

Відгук

офіційного опонента, доктора технічних наук, професора, Заслуженого діяча науки і техніки України Пальчевського Богдана Олексійовича на дисертацію Федоришина Романа Мироновича „Імпульсні регулятори нелінійних систем керування в тепловій енергетиці”, яка представлена на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05. 13. 07 – автоматизація процесів керування

Актуальність теми дисертації

Попри многогранність та розмаїтість технологічних процесів, їх обладнання, як об'єкти керування, в своїй більшості має спільну ознаку – відноситься до нелінійних систем. Це створює певні проблеми щодо їх автоматичного керування. Особливо це проявляється при керуванні такими об'єктами за допомогою імпульсних регуляторів. Окремо слід відзначити наявність таких нелінійних об'єктів, ефективність роботи яких залежить від імпульсного режиму їх навантаження. Отже, дослідження в цій сфері є затребуваними, а дисертаційна робота Федоришина Р. М. є актуальною.

Зв'язок дисертаційної роботи з державними науковими програмами, планами, темами, пріоритетними напрямками розвитку науки і техніки

Дисертаційна робота виконувалася згідно з планами восьми науково-дослідних робіт Національного університету «Львівська політехніка», зокрема в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи за номером державної реєстрації 0115U000440 (2015-2016), де автор був відповідальним виконавцем.

Окремо слід відзначити зацікавленість в даному напрямку досліджень і Фонду цивільних досліджень та розвитку США – виконувався проект UKE1-9077-LV-12 (CRDF), 2012 р., де автор також був відповідальним виконавцем.

На загал тема дисертації відповідає науковому напрямку кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Національного університету «Львівська політехніка»: «Методи та засоби обліку енергоносіїв та автоматизації технологічних процесів».

Структура та зміст дисертаційної роботи

Дисертація складається з анотації, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку літературних джерел, додатків та має 266 сторінок основного тексту. Робота проілюстрована 165 рисунками, включає 38 таблиць, перелік літературних джерел із 309 найменувань та 2 додатки. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 368 сторінок.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, сформульовано науково-технічну проблему та обґрунтовано актуальність теми, визначено мету, об'єкт та предмет дослідження, висвітлено наукову новизну, практичну цінність та особистий внесок здобувача в отриманні результати, подано відомості про їх апробацію, публікацію та впровадження.

Перший розділ присвячено аналізу існуючих схем імпульсних пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів (ПІД-регуляторів). Розглянуто конфігурації схем імпульсних регуляторів та їх вплив на властивостями, визначено та проаналізовано параметри налаштування регуляторів. Запропоновано класифікацію схем автоматичних регуляторів з ієрархічним розташуванням ознак класифікації. Це

дозволило систематизувати структурні схеми імпульсних ПІД-регуляторів, а також синтезувати ряд нових схем автоматичних регуляторів, які дотепер були відсутні.

У другому розділі досліджено точність імпульсних ПІД-регуляторів, представлено удосконалений алгоритм широтно-імпульсної модуляції в імпульсному ПІД-регуляторі для керування тепловим об'єктом та розроблено методику розрахунку оптимального фільтра аналогового сигналу на вході автоматичного регулятора.

Для кількісної оцінки точності роботи імпульсного регулятора з виконавчим механізмом пропонується ввести три показники: середнє абсолютне відхилення, середньоквадратичне відхилення та середній час запізнення перехідної характеристики імпульсного регулятора з виконавчим механізмом відносно перехідної характеристики ідеального аналогового регулятора.

Дослідження точності імпульсних ПІД-регуляторів виконано шляхом комп'ютерного моделювання. Моделювання виконано для різних схем імпульсного регулятора при різних величинах збурення та налаштуваннях схем. В результаті виконаних досліджень встановлені показники точності для різних схем побудови імпульсних ПІД-регуляторів.

Запропоновано удосконалений алгоритм широтно-імпульсної модуляції в імпульсному ПІД-регуляторі для керування тепловим об'єктом, що дозволяє усунути явище високочастотних спрацювань вихідного релейного контакту.

Запропоновано та досліджено нову методику розрахунку оптимального фільтра аналогового сигналу на вході автоматичного регулятора шляхом визначення оптимального значення сталої часу фільтра.

Третій розділ присвячений дослідженню нелінійних об'єктів регулювання та побудові їх математичних моделей на основі експериментальних даних, а також аналізу ефективності роботи нелінійних теплогенеруючих об'єктів із врахуванням похибок обліку енергоносіїв.

Описано реальний нелінійний об'єкт типу електричної печі та методику її експериментальних досліджень по вхідному каналу та по каналу збурення. В результаті таких досліджень побудовано статичні характеристики по цих каналах, розроблено їх математичні моделі в вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь.

Описано також реальний нелінійний об'єкт типу кульового барабанного млина та методику його експериментальних досліджень. Саму ж модель млина у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь отримано аналітично із застосуванням законів збереження маси та тепла. Розглянута методика встановлення адекватності цієї моделі.

Окремо слід відзначити проведені автором дослідження котельні як теплогенеруючого нелінійного об'єкта в імпульсному режимі подачі газу та з використанням роторного лічильника газу, в результаті чого отримано моделі похибок вимірювання, що дає можливість оцінити їх вплив на ефективність роботи котельні.

В четвертому розділі виконано розрахунок параметрів налаштування ПІД-регулятора для керування тепловим об'єктом за допомогою імпульсного регулятора, а

також розроблено алгоритм управління кульовим барабанним млином для оптимізації його завантаженості.

Алгоритм управління кульовим барабанним млином забезпечує максимальне значення розмелювальної продуктивності млина. Система автоматизації з таким алгоритмом впроваджена на Бурштинській тепловій електростанції.

П'ятий розділ присвячений моделюванню перехідних процесів у системі автоматичного регулювання з нелінійним тепловим об'єктом на основі різних схем імпульсного регулятора. Також досліджено перехідні процеси у системі автоматичного керування завантаженістю кульового барабанного млина. Крім цього змодельовано похибки автоматизованих систем обліку природного газу на теплогенеруючих об'єктах та розроблено заходи для підвищення точності цих систем обліку.

Завершують роботу **висновки, список використаних джерел та додатки.**

В додатках наведено опис системи керування завантаженістю кульових барабанних млинів та акти впровадження результатів дисертаційного дослідження.

В списку використаних джерел є 309 найменувань.

Наукова новизна

До суттєвих наукових результатів дисертаційної роботи можна віднести наступні:

- запропоновано нову класифікацію схем автоматичних регуляторів, в основі якої лежить ієрархічна залежність ознак класифікації, що дало можливість синтезувати нові схеми автоматичних регуляторів;

- розроблено показники точності для кількісної оцінки якості роботи імпульсного регулятора з виконавчим механізмом, а саме середнє абсолютне відхилення, середньоквадратичне відхилення та середній час запізнення, використання яких дало можливість на основі побудованих моделей визначити якість перехідних процесів під час роботи імпульсного регулятора з виконавчим механізмом;

- розроблено удосконалений алгоритм широтно-імпульсної модуляції у складі автоматичного регулятора для керування тепловим об'єктом, який дозволив підвищити надійність вихідного релейного контакту за рахунок усунення його високочастотних спрацювань шляхом введення в схему регулювання додаткового компаратора для порівняння вихідного сигналу інтегратора із зміщеним сигналом задання шпаруватості;

- вдосконалено методику розрахунку оптимального фільтра аналогового вхідного сигналу регулятора на основі інтегрального критерію оптимальності, що забезпечує високу якість процесу фільтрування при незначній динамічній похибці профільованого сигналу;

- розроблено математичну модель теплового об'єкта, яка враховує нелінійну поведінку об'єкта, зокрема різну динаміку при нагріванні та при охолодженні, що дає можливість виконувати розрахунок автоматичного регулятора та моделювання перехідних процесів у системі керування нелінійним тепловим об'єктом;

- розроблено математичну модель кульового барабанного млина у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь та виконано перевірку адекватності

моделі на основі отриманих результатів експериментального дослідження, що дає можливість виконувати розрахунок регулятора та моделювання перехідних процесів у системі керування кульовим барабанним млином;

- розроблено вдосконалений алгоритм керування кульовим барабанним млином, який дозволяє враховувати завантаженість млина розмелювальним матеріалом, що дозволило збільшити його продуктивність;

- уточнено математичну модель похибки вимірювання об'єму природного газу, внаслідок інерційності термоперетворювача, яка дає можливість визначати вплив динамічних характеристик каналу вимірювання температури потоку на точність системи обліку в імпульсних режимах протікання газу.

Практичне значення отриманих в дисертації результатів

Практичне значення роботи полягає в тому, що:

- запропонована класифікація схем автоматичних регуляторів дала можливість синтезувати нові схеми автоматичних регуляторів для керування технологічними об'єктами;

- удосконалений алгоритм широтно-імпульсного модулятора у складі автоматичного регулятора для керування тепловим об'єктом забезпечує підвищення надійності та збільшення часового ресурсу роботи вихідних релейних контактів шляхом усунення такого небажаного явища як високочастотне спрацювання контакту;

- оптимальний фільтр аналогового сигналу, розрахований згідно запропонованої методики, дає можливість мінімізувати вплив шуму на процес регулювання, а також забезпечує високу якість процесу фільтрування при незначній динамічній похибці профільтрованого сигналу;

- розроблена математична модель кульового барабанного млина була застосована для розрахунку параметрів налаштування автоматичного регулятора та розробки алгоритму керування кульовим барабанним млином, який був впроваджений на Бурштинській тепловій електростанції, що забезпечило підвищення розмелювальної продуктивності вугільного млина та економію електроенергії, яка витрачається для розмелювання вугілля, на 15%;

- на підставі розроблених математичних моделей були розроблені рекомендації для усунення впливу температурних умов протікання природного газу на точність вимірювання його витрати та об'єму, які забезпечують підвищення точності автоматизованих систем обліку природного газу на теплогенеруючих об'єктах та можуть бути застосовані під час їх проектування та експлуатації.

Ступінь обґрунтованості наукових положень дисертації та достовірність отриманих результатів

Обґрунтованість наукових положень висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, забезпечується коректністю постановки і вирішенням завдань дослідження, формулюванням мети і вибором методів досліджень, використанням апробованих методів математичної статистики, фундаментальних положень математичного аналізу та фізики, гідродинаміки, теорії похибок вимірювання, а також результатами теоретичних і експериментальних досліджень.

Достовірність отриманих результатів підтверджується результатами досліджень.

**Повнота викладення матеріалів дисертації в опублікованих працях.
Впровадження результатів дослідження**

Апробація роботи достатня: за підсумками наукових досліджень за темою дисертаційної роботи опубліковано 91 наукова праця, з яких 1 колективна монографія, 9 публікацій у виданнях, включених у бази даних Scopus та Web of Science, 18 статей у наукових фахових виданнях України, 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав, 55 тез доповідей на всеукраїнських та міжнародних науково-практичних конференціях та 2 патенти України на корисну модель.

Результати дисертації впроваджені як в промисловості, так і в навчальному процесі.

Дисертація Федоришина Р. М. „Імпульсні регулятори нелінійних систем керування в тепловій енергетиці”, є **завершеною науковою працею.**

Слід окремо відзначити, що дисертація написана доброю технічною українською мовою та оформлена відповідно до сучасних вимог. Робота добре ілюстрована і не перевантажена зайвим матеріалом. Хоча місцями автор міг би бути більш лаконічним та зменшити кількість скорочень в роботі, число яких перевищує 50 і значно ускладнює розуміння матеріалу.

Зміст дисертаційної роботи цілком відповідає спеціальності 05. 13. 07 – автоматизація процесів керування, за якою вона подана до захисту.

Автореферат дисертації адекватно відображає основний зміст, положення, висновки, рекомендації дисертаційної роботи та відповідає вимогам, встановленим до авторефератів.

По змісту дисертації є наступні зауваження:

1. **Предметом дослідження** є скоріше ефективність керування технологічними процесами, а не ефективність самих технологічних процесів, як вказано автором.
2. Враховуючи велику кількість моделей, побудованих в програмному продукті SIMULINK, було би доцільно вказати яка саме версія використовувалась Вами.
3. Алгоритми на рис.2.35 та 2.36 в тексті практично не описані. Окрім того, вони є в літературі.
4. В розділі розрахунку оптимального значення сталої часу фільтра, яка залежить від динамічної похибки та якості фільтрування (розсіяння відхилень значень), було би доцільно побудувати об'ємний графік, який спростив би пошук оптимальних значень сталої часу для конкретних технологічних об'єктів регулювання.
5. Автором не вказані міркування і обґрунтування, за якими ним побудовано інтегральний критерій оптимізації сталої часу фільтра. Адже загальноприйнятною методикою побудови інтегрального критерію є використання коефіцієнтів важливості впливу кожної із складових критерію.
6. Автором не вказано як здійснюється імпульсна подача сирого вугілля технічно і не пояснено, чому імпульсна подача вугілля забезпечує рівномірніший розподіл вугілля в КБМ.
7. На рис.3.32 використані одиниці виміру довжини 4DN, 5DN, DN20, DN40 тощо і не описано як їх розуміти.
8. На рис.3.34 зустрічаються однакові позиції для різних елементів, наприклад позиції 2, 3, 4 та інші використовуються для позначення різних елементів.

9. На рис.4.10 вказана статична х-ка КБМ, яка одночасно описує залежності для двох параметрів від третього. Чому автор вважає, що величини L , F_p однаково залежать від $F_{вуг}$?
10. Чи досліджувались умови і параметри найвигіднішого заповнення КБМ вугіллям з тим, що визначити умови, які слід забезпечувати при роботі КБМ, яка ступінь заповнення КБМ може вважатися оптимальною, від чого вона залежить?
11. В розділі 5, рис.5.32 та табл.5.9 містяться дані залежності похибки $\Delta T_{гг}$ для різних значень витрати газу та температурних напорах. Таку емпіричну залежність можна було би отримати як у вигляді об'ємного графіку, так і у вигляді аналітичного виразу. Це спростило би використання такої моделі для керування.
12. Надані рекомендації інженерних заходів для підвищення точності систем обліку газу слід було би проілюструвати прикладами конструкторських рішень.
13. У Висновках, п.2, в кінці сказано «На основі розробленої класифікації синтезовано нові схеми елементів контура регулювання». Я думаю, що правильніше – «...нові схеми із елементів контуру...» .
14. Чому не вказано в **Практичне значення отриманих результатів** впровадження із dodatku A 2?

Однак, перелічені зауваження та недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок

Дисертаційна робота Федоришина Р. М. „Імпульсні регулятори нелінійних систем керування в тепловій енергетиці“, є завершеною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати в галузі автоматизації систем керування, що в сукупності вирішують важливу науково-технічну проблему створення систем автоматичного керування нелінійними об'єктами.

Дисертаційна робота Федоришина Р. М. відповідає науковому рівню робіт, що подаються до захисту на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук. За актуальністю, науковим рівнем розробок та їх практичним втіленням, наявністю необхідної кількості та обсягу публікацій дисертаційна робота „Імпульсні регулятори нелінійних систем керування в тепловій енергетиці“, відповідає п.п. 9, 10 і 12 „Порядку присудження наукових ступенів“, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24 липня 2013 р., а її автор Федоришин Роман Миронович заслуговує присудження йому наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Луцького національного технічного університету, доктор технічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки України



Пальчевський Б. О.


