

Реферат до наукової роботи:

**«ЦИФРОВА ТРАНСФОРМАЦІЯ ЗАСОБІВ КЕРУВАННЯ
ТЕХНОЛОГІЧНИМИ ПРОЦЕСАМИ ІННОВАЦІЙНОГО РОЗВИТКУ»**

Автори роботи: *Боряк Б.Р., Захарченко Р.В., Фурсова Н.А., Приставка Ю.В.*

Вступ

Розвиток цифрових технологій відкриває широкі можливості в усіх сферах людської діяльності. Їх використання у реальному секторі економіки є запорукою інноваційного розвитку як окремого підприємства, так і держави в цілому. Застосування цифрових технологій у виробничих процесах ставить ряд викликів, пов'язаних з обробкою даних, вибором та налаштуванням алгоритмів керування, оцінювання ефективності розробленої системи. Процес інтеграції цифрових технологій потребує комплексного підходу, який передбачає дослідження технологічного процесу, вибір технічних засобів, а також забезпечення взаємодії між системою керування, вимірювальними пристроями й виконавчими механізмами.

У роботі розглянуто та запропоновано розв'язання задачі розроблення адаптивної системи автоматичного керування технологічним процесом на прикладі процесу сушіння зерна, яка в умовах нестаціонарності й стохастичності характеристик об'єкта і середовища з високою якістю відпрацьовує завдання сушіння. Використання системного підходу та структури й алгоритмів функціонування багаторазово адаптивної системи ідентифікації дозволило коректно підібрати метод ідентифікації процесів у сушарці. У результаті для розв'язання цієї задачі обраний та протестований метод мінімізації оптимально взваженої суми симетричних кореляційних функцій. Отримані незміщені й ефективні оцінки параметрів передавальних функцій сушарки дозволили реалізувати оптимальні адаптивні алгоритми автономного керування окремими каналами температури та вологості сушарки як багатомірного об'єкта з перехресними зв'язками.

Було досліджено рівняння реакції-конвекції-дифузії як математичну модель, що описує ряд фізичних і технологічних процесів. Із точністю до перетворень еквівалентності виконано повну групову класифікацію симетрійних властивостей (1+2)-вимірною рівняння реакції-конвекції-дифузії, а також розв'язано задачу знаходження нелокальних перетворень еквівалентності системи нелінійних рівнянь конвекції-дифузії.

Однією із задач, яка розглядалась у цій роботі, є необхідність забезпечення об'єктивними даними про протікання технологічного процесу. Результатом розв'язання такої задачі є розробка адаптивних методів цифрової обробки сигналів, реалізація яких можлива з використанням сучасних мов програмування. Особливістю запропонованих методів є їхня можливість не лише визначення корисного сигналу, у випадку його спотворення зовнішніми чинниками, а й отримання прогнозованих значень сигналу, що відслідковується. Ці дані можуть використовуватися для часткової або повної компенсації транспортних запізнень, характерних для сучасних технологічних процесів.

Також у роботі досліджена інноваційна складова, яка є одним із системних факторів технологічних змін та розвитку держави. Запропоновано методичні засади інформаційно-аналітичного забезпечення оцінювання впливу детермінант інноваційного розвитку та етапи їх послідовної реалізації. Виділення груп детермінант дозволяє діагностувати проблеми інноваційного розвитку, здійснювати ідентифікацію та визначення їх характерного прояву як на рівні держави, так і її регіонів. Запропоновано алгоритм побудови єдиної системи моніторингу інноваційного розвитку держави в умовах цифрової трансформації.

Вищезазначені задачі є частиною процесу цифрової трансформації керування технологічними процесами на різних рівнях і потребують розв'язання, визначаючи актуальність цієї роботи.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема досліджень відповідає напрямам науково-технічної політики держави в галузі цифровізації реального сектора економіки згідно з розпорядженням Кабінету

Міністрів України від 17 січня 2018 р. № 67-р «Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018–2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації».

Дослідження виконувалися в Національному університеті «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (далі НУПП), а їх основні результати було реалізовано в межах низки держбюджетних прикладних науково-дослідних робіт: «Методи та засоби структурно-параметричної ідентифікації електротехнічних систем технологічної лінії із виробництва вітчизняного кабелю з полімерною ізоляцією на надвисокі напруги» (номер державної реєстрації 0116U003716), «Економічна ефективність та соціальна стабільність розвитку регіонів у системі забезпечення економічної безпеки України» (номер державної реєстрації 0112U001461); «Формування інноваційних форм господарського механізму в Україні» (номер державної реєстрації 0112U002319); «Нова версія автоматизованої інформаційної системи «Рейтинг» моніторингу діяльності навчальних закладів України» (номер державної реєстрації 0113U000384); «Адаптація системи управління до викликів середовища» (номер державної реєстрації 0116U002880).

1. Мета і завдання роботи

Метою роботи є комплексне розв'язання проблем цифрової трансформації технологічних процесів шляхом дослідження їхніх математичних моделей, упровадження нових адаптивних методів цифрової обробки даних для забезпечення інноваційного розвитку.

Для досягнення поставленої мети було визначено ряд завдань:

1. Провести дослідження математичної моделі технологічного процесу, зокрема, як об'єкта з розподіленими параметрами, та перейти до еквівалентної системи із зосередженими параметрами.

2. Розробити структуру й алгоритм функціонування багатовимірної автономної системи автоматичного керування з еталонною моделлю та ідентифікатором, котра з необхідною якістю відпрацьовує завдання технологічного процесу.

3. Розробити підсистему ідентифікації для відслідковування зміни параметрів технологічного процесу як об'єкта керування, що дозволить створити функціонально надійну системи автоматичного керування в умовах нестационарності й стохастичності характеристик об'єкта керування та внутрішнього і зовнішнього середовища.

4. Дослідити рівняння реакції-конвекції-дифузії як математичну модель, що описує ряд фізичних та технологічних процесів. Виконати повну групову класифікацію (1+2)-вимірному рівняння реакції-конвекції-дифузії й побудувати точні розв'язки цього рівняння. Застосувати нелокальні перетворення еквівалентності системи нелінійних рівнянь конвекції-дифузії для побудови нелокальних анзаців, проведення редукції та знаходження точних розв'язків цієї системи.

5. Дослідити проблеми цифрової трансформації систем автоматичного керування, сигнали яких можуть бути спотворені, й систем керування об'єктами із запізненням.

6. Розробити адаптивні методи фільтрації та прогнозування цифрових сигналів вимірювальних пристроїв систем автоматичного керування технологічними процесами.

7. Реалізувати й дослідити адаптивні методи цифрової обробки сигналів з метою їхньої подальшої інтеграції в системи автоматичного керування технологічними процесами.

8. Розробити методичний підхід до формування інформаційно-аналітичного забезпечення оцінювання впливу детермінант інноваційного розвитку.

9. Запропонувати алгоритм побудови системи моніторингу інноваційного розвитку в умовах цифрової трансформації.

2. Наукова новизна та практична значимість роботи

Наукову новизну роботи можна визначити наступними твердженнями.

Уперше отримано незміщені та ефективні оцінки параметрів передавальних функцій об'єкта керування завдяки застосуванню методів

конфлюентного аналізу в умовах зашумленості вхідних і вихідних сигналів. Розроблено автономну адаптивну систему керування технологічним процесом (на прикладі процесу сушіння зерна), яка забезпечує оптимальні режими роботи в умовах невизначеності та нестационарності параметрів об'єкта і середовища.

Установлено основні й додаткові перетворення еквівалентності (1+2)-вимірною рівняння реакції-конвекції-дифузії. Виконано повну групову класифікацію (1+2)-вимірною рівняння реакції-конвекції-дифузії. Здійснено симетричну редукцію та знайдено деякі точні розв'язки (1+2)-вимірною рівняння реакції-конвекції-дифузії зі степеневими нелінійностями. Знайдено нелокальні перетворення еквівалентності системи нелінійних рівнянь конвекції-дифузії. Знайдено два образи системи рівнянь Ван-дер-Ваальса, котрі використано для побудови нелокальних анзаців, проведення редукції та знаходження деяких точних розв'язків системи Ван-дер-Ваальса. Побудовано нелокальні анзаци та здійснено редукцію обох образів системи рівнянь Ван-дер-Ваальса. Побудовано нелокальні оператори інваріантності, які відповідають нелокальним анзацам цієї системи.

Уперше розроблено модель процесу цифрової обробки сигналів систем автоматичного керування, що передбачає можливості фільтрації й прогнозування даних в умовах нестачі апріорної інформації про характеристики сигналів, що відслідковуються, та шумів, з інтегрованими методами адаптації параметрів алгоритму обробки даних до зміни параметрів інтенсивності шумів.

Запропоновано методичні засади формування інформаційно-аналітичного забезпечення інноваційного розвитку, котрі, на відміну від існуючих розробок, містять інструменти: інтегрального оцінювання детермінант (стимулятори, дестимулятори) і дають змогу визначити причини ймовірної зміни стану економічної безпеки; кластеризації регіонів за характером прояву й рівнем впливу детермінант інноваційного розвитку з метою встановлення їхньої регіональної диференціації в умовах цифрової трансформації.

Одержані в роботі наукові результати мають вагоме **практичне значення:**

– за рахунок упровадження адаптивної системи керування процесом зерносушіння й використання сучасної цифрової техніки отримано функціонально надійну систему стабілізації оптимальних значень температури і вологості зерна. Проведені експериментальні дослідження дають змогу за допомогою незначних капіталовкладень забезпечити роботу промислового сушильного агрегату з високими показниками якості. Очікуваний річний економічний ефект від упровадження розробленої системи автоматичного керування процесом сушіння зернових культур складає 561,7 тис. грн;

– отримані результати є новими і можуть бути використані для розв’язування ряду конкретних задач теорії диференціальних рівнянь з частинними похідними, теорії теплопровідності, проникання, дифузії, гідродинаміки, газової динаміки та деяких інших. Точні розв’язки, одержані для окремих систем рівнянь, зокрема системи рівнянь Ван-дер-Ваальса та деяких рівнянь реакції-конвекції-дифузії, можуть знайти практичне застосування при моделюванні відповідних біофізичних процесів, а також при розв’язуванні цих рівнянь і систем рівнянь числовими методами;

– програмно реалізовано модель фільтрації та прогнозування сигналів систем автоматичного керування з використанням мови програмування Matlab і в середовищі програмування мікроконтролерів Arduino IDE;

– розроблено практичні рекомендації щодо створення системи моніторингу інноваційного розвитку країни, що передбачають побудову інформаційної моделі оцінювання динаміки стану установ та організацій інноваційної сфери й результативності їхньої діяльності за обраними показниками в умовах цифрової трансформації. Також розроблені теоретичні положення і методичні підходи можуть бути використані в процесі формування інноваційної політики держави, в аналітичній та прогностичній роботі територіальних органів державного управління, при формуванні державних і регіональних програм інноваційного розвитку.

3. Основні науково-технічні результати роботи

Основні науково-технічні результати роботи полягають у розв'язанні ряду задач, що стосуються цифрової трансформації технологічних процесів, використанням математичних моделей процесів, дослідження яких відбувається за допомогою як середовищ комп'ютерного моделювання, так і класичних методів.

Виходячи з фізичних основ процесу сушіння та структури математичної моделі з розподіленими параметрами, з метою спрощення побудови системи автоматичного керування процесом запропоновано перехід від системи з розподіленими параметрами до системи із зосередженими параметрами з представленням її матричною передавальною функцією зв'язку i -х вхідних з j -ми вихідними змінними, котрі вимірюються у відповідних точках агрегату обмеженою кількістю первинних перетворювачів температури і вологості.

Розроблено структуру й алгоритм функціонування багатовимірної автономної системи автоматичного керування з еталонною моделлю, яка з необхідною якістю відпрацьовує завдання сушіння зерна.

Використання системного підходу та структури й алгоритмів функціонування багаторазово адаптивної системи ідентифікації дозволило коректно підібрати метод ідентифікації процесів у сушарці.

Ураховуючи нестандартну для використання методу найменших квадратів реальну ситуацію зашумленості як вихідних, так і вхідних змінних об'єкта ідентифікації, як оптимальний (у сенсі незміщеності й ефективності оцінок параметрів) був протестований і використаний більш досконалий (ніж МНК) метод мінімізації оптимально зваженої суми симетричних кореляційних функцій.

Отримані незміщені й ефективні оцінки параметрів передавальних функцій сушарки дозволили реалізувати оптимальні адаптивні алгоритми автономного керування окремими каналами температури і вологості сушарки як багатовимірною об'єкта з перехресними зв'язками.

Розроблено модель процесу фільтрації та прогнозування на основі подвійного експоненціального згладжування. Реалізація й комп'ютерний аналіз

цієї моделі у середовищах Matlab і Simulink підтверджують її адекватність та працездатність.

Розроблено алгоритми адаптації моделі фільтрації до зміни параметрів шумів, що використовують два і три контури паралельної обробки сигналу з різними параметрами фільтрації. Дані модифікації адаптивних фільтрів-предикторів реалізовано у середовищі Matlab.

Програмно реалізовано розроблену модель фільтрації та прогнозування з інтегрованим алгоритмом адаптації й проведено дослідження можливості інтеграції фільтра-предиктора в системах детермінації навколишнього середовища промисловими роботами.

Розроблено методичний підхід до оцінювання характеру прояву і впливу детермінант інноваційного розвитку на стан економічної безпеки та їх регіональної диференціації. Практичне використання одержаних результатів реалізації такого підходу дає змогу здійснювати оперативне відстеження загрозливих чинників, що негативно впливають на рівень інноваційного розвитку й виступають дестимуляторами / стимуляторами динаміки розвитку та вектора змін.

Розроблено практичні рекомендації щодо створення системи моніторингу інноваційного розвитку та побудови інформаційної моделі оцінювання динаміки стану установ і організацій інноваційної сфери та результативності їхньої діяльності. Доведено, що у сучасних умовах національного розвитку з урахуванням його регіональної диференціації пріоритетного значення набуває інноваційна складова, яка є одним з найважливіших системних факторів і критеріїв соціального та економічного зростання, що впливає на рівень безпеки.

4. Техніко-економічні показники

Очікуваний економічний ефект від упровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом обчислений з урахуванням усього обладнання, яке необхідне для виробництва.

Установлено, що при впровадженні нової автоматизованої системи керування технологічним процесом витрати на заробітну плату робітників, які

експлуатують систему, зменшилися на 10 %. Разом з тим витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт зменшилися на 35,5 %, вартість машино-години роботи знижена на 2,5 %, вартість технологічної операції для одиниці продукції знижена на 20,45 %. Економічний ефект від упровадження розробленої автоматизованої системи керування технологічним процесом склав 561,7 тис. грн. на рік. За отриманими розрахунками термін окупності витрат склав 5 місяців.

За рахунок використання сучасної цифрової техніки вдосконалено систему керування. Аналіз характеристик моделювання показав, що розроблена система керування технологічним процесом задовольняє показники якості при визначених параметрах об'єкта керування.

5. Упровадження результатів досліджень

Теоретичні та практичні результати роботи впроваджено у виробничий процес ТОВ «Шишацький комбікормовий завод», що підтверджено відповідним актом реалізації від 23.01.2019, а також вони були використані на загальнодержавному та регіональному рівнях: Департаментом освіти і науки Полтавської обласної державної адміністрації при розробленні Моделі розвитку людського капіталу Полтавської області на 2017 – 2021 рр. (довідка № 01-22/977 від 12.06.2017); Головним управлінням Державної казначейської служби України у Полтавській області (довідка № 13-16/750 від 06.02.2017); Департаментом економічного розвитку Полтавської обласної державної адміністрації під час підготовки Програми соціального й економічного розвитку Полтавської області на 2015 рік (довідка № 03.1-08/850 від 08.05.2015).





Наукові результати використовуються у навчальному процесі Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» при викладанні дисциплін «Теорія автоматичного керування», «Моделювання електромеханічних систем», «Кібернетичні системи автоматики», «Основи автоматизованого проектування електротехнічних пристроїв та електромеханічних систем», «Інноваційна економіка і політика», «Теорія

управління безпекою соціальних систем», «Теорія прийняття рішень», «Моделювання систем» (довідка № 71-9-2788 від 29.12.2017) і Полтавського коледжу харчових технологій Національного університету харчових технологій при викладанні лекційного матеріалу, у процесі виконання практичних робіт, курсового проектування та виконання магістерських робіт (акти реалізації від 11.02.2019 і від 25.02.2019 відповідно).

6. Публікації та апробація результатів досліджень

Основні результати досліджень висвітлено у 114 публікаціях, серед них 2 колективні монографії (1 з них опублікована у країні ЄС), 1 посібник, 34 статті (7 – у зарубіжних виданнях). Згідно з базою даних Scopus загальна кількість посилань на публікації авторів, представлені в роботі, складає 2, h-індекс (за роботою) – 1; відповідно до бази даних Google Scholar загальна кількість посилань складає 56, h-індекс (за роботою) – 4. За цією тематикою захищено 4 кандидатські дисертації. Новизну й конкурентоспроможність технічних рішень захищено п'ятьма свідоцтвами про реєстрацію авторського права на твір.

Автори:

	Богдан БОРЯК
	Руслан ЗАХАРЧЕНКО
	Наталія ФУРСОВА
	Юлія ПРИСТАВКА

 лютого 2021 р.