

ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертацію ЛЯШЕНКА Сергія Олексійовича

“Автоматизація процесів керування технологічними відділеннями цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу”,

яка подана на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 –автоматизація процесів керування

Актуальність теми дослідження

Відносно низький рівень ефективності цукрового виробництва в Україні, у порівнянні з західними виробниками цукру, вимагає приділяти увагу питанням організації виробничих процесів, енергоспоживання та застосування ефективних технологій для цукрового виробництва.

На цей час актуальним з усіх точок зору є ефективне застосування сучасних АСУ ТП для цукрового виробництва, які можна адаптувати до різноманітних автоматизованих систем керування технологічними процесами, що мають місце на заводах України. Крім того постійні зміни в технології виробництва цукру в залежності від таких змінних параметрів як якість сировини, що переробляється, час проведення технологічного процесу, а також зміни режимів роботи відділень вимагають застосування сучасних підходів до систем керування цими процесами. Виходячи з аналізу проблеми найбільш ефективним є нейромережевий підхід, що дасть можливість втілити ефективне керування технологічними лініями цукрового виробництва.

Важливою складовою при створенні автоматизованих систем керування технологічними процесами цукрового виробництва є розробка теоретичних основ автоматизації для реальних умов функціонування. Застосування технологій штучного інтелекту для керування технологічними відділеннями цукрових заводів, що розглянуті у дисертаційній роботі Ляшенка С.О., є актуальними, особливо при сучасному рівні комп'ютеризації виробництва, а також є перспективною альтернативою класичним методам ідентифікації та керування нелінійними об'єктами, якими є обладнання та технологічні процеси у відділеннях заводу.

Основні практичні та теоретичні результати по керуванню технологічними безперервними процесами автор отримав при виконанні держбюджетних та госпдоговірних науково-дослідних робіт, виконаних в Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П Василенка.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій

Дослідження, які проведено у рамках рецензованої дисертаційної роботи, мають належний ступінь обґрунтованості; припущення і положення, на яких ґрунтується побудова запропонованих моделей та методів, є достатньо зваженими та коректними. Запропоновані у роботі методи синтезу моделей та систем керування обґрунтовано проведеними дослідженнями.



Розроблені у дисертаційній роботі методи та моделі, що дають можливість забезпечити ефективність керування технологічними процесами (ТП) базуються на застосованих методах теорії експерименту, теорії систем управління, теорії ідентифікації, побудови штучних нейронних мереж (ШНМ) та імітаційного моделювання.

Ефективність і достовірність отриманих теоретичних та експериментальних результатів підтверджується актами впровадження у виробництво. Крім того, матеріали дисертації проходили апробацію на різних міжнародних наукових конференціях, форумах та семінарах.

Наукова новизна результатів роботи

У ході виконання досліджень встановлено й сформульовано наукову новизну одержаних результатів, яка зводиться до наступного:

– 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.

– уперше запропоновано метод побудови нейромоделей ТП, що описані нелінійними різницевиими 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.

– запропоновано новий метод синтезу нейромережевого та нейромережевого предикторного ПД-регуляторів, в яких на основі розробленого алгоритму керування в автоматичному режимі визначаються параметри цих регуляторів, що дозволяє спростити їх реалізацію та підвищити ефективність керування.

– уперше запропоновано нейромережеву модель прогнозування ходу ТП на основі динамічного персептрона, яка дозволяє більш адекватно відображати динамічні властивості досліджуваних ТП, що сприяє підвищенню точності прогнозування.

– удосконалено рекурентний метод побудови нестаціонарної 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 побу-

дови загальної 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 з 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

Наукове й практичне значення роботи.

Наукове значення дисертаційної роботи полягає у вирішенні 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.

Теоретична значимість отриманих С.О. Ляшенко результатів полягає у розробці методів синтезу систем керування ТП на основі нейромережевого підходу. Практична значимість результатів дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблені універсальні методи та моделі синтезу дають можливість вирішувати задачі автоматичного керування динамічними нестационарними процесами, які характерні для ТП цукрового виробництва, в умовах відсутності повної інформації про статистичні властивості зовнішніх збурень.

Суттєвий науковий та практичний інтерес становлять і отримані у роботі результати досліджень властивостей і характеристик розроблених методів, які показали, що запропоновані нейромережеві методи та моделі за рахунок використання додаткової інформації про об'єкт дозволяють скоротити процес синтезу адаптивної системи керування. Приведене у роботі техніко-економічне обґрунтування запропонованих розробок дисертаційної роботи для ТОВ «Кириківський цукровий завод» дозволяє рекомендувати запропоновані методи та моделі для використання на практиці у автоматизованих системах керування ТП. Синтезовані у дисертаційній роботі структури, методи та моделі можуть використовуватись при розробці систем керування динамічними об'єктами, а також при створенні тренажерних систем для функціонування при підготовці операторів АСУ ТП.

Достовірність запропонованих теоретичних та практичних положень дисертаційної роботи підтверджено впровадженням результатів досліджень у ТОВ «Кириківський цукровий завод». Крім того, у ТОВ «Кириківський цукровий завод», ТОВ «Сільськогосподарське підприємство «Білий колодязь» та ТДВ «Новоіванівський цукровий завод» було втілено методику проведення інтелектуальної ідентифікації параметрів технологічних процесів цукрового виробництва на базі нейромережевого підходу.

Наукові розробки, викладені у дисертаційній роботі, використані у навчальному процесі у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка.

Структура дисертаційної роботи та її основний зміст

Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, списку використаних джерел, висновків, 9 додатків. Повний обсяг роботи складає 417 сторінок. Загалом дисертація має логічну структуру, її мова відповідає рівню науково-технічних видань.

У **вступі** показано актуальність роботи та її зв'язок з науково-дослідними програмами. Сформульовано мету й завдання досліджень, наведено наукову новизну та практичне значення проведених досліджень, визначено здобутки здобувача і його особистий внесок у публікаціях, які було ним виконано у співавторстві, апробацію роботи, кількість та якість публікацій.

У **першому розділі** дисертаційної роботи здобувачем зроблено аналіз стану автоматизації керування ТП у виробництві цукрової продукції. Розглянуто існуючі методи та моделі, що використовуються у різноманітних системах керування, їх ефективність при використанні у реальних умовах. Проведено аналіз існуючих пропорційно-інтегральних і пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІ- і ПІД-регулятори), які отримали найбільше розповсюдження у виробництві. Наведено переваги даних регуляторів, а також їхні недоліки, в результаті чого отримали розвиток методи адаптивного керування.

У розділі розглянуто проблеми побудови математичних моделей різноманітних об'єктів, що мають місце у виробництві. На основі аналізу розглянутих адаптивних систем керування, що найбільш підходять до керування в АСУ ТП, обґрунтовано використання для автоматизації ТП цукрового виробництва інтелектуальних технологій, зокрема ШНМ та застосування нейромережевого підходу як основи для створення систем керування технологічними лініями цукрового виробництва. В результаті здобувачем запропоновано удосконалити існуючі та створити нові методи побудови систем керування на основі нейронних мереж, що дає можливість підвищити якість роботи систем автоматизації основних відділень цукрового виробництва.

У **другому розділі** дисертаційної роботи наведено технологію виробництва цукру, її особливості, і розглянуто різноманітні підходи до автоматизованих систем керування, що використовуються у виробництві цукрової продукції.

На основі аналізу обладнання та схем переробки сировини визначено основні режими роботи, які характерні для цукрових заводів України та типові системи автоматизованого керування технологічними процесами, що мають місце у основних виробничих відділеннях цукрових заводів.

Визначено особливості систем автоматизації відділень заводу і відповідно основні вимоги до систем автоматизації відділень, що забезпечують отримання максимального ефективного виходу продукції.

Розглянуто питання вибору та обґрунтуванню критерія оптимальності системи виробництва цукрової продукції. При цьому було визначено основні параметри та фактори, що впливають на ефективність технологічних процесів, які здійснюються в основних відділеннях цукрового заводу.

Розроблені у розділі підходи оптимізації дають можливість обґрунтовано вибрати критерій оптимізації, що дає можливість отримати відповідно і модель об'єкта, в результаті чого підвищується рівень керування при автоматизації ТП цукрового виробництва.

Отримано критеріальні залежності між оптимальними діагностичними та регульовальними параметрами ТП, які відбуваються при переробці цукрової сировини на заводі.

У третьому розділі розглянуто питання синтезу адаптивного керування ТП на основі лінійних моделей.

На основі проведеного статистичного аналізу та використання кореляційних методів були визначені зв'язки між вхідними та вихідними параметрами основних ТП у відділеннях заводу та побудовані регресійні моделі.

Проведений аналіз отриманих моделей показав їх недоліки при застосуванні цих моделей щодо динамічних об'єктів, що мають місце у цукровому виробництві. Тому було розглянуто традиційний підхід щодо побудови моделей, що базується на використанні рівнянь матеріального та енергетичного балансів, які можуть відображати динаміку процесів переробки продукції.

Зазначено, що приведення динамічних моделей до моделей у просторі станів дає можливість використовувати багатовимірні оптимальні регулятори, що здійснюють керування цими моделями, але синтез таких регуляторів важко здійснити у зв'язку з тим, що для цього треба мати багато апріорної інформації про об'єкти та про статистичні властивості корисних сигналів і завад. Враховуючи ці складності, зазначається потреба використання спрощень, зокрема лінеаризації моделей, що й стало основою для дослідження можливості управління розглянутими динамічними об'єктами за допомогою їх статичних моделей.

Запропоновано використання адаптивного підходу при керуванні цими процесами для врахування нестационарності параметрів ТП. Адаптивний підхід характеризується введенням у контур керування ідентифікатора, що працює по відповідному алгоритму. Для підвищення ефективності керування запропоновано алгоритм прискореної ідентифікації, використання якого разом з алгоритмом керування дає можливість підвищити якість процесу переробки продукції.

У четвертому розділі розглянуто питання інтелектуальної ідентифікації ТП цукрового виробництва.

Здобувачем визначено структуру нейромережових моделей багатовимірної ідентифікації, обрано методи параметризації та досліджено основні робочі параметри основних ТП цукрового виробництва, які необхідно ідентифікувати. В розділі приділено увагу питанням побудови нейромережових аналогій моделей Вінера і Гаммерштейна на основі багатошарового перцептронів (БШП) та радіально-базисної мережі (РБМ).

На основі отриманих одновимірних моделей Гаммерштейна в розділі наведено розроблені багатовимірні адитивні та мультиплікативні нейромережеві моделі, які можна використовувати для об'єктів з багатьма входами. Використання при цьому еквівалентного опису у вигляді рівняння псевдолінійної регресії дозволяє використовувати для навчання мереж алгоритм МНК.

Комп'ютерне моделювання роботи нейромережевих моделей основних ТП виробництва, заснованих на БШП та РБМ, підтвердило ефективність запропонованого підходу.

П'ятий розділ присвячено питанням синтезу інтелектуальних систем для автоматизованого керування основними технологічними процесами цукрового виробництва на основі нейромережевого підходу.

Здобувачем розглянуто два основних методи адаптивного керування динамічними об'єктами (прямий та непрямий). Прямий – використовується одна ШНМ, що реалізує нейроконтролер, непрямий - дві ШНМ, одна реалізує нейроконтролер, друга - ідентифікатор.

Здобувачем синтезовано схеми нейрокерування для ПД-регулятора на базі БШП і РБМ, а також показано, що реалізація розглянутих схем є простою і не вимагає додаткової інформації про властивості об'єкта і завади.

Розглянуто предикторне керування, що дає можливість на основі поточної інформації здійснювати прогнозування значень вихідних сигналів об'єкта, яке і служить основою для пошуку оптимальних законів керування. Для цього розроблено нові процедури предикторного нейро ПД-керування.

В роботі розглянуто використання локально-рекуррентного перцептронну, при побудові якого застосовуються динамічні нейрони, що містять БХ-фільтри, а для навчання мережі запропоновано алгоритм, який є однією з модифікацій методу зворотного розповсюдження помилки.

Проведено імітаційне моделювання запропонованих схем нейромережевого керування з використанням ППП Neural Network Toolbox. Досліджено процес адаптивного нейромережевого керування нелінійними динамічними об'єктами у різних умовах та показана ефективність використання алгоритму Левенберга-Марквардта. По результатах моделювання зроблено висновок щодо доцільності використання при керуванні ТП NARMA - L2 Controller.

У **шостому розділі** здобувачем розглянуто організацію інформаційного та програмно-алгоритмічного забезпечення комп'ютерного тренажера для підготовки персоналу, що працює в АСУ ТП цукрового виробництва.

Для вирішення виробничих завдань запропоновано тренажер, в основі якого лежить імітаційна навчальна модель, яка орієнтована як на навчання персоналу, що працює з АСУ ТП цукрового заводу. В роботі наведена блокова функціональна структура модульного тренажера, яка включає в себе основну керуючу програму, редактор, інтерпретатор введення-виведення, базу даних, імітатор і програму керування навчанням, що реалізує алгоритм навчання для різних режимів роботи автоматизованого навчального комплексу.

Для імітаційного моделювання обраної архітектури ШНМ та для алго-

ритму навчання мережі, яка використовується, розглянуто питання вибору ефективних нейросимуляторів.

У результаті проведених у дисертаційній роботі теоретичних досліджень та за допомогою застосованого комп'ютерного моделювання було доведено принципову можливість застосування інтелектуального підходу для побудови математичних моделей. Згідно з результатами, що отримані в дисертації, була здійснена розробка загальних принципів та структурної схеми інтелектуального керування технологічними відділеннями Кириківського цукрового заводу.

Ефективність дисертаційної роботи підтверджена у виконаних НДР, що були проведені у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка. Економічне обґрунтування при створенні АСУ ТП у ТОВ «Кириківський цукровий завод» підтверджено розрахунками економічної ефективності від впровадження запропонованих розробок дисертаційної роботи на даному підприємстві показує, що економічний ефект склав 1081435 грн., при терміні окупності 0,95 року.

У **висновках** здобувачем наведено отримані у роботі нові наукові теоретичні та практичні результати, визначено їх новизну та практичну значимість.

У **додатках** наведено додатковий матеріал у вигляді таблиць та рисунків, що доповнюють та ілюструють матеріал основної частини дисертації, допоміжні теоретичні результати, результати експериментальних досліджень розроблених методів і програмних засобів, технологічних режимів роботи відділень, а також копії актів щодо впровадження результатів дисертаційної роботи.

Повнота викладених результатів дисертаційної роботи в опублікованих працях

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

Наукові положення і висновки дисертації відображені у публікаціях достатньо рівномірно. Автореферат містить всі основні положення дисертації, а також всю інформацію, необхідну для оцінювання рецензованої роботи.

Матеріали викладені здобувачем у докторській роботі не мають перетинань з виконаною ним кандидатською дисертацією.

Всі положення та результати дисертації отримані здобувачем особисто і повністю викладені в опублікованих наукових роботах.

Зміст автореферату у повній мірі відповідає змістові дисертації.

Зауваження щодо дисертації

До рецензованої дисертаційної роботи можна навести наступні зауваження:

1. У вступі слід було б більш докладніше визначити особистий внесок здобувача у роботах, які виконано у співавторстві.
2. Дисертаційна робота у першому та п'ятому розділах перевантажена матеріалами, які носять оглядовий характер і ряд термінів, що застосовано у матеріалах роботи, носить загальний характер.
3. В роботі, у першому розділі, відсутній детальний аналіз та недостатньо повно зазначені принципіальні недоліки відомих розробників АСУ ТП у цукровій галузі.
4. Визначення критеріальної залежності між основними діагностичними, регульованими та вихідними показниками носить загальний характер, а вони можуть з часом, в залежності від ходу ТП, змінюватись, що може призвести і до зміни показників.
5. Матеріали, наведені в третьому розділі, мають загальновідомий характер (3.1), не зовсім зрозумілою є необхідність розробки регресійних моделей.
6. Деякі матеріали третього розділу дисертації (3.3) щодо отримання динамічних математичних моделей ТП, слід було б винести у додатки, бо підхід до побудови ідентичний і не має необхідності отримувати моделі для кожного відділення і виносити їх у основну частину роботи.
7. У четвертому розділі наведено занадто багато матеріалу, щодо класичних підходів до питань ідентифікації параметрів технологічних процесів та моделей, що застосовуються.
8. У п'ятому розділі дисертації слід було б приділити більше уваги особливостям запропонованих адаптивних нейромережевих систем керування.
9. Бажано б було приділити більше уваги питанням практичного втілення результатів досліджень у виробниче середовище цукрового заводу.
10. Робота має незначні відхилення від вимог по оформленню дисертаційної роботи (розділ 6, рис. 6.2). У дисертації та авторефераті є синтаксичні та граматичні помилки.

Висновок щодо відповідності дисертації встановленим вимогам

У цілому дисертація Ляшенка С. О. виконана на високому науковому рівні, містить коректно і повно обґрунтовані теоретичні та практичні розробки. У роботі отримано актуальні, нові, значущі для теорії та практики наукові результати, що роблять внесок у нове вирішення науково-прикладної проблеми створення теоретичних основ автоматизації процесів керування технологічними лініями цукрового виробництва, що функціонують в умовах суттєвої поточної невизначеності, на основі нейромережевого підходу.

Назва та зміст дисертаційної роботи відповідає вимогам пунктів: п. 1. - методи створення АСК процесами та комплексами різного призначення, п. 3. - моделювання об'єктів та систем керування (статичні та динамічні, стохастичні

та імітаційні, логіко-динамічні тощо моделі), п. 4. - інформаційне та програмне забезпечення АСК організаційно-технічними об'єктами та комплексами, п. 5. - ідентифікація та контроль параметрів об'єктів керування в різних галузях народного господарства, п. 7. - системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень в умовах невизначеності при керуванні організаційно-технічними об'єктами і комплексами різного призначення.

На основі викладеного вважаю, що рецензована дисертація є закінченою науково-дослідною роботою і відповідає науковій спеціальності 05.13.07 – автоматизація процесів керування, та задовольняє вимогам пунктів 10, 11, 12, 13, 14 «Порядку присудження наукових ступенів і присвоєння вченого звання старшого наукового співробітника», затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567, а Ляшенко Сергій Олексійович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Ректор ДВНЗ Східноукраїнський національний університет
ім. Володимира Даля,
доктор технічних наук, професор

О. В. Поркуян



Підпис Поркуян О.В. засвідчую