих ТП є застосування MATLAB (v.6.1). Тому в даній роботі всі дослідження ШНМ проводилися саме у середовищі MATLAB.

У відповідності з вимогами до побудови тренажерів для безперервних виробництв розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення модульного тренажера для операторів цукрового виробництва з використанням інтегрованої системи розробки GURU, російськомовна версія якої відома як експертна система ІНТЕР-ЕКСПЕРТ. Воно побудоване за блочно-модульним принципом, що дозволяє максимально уніфікувати тренажер та використовувати його для навчання операторів-технологів різних ТП.

Імітаційна навчаюча модель реалізована у вигляді комплексу програм самотійних завдань, що взаємодіють між собою через єдину базу даних. Комплекс включає у себе програмні модулі, що містяться у бібліотеці об'єктних файлів, та завантажувані модулі, що включені у бібліотеку образів завдань, а також інформаційні файли БД, які можна розділити на основні і допоміжні.

Описана дворівнева БД, що дозволяє реалізувати імітаційні моделі у вигляді цілісної системи самотійних завдань (автономних програм) та яку можна представити як розподілену інформаційну систему.

Проведені у роботі теоретичні дослідження та комп'ютерне моделювання довели принципову можливість застосування інтелектуального підходу для побудови математичних моделей та оптимізації ТП цукрового виробництва. Відповідно з результатами, отриманими в попередніх розділах, розроблені загальні принципи та структурна схема інтелектуального керування станціями головного корпусу Кириківського цукрового заводу. Основою системи є апаратно-програмне ядро, що включає інтерфейсну частину, сервер і монітор SCADA і реалізоване на основі спеціалізованого програмного забезпечення типу: Контур, Monitor Pro, Citect, Trace Mode. Розроблено схеми локальних АСУ ТП дифузійного, сокоочисного, випарного та кристалізаційного відділень цукрового заводу.

Наведено економічне обґрунтування створення АСУ ТП у ТОВ «Кириківський цукровий завод». Розрахунок економічної ефективності від впровадження результатів дисертаційної роботи на даному підприємстві показує, що економічний ефект становить 1081435 грн., а термін окупності складає 0,95 року.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі, відповідно до поставленої мети, вирішена актуальна науково-практична проблема створення теоретичних основ автоматизації процесів керування технологічними лініями цукрового виробництва, що функціонують в умовах суттєвої поточної невизначеності, на основі нейромережевого підходу.

У результаті проведених досліджень сформульовані та обґрунтовані такі наукові висновки та практичні результати:

1. Запропоновано новий метод синтезу моделей ТП цукрового виробництва на основі адаптивного підходу з урахуванням нестаціонарності розглянутих процесів, який автоматично налаштовує параметри моделей, що дозволяє спростити їх структуру, підвищити рівень узагальнення і збільшити швидкість роботи системи керування.

2. Запропоновано новий метод побудови нейромоделей ТП, що описані нелінійними різницевидами або диференціальними рівняннями, який на основі статичних ШНМ прямого поширення автоматично, за вибіркою даних, будує модель, яка адекватно відображає властивості об'єкта, що дозволяє підвищити ефективність процесу керування та рівень достовірності прогнозування ходу ТП.

3. Запропоновано новий метод синтезу нейромережевого та нейромережевого предикторного ПД-регуляторів, в яких на основі розробленого алгори-

тму керування в автоматичному режимі визначаються параметри цих регуляторів, що дозволяє спростити їх реалізацію та підвищити ефективність керування.

4. Запропоновано нову нейромережеву модель прогнозування ходу ТП на основі динамічного перцептрона, яка дозволяє більш адекватно відображати динамічні властивості досліджуваних ТП, що сприяє підвищенню точності прогнозування.

5. Удосконалено рекурентний метод побудови нестационарної регресійної моделі, призначений для роботи у контурі ідентифікації адаптивної системи керування в умовах, коли параметри об'єкта змінюються у часі, а корисні сигнали вимірюються із завадами.

6. Удосконалено організацію інформаційного та програмного забезпечення комп'ютерного тренажера за рахунок використання запропонованих методів щодо побудови блоків керування, оптимізації та синтезу моделей ТП, що дозволяє моделювати різні технологічні режими і забезпечує підвищення ефективності підготовки операторів ТП цукрового виробництва.

7. Отримав подальший розвиток метод керування динамічними об'єктами за допомогою їх статичних моделей, що дозволяє спростити процес побудови загальної моделі та її використання для оптимізації режимів роботи відділень цукрового виробництва.

8. Отримали подальший розвиток нейромережеві методи побудови традиційних нелінійних моделей Вінера та Гаммерштейна, які удосконалено шляхом застосування ШНМ прямого поширення з використанням простих процедур навчання, що дозволяє підвищити рівень автоматизації і швидкість процесу побудови моделей, а також поліпшити їх інтерпретованість.

9. Отримали подальший розвиток адаптивні моделі нестационарних ТП цукрового виробництва, які модифіковано шляхом використання для їх побудови рекурентних алгоритмів з підвищеною швидкістю збіжності, що дозволяє скоротити час побудови математичних моделей керованих процесів.

10. Розроблено програмно-алгоритмічне забезпечення комп'ютерного тренажера, побудоване за блочно-модульним принципом, що дозволяє максимально уніфікувати тренажер та використовувати його для навчання операторів-технологів ТП.

11. Розроблено загальні принципи та структурну схему інтелектуального керування станціями головного корпусу Кириківського цукрового заводу, які реалізують концепцію стандартизації і уніфікації апаратного та програмного забезпечення і взаємозаміни вимірювальної та перетворювальної апаратури, що дозволяє підвищити якість всієї продукції при зниженні її собівартості і енергоспоживання.

12. Наведено економічне обґрунтування створення АСУ ТП у ТОВ «Кириківський цукровий завод». Розрахунок економічної ефективності від впровадження результатів дисертаційної роботи для ТОВ «Кириківський цукровий завод» показує, що економічний ефект становить 1081435 грн., а термін окупності – 0,95 року.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ляшенко С. А. Об одном алгоритме обучения нейросетевой модели нелинейного динамического объекта / С. А. Ляшенко // Научно-технич. журнал „Бионика интеллекта”. – Харьков : ХНУРЭ. – 2004. – Вып. №1(61) – С. 107-110.
2. Ляшенко С.А. Построение линеаризированных математических моделей работы вакуум-аппаратов кристаллизационного отделения сахарного завода / С. А. Ляшенко // Научно-практический журнал. Агротехника и энергообеспечение. ФГБОУ ВПО Орловский ГАУ. – Орел, 2015. – № 5 (3). – С. 6-15.
3. Ляшенко С. А. О некоторых подходах к линеаризации математических моделей аппаратов технологических систем / С. А. Ляшенко, А.Н. Коваленко // Журнал ХНТУ «Проблеми інформаційних технологій». – 2009. – № 01 (005). – С. 51-54.
4. Куник Е. Г. Управление динамическим объектом с помощью его статической модели / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Научно-технический журнал «Радиоэлектроника и информатика». – Х. : ХНТУРЭ. – 2003. – №2. – С. 59-60.
5. Ляшенко С.А. Оценка модели псевдолинейной регрессии / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Науково-технічний журнал «Автоматика. Автоматизація. Електротехнічні комплекси та системи». Херсонський національний технічний університет. – Херсон, 2010. – № 1(25). – С. 36-40.
6. Ляшенко С. А. Моделирование интеллектуальной системы управления технологическими процессами сахарного производства / С. А. Ляшенко // Научно-практический журнал. Агротехника и энергообеспечение. ФГБОУ ВПО Орловский ГАУ. – Орел, 2014. – № 3 (3). – С. 6-15.
7. Куник Е. Г. Архитектура компьютерного тренажера для обучения операторов АСУ ТП / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Науковий журнал «Радіоелектроніка. Інформатика. Управління». – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2009. – № 1 (20). – С. 128-131.
8. Ляшенко С. А. Упрощение нелинейной модели Вольтерра / С. А. Ляшенко, Т. С. Сакало // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2008. – Вип. 68. – С. 206-210.
9. Ляшенко С. А. Нейросетевая реализация нелинейной модели Винера / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Вестник ХГТУ. – Херсон, 2005. – Вып. №1(21). – С. 48-51.
10. Ляшенко С. А. Построение нелинейной модели прогнозируемого процесса на основе принципа разделения / С. А. Ляшенко // Вестник ХНТУ. – Херсон, 2012. – №1(44) – С. 303-305.
11. Ляшенко С.А. Построение модели Гаммерштейна с помощью радиально-базисной сети / С. А. Ляшенко, Т. С. Сакало // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Харків, 2008. – Вип. 1(16). – С. 85-89.

12. Ляшенко С. А. Построение математической модели нелинейного процесса с помощью нормализованной радиально-базисной сети / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2006. – Вып. №1(24). – С. 32-35.
13. Ляшенко С. А. Об одной модификации радиально-базисной сети / С. А. Ляшенко // НАН України. Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем (МННЦ ІТС). Моделювання та керування станом еколого-економічних систем регіону: Зб. наук. праць. – 2006. – Вип. 3. – С. 172-179.
14. Ляшенко С. А. Построение модели нелинейного динамического объекта на основе модифицированной радиально-базисной сети / С. А. Ляшенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2007. – Вып. №4(27). – С.33-35.
15. Ляшенко С. А. Построение нелинейной ARX модели на основе радиально-базисной сети / С. А. Ляшенко // Зб. наук. праць. Комп'ютерне моделювання та інтелектуальні системи. КМИС-2007. За ред. д.т.н. Д. М. Пізи, к.т.н. С. О. Суботіна. – Запоріжжя: ЗНТУ. – 2007. – С.42-48.
16. Ляшенко С. А. Управлением нелинейным объектом на основе нейросетевой модели / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Сборник научных трудов. Автомобильный транспорт. – Харьков. – 2003. – Выпуск 13. – С. 272-274.
17. Ляшенко С. А. Синтез нейросетевого ПИД-регулятора для управления технологическими процессами производства сахара / С. А. Ляшенко // Вестник Херсонского национального технического университета. – Херсон, 2010. – Вып. №2(38). – С.430-433.
18. Ляшенко С. А. Построение линеаризированных математических моделей сокоочистительного оборудования сахарного производства / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Всеукраинский межведомственный научно-технический сборник. Автоматизированные системы управления и приборы автоматики. – ХНУРЭ. – Харьков, 2012. – Вып. 160. – С. 66-74.
19. Ляшенко С. А. Построение линейной регрессионной модели диффузионного отделения сахарного производства / С. А. Ляшенко // Вісник НТУ «ХП». – Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХП». – 2014. – № 55(1097). – С. 58-64.
20. Ляшенко С. А. О некоторых особенностях построения нелинейной модели Винера / С. А. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України». – Харків, 2008. – Вип. 73. – Т.2. – С. 93-95.
21. Ляшенко С. О. Решение задачи прогнозирования с помощью динамического персептрона / С. О. Ляшенко // НАН України. Інститут проблем моделювання в енергетиці. Моделювання та інформаційні технології: Зб. наук. праць. – Київ, 2007. – Вип.43. – С. 30-36.
22. Ляшенко С. А. Интеллектуальное управление технологическими процессами сахарного производства / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Motrol.

Commission of motorization and energetics in agriculture. – 2013. – Vol. 15, – №7. – Lublin-Rzeszow. – P. 145-150.

23. Ляшенко С. А. Оптимизация управления сложными технологическими процессами в сахарном производстве на основе применения нейросетевых регуляторов / С. А. Ляшенко // Вестник ХНТУ. – 2011. – №2(41). – С. 412-415.

24. Ляшенко С. А. Усовершенствование автоматизированной системы управления диффузионного отделения сахарного завода с помощью нейросетевого подхода / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Motrol. Motorization and power industry in agriculture. – 2009. – Vol. 11A. – Simferopol-Lublin. – P. 207-209.

25. Ляшенко С. А. Синтез нейросетевых подходов управления сложными динамическими процессами в сахарном производстве / С. А. Ляшенко // Вісник НТУ «ХПІ». – Збірник наукових праць. Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. – Х. : НТУ «ХПІ». – 2014. – № 61(1103). – С. 30–39.

26. Ляшенко С. А. Адаптивное управление безопасными технологическими процессами диффузионного отделения сахарного производства / С. А. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Харків, 2014. – Вип. 148. – С. 520-527.

27. Ляшенко С. А. О некоторых подходах повышения эффективности АСУ ТП сахарного производства / Ляшенко С.А., Ляшенко А.С., Беляева И.С. // Вестник Херсонського національного технічного університета. – Херсон, 2013. – №1(46). – С. 319-323.

28. Ляшенко С. А. Выбор автоматизированных режимов работы выпарной установки сахарного завода / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко, А. С. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2010. – Вип. 106. – С. 217-231.

29. Ляшенко С. А. Обоснование автоматического регулирования производственных процессов сахарных заводов / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». – Харків, 2009. – Вип. 88. – С. 104-109.

30. Ляшенко С. А. Определение структурной зависимости основных технологических показателей в автоматизированной системе управления сахарного завода заводов / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Механізація сільськогосподарського виробництва». – Харків, 2013. – Вип. 135. – С. 498-506.

31. Ляшенко С. А. Анализ эксплуатационных параметров оборудования диффузионного отделения сахарного завода / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко, И. С. Беляева, А. С. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічний сервіс

АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2012. – Вип. 131. – С. 98-106.

32. Ляшенко С. А. Об одном подходе получения нестационарной прогнозной модели динамических объектов / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, И. С. Беляева, Р. Н. Чапча // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Технічний сервіс АПК, техніка та технології у сільськогосподарському машинобудуванні». – Харків, 2009 – Вип. 81. – С.39-44.

33. Ляшенко С. А. Особенности применения нейросетевых технологий для автоматизации технологических процессов сахарного производства / С. А. Ляшенко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х. : Харківський університет Повітряних сил імені Івана Кожедуба, 2014. – Вип. 2(39). – С. 214-217.

34. Ляшенко С. А. Повышение производительности и улучшение условий труда в диффузионном отделении сахарного завода / С. А. Ляшенко // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка «Сучасні напрямки технології та механізації процесів переробних і харчових виробництв». – Харків, 2014. – Вип. 152. – С. 65-75.

35. Ляшенко С. А. Адаптивное управление технологическими процессами диффузионного отделения сахарного производства / С. А. Ляшенко // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам четвертой Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 23-25 апреля 2014 г. в 2-х томах. Том 1. – Смоленск : Смоленский филиал Российского университета кооперации, 2014. – С. 120-126.

36. Ляшенко С. А. Создание информационно-аналитической системы управления сахарным производством / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, А. А. Герашенко, К. В. Карташов // Информатика, математическое моделирование, экономика: Сборник научных статей по итогам третьей Международной научно-практической конференции, г. Смоленск, 22 апреля 2013 г. В 3-х томах. Том 3 – Смоленск: Смоленский филиал АНО ВПО ЦС РФ «Российский университет кооперации», 2013. – С. 124-127.

37. Ляшенко С. А. Об одной модификации радиально-базисной сети. / С. А. Ляшенко // Міжнародна наукова конференція «Інтелектуальні системи прийняття рішень та прикладні аспекти інформаційних технологій». Збірка наукових праць у чотирьох томах. Т.2. «ISDMIT» -2006. – Розділ 4. – Нейромереві технології. – Євпаторія. – 2006. – С. 233-235.

38. Ляшенко С. А. Об одном подходе к построению нейросетевой модели нелинейного объекта / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Труды 7-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные технологии» "СИЭТ-2006". – 22-26 мая 2006. – г. Одеса. – Т. 1. – С. 95.

39. Ляшенко С. А. Прогнозирование временных рядов с помощью радиально-базисных сетей / С. А. Ляшенко // Труды 6-й Международной научно-практической конференции «Современные информационные и электронные технологии» "СИЭТ-2005". – 23-27 мая 2005. – г. Одесса. – С. 209.

40. Ляшенко С. А. Локально-рекуррентная сеть для прогнозирования случайных последовательностей / С. А. Ляшенко // Вторая международная научная конференции «Современные информационные системы. Проблемы и тенденции развития»: Сб. материалов конференции. – Харьков : ХНУРЭ, 2007. – С. 471-472.

41. Ляшенко С. А. Обучение радиально-базисных сетей на основе устойчивого модифицированного фильтра Калмана / С. А. Ляшенко // Проблеми інформатики і моделювання. Матеріали сьомої міжнародної науково-технічної конференції. – Х.: НТУ «ХП», 2007. – С. 30.

42. Ляшенко С. А. Линеаризация математических моделей сокоочистительного оборудования сахарного производства / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко, А. М. Фесенко // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Севастополь, 3-7 вересня 2012 р./ М-во освіти і науки, молоді та спорту України; Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. В. Я. Копп. – Севастополь: СевНТУ, 2012. – С. 219-220.

43. Куник Е. Г. Оценка точности управления динамическим объектом с помощью его статической модели / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Тезисы докладов Международной научной конференции «Теория и техника передачи, приёма и обработки информации». – Харьков-Туапсе. – 2003. – С. 431-432.

44. Ляшенко С. А. Оценка параметров модели псевдолинейной регрессии / С. А. Ляшенко // 1-а міжнародна конференція «Глобальні інформаційні системи. Проблеми та тенденції розвитку». Зб. матеріалів конференції. – Харків: ХНУРЕ, 2006. – С. 197-198.

45. Ляшенко С. А. Об одном алгоритме оценивания параметров модели псевдолинейной регрессии / С. А. Ляшенко // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнародної наукової конференції. – Том 2. – Херсон: ХНТУ, 2010. – С. 101-103.

46. Ляшенко С. А. О нейросетевом подходе к созданию АСУ ТП сахарного производства / С. А. Ляшенко // Матеріали четвертої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління». – Полтава: ПНТУ; Баку: ВА ЗСАР; Белгород: «БелДУ»; Кіровоград: КЛА НАУ; Харків: ДП «ХНДІ ТМ», 2014. – С. 23.

47. Коваленко А.Н. Адаптивное управления технологическими процессами на основе их линеаризированных моделей / А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними комплексами : прогр. і матеріали Міжнар. наук.-техн. конф., 26-27 листоп. 2009 р. – К. : НУХТ, 2009. – С. 74-75.

48. Ляшенко С. А. Построения математических моделей в системе автоматизированного управления сокоочистительным отделением сахарного завода / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко // Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-

комунікаційних технологій та засобів управління». – К.: ДП «ЦНДІ НіУ»; Х.: ДП «ХНДІ НіУ ТМ»; К.: КДАВТ, 2011. – С. 54-55.

49. Ляшенко С. А. Создание человеко-машинного интерфейса для диспетчеризации и управления сахарным производством / С. А. Ляшенко, А. М. Фесенко, А. С. Ляшенко, Ю. Е. Ромашевская // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: матеріали міжнародної наукової конференції. – Том 2. – Херсон: ХНТУ, 2011. – С. 56-59.

50. Ляшенко С. А. Усовершенствование процесса обучения операторов автоматизированных систем управления в производстве сахара / С. А. Ляшенко // Інформаційні технології в навігації і управлінні; стан та перспективи розвитку. Матеріали другої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2011. – С. 36.

51. Куник Е. Г. Построение упрощенных моделей сложных технологических процессов для тренажерных систем / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Тези доповідей IV Міжнар. наук.-практичної конференції «Сучасні проблеми і досягнення в галузі радіотехніки, телекомунікацій та інформаційних технологій». – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – С. 190-192.

52. Куник Е. Г. Организация информационного и программно-алгоритмического обеспечения компьютерного тренажера / Е. Г. Куник, А. Н. Коваленко, С. А. Ляшенко // Сб. научн. трудов 3 Междунар. радиоэлектронного форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». МРФ-2008. Том 5. «Информационные компьютерные технологии и системы». – Харьков, 2008. – С. 137-139.

53. Ляшенко С. А. Интеллектуальный подход к управлению технологическими процессами сахарного производства / С. А. Ляшенко, А. С. Ляшенко // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення : матеріали міжнар. наук.-техн. конф. Севастополь, 9-13 вересня 2013 р./М-во освіти і науки України; Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. В. Я. Копп – Севастополь: СевНТУ, 2013 – С. 114-116.

54. Ляшенко С. А. Анализ эффективности применения нейроуправления при автоматизации технологических процессов / С. А. Ляшенко // Інформаційні технології в навігації і управлінні; стан та перспективи розвитку. Матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції. – К.: ДП «ЦНДІ НіУ», – 2010. – С. 60.

55. Ляшенко С. А. Синтез нейросетевого управления многосвязными технологическими процессами сахарного производства / С. А. Ляшенко // Сучасні напрями розвитку інформаційно -комунікаційних технологій та засобів управління. Матеріали першої науково-технічної конференції. – Х.: ДП «ХНДІ ТМ»; К.: ДП «ЦНДІ НіУ», 2010. – С. 80.

56. Ляшенко С. А. Автоматизация технологических процессов сахарного производства / С. А. Ляшенко // Автоматизація: проблеми, ідеї, рішення: матеріали між нар. наук.-техн. конф. Севастополь, 5-9 вересня 2011 р. / М-во освіти і науки, молоді та спорту України; Севастоп. нац. техн. ун-т; наук. ред. В. Я. Копп – Севастополь: СевНТУ, 2011. – С.63-65.

57. Ляшенко С. А. Автоматизация технологических процессов сахарного производства на основе нейросетевого подхода / С. А. Ляшенко // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: материалы междунар. науч. техн. конф. Севастополь, 6-10 сент. 2010 г. / М-во образования и науки Украины, Севастоп. нац. техн. ун-т ; науч. ред. Копп В. Я. – Севастополь: Сев-НТУ, 2010. – С.92–94.

58. Ляшенко С. А. Синтез нейросетевых динамических моделей технологических процессов сахарного производства / С. А. Ляшенко // Материалы международной научной конференции: Интеллектуальные системы принятия решений и проблемы вычислительного интеллекта.– Херсон: ХНТУ, 2012. – С. 119.

АНОТАЦІЯ

Ляшенко С. О. Автоматизація процесів керування технологічними відділеннями цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків, 2015.

Дисертаційна робота присвячена важливій науково-технічній проблемі автоматизації процесів керування відділеннями цукрового виробництва шляхом синтезу адаптивних систем керування, які базуються на використанні моделей та методів адаптивного та інтелектуального керування з урахуванням характеру невизначеностей об'єктів класу, що розглядається.

Вперше запропоновано: метод синтезу моделей ТП цукрового виробництва на основі адаптивного підходу з урахуванням нестационарності процесів, метод побудови нейромережевих моделей ТП на основі статичних штучних нейронних мереж прямого поширення, метод синтезу нейромережевого та нейромережевого предикторного ПД-регуляторів, нейромережева модель прогнозування ходу ТП на основі динамічного перцептронну. Удосконалено рекурентний метод побудови нестационарної регресійної моделі та організацію інформаційного та програмного забезпечення комп'ютерного тренажера. Одержали подальший розвиток: метод керування динамічними об'єктами за допомогою їх статичних моделей та отримано оцінки виникаючих при цьому втрат, нейромережеві методи побудови традиційних нелінійних моделей Вінера та Гаммерштейна, що дозволяє покращити інтерпретованість моделей, адаптивні моделі нестационарних ТП цукрового виробництва, які використовують рекурентні алгоритми з підвищеною швидкістю збіжності, що дозволяє скоротити час побудови математичних моделей об'єктів. Розроблені в дисертації моделі та методи дозволяють забезпечити нові проектні рішення щодо автоматизації процесів керування ТП цукрового виробництва.

Ключові слова: автоматизована система керування, цукрове виробництво, модель технологічного процесу, штучна нейронна мережа, алгоритм навчання, система інтелектуального керування, параметрична та структурна ідентифікація, фільтрація, адаптивне керування, прогнозування, модульний тренажер.

АННОТАЦИЯ

Ляшенко С. А. Автоматизация процессов управления технологическими отделениями сахарного производства на основе нейросетевого подхода. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, Министерство образования и науки Украины, Харьков, 2015.

Диссертационная работа посвящена важной научно-технической проблеме автоматизации процессов управления отделениями сахарного производства путем синтеза адаптивных систем управления, основанных на применении моделей и методов адаптивного и интеллектуального управления с учетом характера неопределенностей объектов рассматриваемого класса.

Впервые предложен метод синтеза моделей ТП сахарного производства на основе адаптивного подхода с учётом нестационарности рассматриваемых процессов, который в отличие от существующих описаний автоматически настраивает параметры моделей, что позволяет упростить их структуру, повысить уровень обобщения и увеличить скорость работы системы управления. Впервые предложен метод построения нейросетевых моделей ТП, динамика которых описывается нелинейными разностными или дифференциальными уравнениями, позволяющий на основе статических ИНС прямого распространения автоматически строить модели, адекватно отражающие свойства объекта, что обеспечивает повышение эффективности процесса управления и прогнозирования хода ТП. Впервые предложен метод синтеза нейросетевого и нейросетевого предикторного ПИД-регуляторов, в которых, в отличие от существующих методов синтеза, на основе разработанного алгоритма управления в автоматическом режиме определяются параметры этих регуляторов, что позволяет упростить их реализацию и повысить эффективность управления. Впервые предложена нейросетевая модель прогнозирования хода ТП на основе динамического персептрона, позволяющая более адекватно отражать динамические свойства исследуемых ТП, что способствует повышению точности прогнозирования. Усовершенствован рекуррентный метод построения нестационарной регрессионной модели, предназначенный для работы в контуре идентификации адаптивной системы управления, позволяющий получать адекватные математические модели в условиях, когда параметры объекта изменяются во времени, а полезные сигналы измеряются с помехами. Усовершенствована организация информационного и программного обеспечения компьютерного тренажера для подготовки операторов ТП сахарного производства за счет применения предложенных методов и моделей. Предложен обобщенный алгоритм обучения на тренажере, реализованный в виде компонента, управляющего диалогом между обучаемым и имитационной моделью. Получил дальнейшее развитие метод управления динамическими объектами с помощью их статических моделей, что позволяет упростить процесс построения общей модели и использовать её для оптимизации режимов работы отделений сахарного производства, нейросетевые методы построения традиционных нелинейных моделей Винера и Гаммерштейна, которые усовершенствованы путём применения ИНС прямого распространения с

использованием простых процедур обучения, что позволяет увеличить уровень автоматизации и скорость процесса построения моделей, а также улучшить их интерпретируемость. Получили дальнейшее развитие адаптивные модели нестационарных ТП сахарного производства, которые в отличие от существующих используют рекуррентные алгоритмы с повышенной скоростью сходимости, что позволяет ускорить время построения математических моделей управляемых процессов. Разработано программно-алгоритмическое обеспечение модульного тренажера, позволяющее максимально унифицировать тренажер и использовать его для обучения операторов-технологов различных ТП.

Ключевые слова: автоматизированная система управления, сахарное производство, модель технологического процесса, искусственная нейронная сеть, алгоритм обучения, система интеллектуального управления, параметрическая и структурная идентификация, фильтрация, адаптивное управление, прогнозирование, модульный тренажер.

ABSTRACT

Lyashenko S. Automation of technological branches control sugar production based on neural network approach. - Manuscript.

A thesis for the degree of doctor of technical sciences on speciality 05.13.07 – automation of processes control. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Sciences of Ukraine, Kharkov, 2015.

The thesis is devoted to important scientific and technical problem of automation control processes offices sugar production by synthesis of adaptive control systems based on the use of models and methods for adaptive and predictive control, given the nature of uncertainties class objects in question.

First proposed: a method of synthesis models of the technological process of the sugar production based on adaptive approach taking into account the non-stationary processes, a method of constructing neural network models of the process based on static neural networks of direct distribution method of synthesis of neural and neural predictive PID-regulators, neural network model predicting the technological process based on dynamic perceptron. Improved recursive method of constructing unsteady regression model and the organization of information and computer software simulator. Further developed: the method of control of dynamic objects through their static models and assess emerging obtained with the loss of traditional neural network methods for constructing nonlinear models Wiener and Hammerstein, which improves the interpretation model, adaptive model of non-stationary processes sugar production using recurrence algorithms with high speed of convergence, which reduces the time of construction of mathematical models of objects. Developed in theses models and methods allow for new design decisions on process automation process control sugar production.

Keywords: automated control system, sugar production, model of technological process, artificial neural network, learning algorithm, the system of intellectual control, parametric and structural identification, filtering, adaptive control, predicting, modular simulator.