

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента Кіркопуло Катерини Григорівни
на науковий рівень дисертації і наукових публікацій здобувача
Марколенко Тетяни Дмитрівни

«Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні
теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Новизни представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження

У дисертаційній роботі запропоновано нові технічні рішення, що стосуються адаптивного керування тепловою потужністю парового котла в умовах змінної теплотворної здатності вуглеводного палива. Актуальність обраної тематики підтверджується потребами сучасної енергетики в гнучких і енергоефективних рішеннях без складних технологічних реконструкцій.

Робота відзначається глибоким теоретичним опрацюванням і чітким фокусом на прикладне застосування. Основні положення наукової новизни пов'язані з удосконаленням математичної моделі процесу горіння палива змінного складу, розробкою методу розрахунку складу й об'єму димових газів із можливістю зворотного формування паливної суміші, а також формалізацією принципу стабілізації витрати димових газів для підвищення ефективності роботи котла. Крім того, обґрунтовано спосіб автоматичного регулювання теплової потужності на основі непрямих вимірювань, що має прикладну значущість для впровадження в енергетичні об'єкти.

Наукова новизна результатів підтверджена опублікованими працями, зокрема в провідних фахових виданнях, серед яких є публікації, індексовані у базі Scopus та категорії «А» в Україні, а також патентом України на винахід.

Ці пункти наукової новини опубліковано в:

1. Beglov, K., Kozlov, O., Kondratenko, Y., Markolenko, T., & Krivda, V. (2023). Automatic control of the boiler heat power based on changing hydrocarbon fuel's calorific value. *Problems of Control and Informatics*, 68(2), 75–92. DOI: <https://doi.org/10.34229/1028-0979-2023-2-6> (Реєстр наукових фахових видань України, категорія «А»)

2. Kryvda, V., Brunetkin, O., Beglov, K., Markolenko, T., & Lutsenko, I. (2024). Method of controlling the volume of combustion products at different boiler

loads. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, (1), 100–104. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-1/100> (SCOPUS)

3. Markolenko T., Prodanov D. (2024). Model of greenhouse gas emission minimization under variable load of a steam boiler. *Інформатика та математичні методи в моделюванні*. 2024; Том 14, № 14: 284 – 295. DOI: <https://doi.org/10.15276/imms.v14.no4.284>

4. Марколенко, Т. Д., Проданов, Д. Г., Беглов, Я. І. (2025). Управління тепловим навантаженням котла при спалюванні твердих побутових відходів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*, 42(118), 43–51. DOI: <https://doi.org/10.15276/eltecs.42.118.2025.5>

5. Бакшанська, Т. Д.*, Рижиков, Ю. Г., & Тодорцев, Ю. К. (2007). Математична модель процесу горіння природного газу з рециркуляцією продуктів згорання для цілей управління. *Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы*, (2), 44–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2007_2_9

6. Бакшанська, Т. Д.*, Рижиков, Ю. Г., & Тодорцев, Ю. К. (2008). Мінімізація токсичності продуктів згорання та втрат теплоти у топкових пристроях з рециркуляцією продуктів згорання на основі узагальненого критерію оптимізації. *Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы*, (1), 143–149. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/aaeks_2008_1_24

* (У поданих публікаціях авторка опублікована під прізвищем Бакшанська Т.Д., яке згодом було змінено на Марколенко Т.Д.).

7. Спосіб регулювання теплової потужності котла за теплотворною здатністю газу під час роботи котла на потужності, відмінній від номінальної: пат. України № 127803; заяв. 17.01.2022; опубл.03.01.2024. Бюл.№1.

Крім того додатково наукові результати опубліковані в матеріалах міжнародних конференцій.

Усі наведені результати безпосередньо корелюють із положеннями, викладеними у дисертації, та узгоджуються з вимогами до змісту наукової роботи рівня доктора філософії.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі

Дисертаційна робота Марколенко Т.Д. має чітко структурований зміст і базується на комплексному підході до реалізації мети, що полягала в підвищенні

енергоефективності та екологічності котла шляхом адаптивного регулювання теплової потужності. У роботі виконано повний цикл наукового дослідження: від огляду літератури та аналізу проблематики до побудови моделей, синтезу методів, перевірки їх працездатності за допомогою числового моделювання й обґрунтування практичного застосування.

Крім того, ступінь обґрунтованості наукових положень доведено по сформульованим завданням дисертаційного дослідження завдяки яким необхідно було:

- провести аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування котлами зі змінним складом вуглеводневого палива та обґрунтувати необхідність їх удосконалення;

- побудувати математичну модель об'єкта керування тепловою потужністю котла, що відображає вплив змін теплотворної здатності на процес згоряння та формування димових газів;

- розробити метод регулювання об'єму та температури димових газів із урахуванням співвідношення компонентів паливної суміші та поточного теплового навантаження;

- розробити спосіб автоматизованого регулювання теплової потужності котла на основі оцінки теплотворної здатності палива з використанням критеріїв ефективності й екологічних показників.

Обґрунтованість викладених у дисертаційній роботі положень і сформульованих висновків підтверджується такими чинниками:

- коректною побудовою математичних моделей, у яких повною мірою враховано динамічні характеристики процесів теплообміну, зміни об'єму димових газів і енергетичні перетворення при згорянні палива на основі ізоентальпійного аналізу;

- адекватним вибором математичних інструментів, насамперед диференціальних рівнянь, що дозволяють точно описати теплотехнічні процеси в котельному агрегаті середнього типу;

- застосуванням обчислювального експерименту на основі імітаційного моделювання, що дало змогу проаналізувати функціональність запропонованого підходу в умовах змінного теплового навантаження і різного складу паливної суміші;

- комплексною оцінкою ефективності функціонування системи керування з урахуванням показників енергетичної доцільності (ККД), стабільності теплового режиму та питомих викидів продуктів згоряння, насамперед CO₂.

Також доведено, що ступінь обґрунтованості наукових положень відповідністю роботи ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тема та мета дисертаційної роботи узгоджуються з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». А саме, забезпечення розвитку науково-педагогічних компетентностей майбутніх докторів філософії для проведення власного наукового дослідження та захисту дисертації за спеціальністю «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»:

СК1. Здатність проводити моделювання об'єктів та систем керування.

СК2. Здатність проводити оцінку якості функціонування автоматизованих систем керування.

СК3. Знання та глибоке розуміння предметної області, розуміння професійної та наукової діяльності.

СК4. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та дотичних до неї міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з автоматизації, комп'ютерних технологій, приладобудування та суміжних галузей.

СК5. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та англійською мовами, глибоке розуміння англійських наукових текстів за напрямом досліджень.

СК6. Здатність застосовувати сучасні методи дослідження, синтезу, проектування систем автоматизації, комп'ютерно-інтегрованих технологій, їх програмних та апаратних компонентів, спеціалізоване програмне забезпечення у науковій та навчальній діяльності.

СК7. Здатність здійснювати науково-педагогічну діяльність у вищій освіті, дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК8. Здатність розробляти, впроваджувати і супроводжувати проекти з урахуванням всіх аспектів проблеми, яка вирішується, включаючи

проектування, виробництво, експлуатацію, технічне обслуговування та утилізацію теплоенергетичного обладнання.

СК9. Володіти знаннями щодо принципів, методів та способів зі створення алгоритмів та програмного забезпечення для приладів автоматизованих систем.

СК10. Володіння методами та підходами до параметричного та структурного управління обладнанням в теплоенергетичних установках.

СК11. Здатність проводити ідентифікацію та контроль параметрів об'єктів керування.

СК12. Здатність розробляти регулятори і алгоритми програмного та слідкуючого керування рухом для електромеханічних систем автоматизації.

СК13. Здатність моделювати та досліджувати за допомогою сучасних програмних та апаратних засобів процеси в електромеханічних системах автоматизації.

СК14. Здатність оцінювати показники надійності та ефективності функціонування електромеханічних об'єктів та систем керування.

СК15. Володіння методами розробки, діагностування та забезпечення надійності електромеханічних систем автоматизації.

СК16. Здатність проектувати різноманітні вироби, автоматизовані системи та технологічні процеси з використанням засобів автоматизації проектування та досвіду розробки конкурентоспроможних виробів

СК17. Здатність розробляти, застосовувати та удосконалювати математичні моделі, наукові і технічні методи та сучасне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань проектування.

СК18. Здатність застосовувати, інтегрувати та аналізувати знання і розуміння з інших інженерних дисциплін.

СК19. Здатність проводити алгоритмізацію завдань проектування та розробляти програми та програмні додатки для виконання завдань автоматизованого проектування з застосуванням сучасних мов програмування.

СК20. Здатність розробляти інформаційне та програмне забезпечення автоматизованих систем керування та проектування.

СК21. Розуміння теоретичних засад, які лежать в основі методів досліджень комп'ютерних технологій та інформаційних систем.

СК22. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в сфері автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій та дотичні до неї міждисциплінарні проекти, лідерство під час їх реалізації.

СК23. Системний науковий світогляд та загальнокультурний кругозір.

По дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. На стор. 69 -70 розглянуто модель теплообміну в конвективних ділянках котла, з урахуванням динаміки теплових потоків. Водночас залишається незрозумілим, яким чином кількісно враховано вплив коливань об'єму димових газів у конвективних каналах. Чи наведено в дисертації конкретні приклади залежностей, що враховують зміну об'єму димових газів у часовому вимірі, та як це позначається на кінцевому значенні теплоти, що передається?

2. На стор. 108-109 зазначено можливість оберненого розрахунку складу паливної суміші за відомими параметрами димових газів. Проте не наведено прикладів перевірки достовірності такого розрахунку, зокрема – чи були виконані порівняння між прямим і зворотним обчисленням на одному наборі даних? Чи може модель стабільно знаходити єдиний розв'язок у зворотному напрямку?

3. У висновках за розділом 3 стор. 134-135 зазначено зменшення питомих викидів CO_2 за рахунок зниження частки метану. Проте не подано графічного або табличного порівняння питомих викидів (наприклад, г CO_2 /МДж) для різних варіантів паливних сумішей. Чи проведено кількісну оцінку зменшення вуглецевого сліду?

4. Синтезована структура управління включає три контури. Однак не зовсім ясно, які методи узгодження сигналів між контурами використовуються, окрім компенсаційної ланки. Чи оцінювалася стійкість системи при одночасних збуреннях у всіх каналах?

Наведені зауваження не знижують високий науковий рівень роботи та її наукову і практичну цінність, а скоріш носять характер рекомендації.

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Виконане дисертаційне дослідження характеризується високим рівнем наукової новизни та практичної значущості, оскільки пропонувані моделі та методи регулювання теплової потужності котлів враховують реальні умови експлуатації на основі змінної теплотворної здатності палива. Розроблені алгоритми та системи автоматизованого управління тепловими процесами сприяють підвищенню ефективності використання енергетичних ресурсів та зниженню викидів шкідливих газів, що дозволяє забезпечити оптимальні

технічні та економічні характеристики котельного обладнання при мінімальних витратах на його модернізацію та обслуговування.

Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.

Кількість публікацій за темою дисертаційної роботи та часовий інтервал, на якому вони публікувалися, достатньо великі. В них повно відображені наукові положення дисертації. При оприлюдненні наукових результатів було дотримано вимоги «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно Постанови КМУ №44 від 12.01.2022, із змінами, внесеними згідно з Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024.

Наукові результати дисертації, викладені у публікаціях у повній мірі відображають основні результати дослідження. Результати наукових досліджень опубліковані в 20 друкованих працях, з них 6 – у спеціалізованих наукових виданнях (1 публікація – у міжнародній науково метричній базі SCOPUS, 1 публікація – у наукових фахових виданнях України, категорії «А»), 13 – доповідей та тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських та науково-технічних конференціях, 1 патент України на винахід.

Відсутністю порушення академічної доброчесності.

Марколенко Т.Д. дотримано вимоги академічної доброчесності, що підтверджується протоколом програми StrikePlagiarism [ID: 331254769] від 18.05.2025 року, який опрацьовано фахівцями кафедри Програмних і комп'ютерно інтегрованих технологій та членами групи забезпечення підготовки докторів філософії по ОНП за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», які зробили висновок, що дисертаційна робота відповідає нормам академічної доброчесності. В цілому при підготовці рецензії в тексті дисертації не було знайдено порушення академічної доброчесності.

Значимістю отриманих результатів для практичного використання.

Практичне значення результатів дисертаційної роботи визначається можливістю їх безпосередньої інтеграції у системи керування теплотехнічним обладнанням без потреби в реконструкції основного обладнання або суттєвих змін технологічного процесу. Запропонований підхід базується на використанні існуючих вимірювальних каналів, що суттєво спрощує впровадження.

Розроблені алгоритми адаптивного регулювання здатні забезпечити стабільну роботу котла в умовах коливань теплотворної здатності палива, що є характерним для змішаних палив або вторинних енергоресурсів. Це створює підґрунтя для широкого використання результатів у комунальній, промисловій та когенераційній теплоенергетиці з орієнтацією на підвищення енергоефективності та скорочення витрат палива.

Також матеріали дисертаційної роботи використовуються Національним університетом «Одеська політехніка» при підготовці бакалаврів та магістрів за напрямом «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки (ІШІР) на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» при викладанні наступних дисциплін: «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування», «Оптимальні та адаптивні системи управління».

Тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень з:

Проведені дослідження інтегровані у тематику державних науково-дослідних проєктів, що виконувалися в Національному університеті «Одеська політехніка», зокрема:

– «Розробка моделі та методу математичного забезпечення автоматизованих систем керування, які використовують паливо змінного складу для зменшення енергоємності виробництва» (НДР №206-47, №0122U000566);

– «Підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем управління за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» (НДР №235-47, №0123U102484).

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

Автор дисертаційної роботи, Марколенко Тетяна Дмитрівна, на тему «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності» оволоділа методологією наукової діяльності, яка відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», що доведено отриманими науковими результатами які викладено в науковій новизні. Методологія наукового дослідження, яку застосовано при розв'язанні мети роботи узгоджуються з ціллю освітньо-наукової програми ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Забезпечення розвитку науково-педагогічних компетентностей майбутніх докторів філософії для проведення власного наукового дослідження та захисту дисертації за

спеціальністю, оволодіння методологією наукової і викладацької роботи у наукових і вищих навчальних закладах шляхом розвитку системного мислення і особистісного творчого потенціалу, з метою набуття здатності розв'язувати комплексні проблеми в галузі знань «Автоматизація та приладобудування». Отримані наукові результати дисертаційної роботи відповідають програмним предметним, фаховим і інноваційним компетентностям ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології».

Висновок

Науковий рівень та повнота дисертаційної роботи відповідають вимогам п.п. 7, 8 та 9 «Порядку присудження та позбавлення наукового ступеня доктора наук» щодо дисертацій, поданих на здобуття наукового ступеня доктора філософії затверджених Постановою КМ України № 44 від 12.01.2022 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» зі змінами внесеними згідно з Постановою КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023, та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки наведені в ній науково обґрунтовані результати у сукупності вирішують актуальне наукове завдання, що полягає в удосконаленні математичного опису та методів адаптивного регулювання теплової потужності котлів, які експлуатуються на паливі зі змінними характеристиками, з метою підвищення енергоефективності та мінімізації негативного впливу на довкілля.

Вважаю, що автор дисертації «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності» Марколенко Тетяна Дмитрівна заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань: 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний рецензент

доктор філософії за спеціальністю 151
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології», доцент, доцент кафедри інформаційних
технологій проєктування та дизайну,

Національний університет «Одеська політехніка»

Катерина КІРКОПУЛО

