

РЕЦЕНЗІЯ

офіційного рецензента Климчука Олександра Андрійовича
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

Наукова новизна теоретичних та експериментальних результатів
дослідження представлено в опублікованих наукових періодичних виданнях а
саме:

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.

Наукові результати які опубліковані відповідають основним науковим результатам які представлено в роботі в якості наукової новизни до яких слід віднести наступне:

- математичну модель процесу спалювання несертифікованого вуглеводневого газоподібного палива вдосконалено шляхом врахування нелінійного характеру теплопередачі в конвективних поверхнях нагріву, а також впливу коливань об'єму димових газів. Це забезпечило стійкість витрати димогазового потоку за умов змінної теплотворної здатності палива;

- подальшого розвитку набув метод моделювання складу й об'єму димових газів при змінному складі вуглеводневого палива. Розроблена імітаційна модель дозволяє як обчислювати характеристики продуктів згоряння за відомим складом паливної суміші, так і зворотно формувати її склад відповідно до заданого теплового навантаження, що створює підґрунтя для адаптивного керування тепловою потужністю;

- запропоновано новий підхід до регулювання об'єму димових газів в умовах змінного навантаження котла, який базується на питомій витраті димових газів на одиницю теплоти згоряння. Це дозволило стабілізувати температуру продуктів згоряння, запобігти утворенню конденсату на низьких навантаженнях і підвищити ККД котла на високих, із одночасним зниженням питомих викидів CO_2 завдяки оптимізації складу паливної суміші;

- розроблено спосіб автоматизованого регулювання теплової потужності котла, що передбачає адаптивне формування паливної суміші з прогнозованою теплотворною здатністю згідно з поточним навантаженням. При цьому використано непрямі методи оцінювання витрати димових газів за показниками перепаду тиску на поверхні теплообміну та температури, що дало змогу забезпечити сталість номінальної витрати димових газів в усьому робочому діапазоні потужностей та покращити енергоефективність системи загалом.

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

Рівень обґрунтованості наукових положень, сформульованих у дисертаційній роботі Марколенко Т.Д., є достатнім і підтверджується як теоретичною, так і прикладною складовими дослідження. Побудова логіки дослідження ґрунтується на послідовному узгодженні мети, поставлених задач, обраної методології та отриманих результатів, що забезпечило внутрішню узгодженість роботи.

У ході дослідження були застосовані сучасні підходи до моделювання процесів тепломасообміну й горіння, з урахуванням нестабільних властивостей паливної суміші. Обґрунтування структури автоматизованої системи керування базується на аналізі динаміки енергетичного балансу котла, варіативності складу палива та вимог до стабілізації параметрів процесу. Особливу роль відіграють результати імітаційного моделювання, що відображають реакцію системи на

зміни теплотворної здатності палива, обґрунтовують вибрані стратегії керування та дозволяють оцінити ефективність і стійкість запропонованих алгоритмів у змінних умовах навантаження.

Результати моделювання супроводжуються кількісним аналізом впливу ключових факторів на витрату димових газів, ККД установки, стабільність температурного режиму та викиди CO₂. Це свідчить про достовірність обраних критеріїв оптимізації та коректність використаних залежностей. Застосування адаптивних методів і використання непрямих вимірювань додають практичності обґрунтованості розробленим рішенням, з урахуванням можливостей їх реалізації у реальних умовах експлуатації котлів.

Додатковим аргументом є обґрунтованість наукових положень і висновків, які підтверджується узгодженістю змісту дисертації з цілями та завданнями освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тематика, структура й результати дослідження повною мірою відповідають профілю підготовки докторів філософії, передбачаючи як формування дослідницьких компетентностей, так і набуття здобувачем здатності до самостійного вирішення прикладних задач у сфері автоматизованого керування складними технічними об'єктами.

Дисертаційна робота демонструє приклад ефективної інтеграції теоретичних розробок і практичних підходів до побудови сучасних систем управління, що дозволяє розглядати отримані результати не лише як наукову новизну, але й як інструментальну базу для підвищення ефективності енерготехнічного обладнання без необхідності в дороговартісній модернізації. Такий підхід цілком відповідає стратегічним цілям освітньо-наукової програми, зокрема – підготовці фахівців здатних до інноваційної діяльності в умовах міждисциплінарних викликів.

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 напрямів 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 англомовних 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.

Крім того, ступінь обґрунтованості наукових положень підтверджується послідовною реалізацією комплексу дослідницьких завдань, що були поставлені в межах теми дисертації, зокрема:

- провести аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування котлами в умовах змінної теплотворної здатності вуглеводневого палива з урахуванням їх класифікації, технологічних властивостей та обґрунтувати необхідність вдосконалення САК;

- розробити модель об'єкта керування теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива, що враховує змінність складу палива, нелінійний характер теплообміну та вплив динаміки витрати димових газів на ефективність процесу спалювання;

- розробити метод керування об'ємом та температурою димових газів при змінному навантаженні парового котла, з урахуванням співвідношення компонентів паливної суміші, що дозволяє підтримувати сталий температурний режим і високий ККД;

- розробити спосіб автоматизованого регулювання теплової потужності котла за теплотворною здатністю вуглеводневого палива, який враховує критерії ефективності, показники якості горіння та вплив на довкілля, із забезпеченням сталої витрати димових газів у широкому діапазоні навантажень.

По дисертаційній роботі є наступні зауваження:

1. На стор. 69-70 наведено систему рівнянь (2.4–2.7), яка описує тепловий баланс у газозоді. Проте залишається неочевидним, чи враховано в моделі температурну інерційність металу труб при швидких змінах теплотворної здатності палива. Чи досліджувалась чутливість моделі до таких змін та наскільки вона впливає на точність оцінки теплових втрат?

2. На стор. 92 – 101 у таблицях 2.4–2.7 надано результати імітаційних розрахунків для різних типів паливних сумішей, однак не вказано, чи враховується у розрахунках динамічна зміна коефіцієнта надлишку повітря α при роботі котла в режимі змінного навантаження. Чи може модель використовуватись у режимі реального часу для підтримання оптимального співвідношення «паливо–повітря» при змінному навантаженні?

3. У тексті дисертації зазначено, що метод дозволяє підтримувати постійний об'єм димових газів. Чи йдеться при цьому про фактичну об'ємну витрату в стандартних умовах, чи про розрахункове значення, приведене до температури і тиску? Відповідна інтерпретація важлива для технічної реалізації в АСУ.

4. У розділі 4 запропоновано нову структуру автоматичного регулювання з урахуванням теплоти згоряння. Однак не зовсім зрозуміло, наскільки ця система є адаптивною у динамічних умовах, коли теплота згоряння змінюється швидко, а не квазістатично. Чи протестовано стійкість алгоритму при різких переходах між паливами?

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

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Високий рівень поставленого наукового завдання полягає у забезпеченні енергоефективного та екологічно безпечного функціонування парового котла в умовах змінного складу паливної суміші. Для досягнення цієї мети в дисертаційній роботі запропоновано вдосконалення математичної моделі об'єкта керування тепловою потужністю в динамічних режимах, розроблено метод регулювання об'єму димових газів з урахуванням змін теплотворної здатності палива, а також запропоновано новий підхід до автоматизованого керування тепловим навантаженням із використанням обчислювального моделювання. Це дозволило досягти стабільності роботи котла, підвищити його ККД та мінімізувати негативний вплив на навколишнє середовище.

Повнотою викладення результатів досліджень в наукових публікаціях за темою дисертації.

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.

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.

Відсутністю порушення академічної доброчесності.

Одним з об'єктивних елементів доказу відсутності порушення академічної доброчесності автором є публікації Марколенко Т.Д. в рецензованих журналах, які перевіряють подані публікації на відсутність запозичень. Крім того 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.

Одержані в дисертації результати мають не лише теоретичне значення, а й прикладну цінність у контексті впровадження на підприємствах

теплоенергетики. Розроблені математичні моделі та керуючі алгоритми можуть бути адаптовані до реальних умов експлуатації котельного обладнання без потреби у масштабному технічному переоснащенні.

Особливої уваги заслуговує пропозиція щодо застосування непрямих методів контролю, що дозволяє реалізувати гнучке регулювання без встановлення додаткових вимірювальних систем. Це створює передумови для широкого використання результатів роботи у промислових об'єктах із нестабільним паливним забезпеченням.

Позитивним аспектом є також інтеграція результатів дисертаційного дослідження в освітній процес: практичні положення роботи впроваджено в Національному університеті «Одеська політехніка» під час підготовки бакалаврів і магістрів за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» в Інституті штучного інтелекту та робототехніки (ІШІР) на кафедрі «Програмних і комп'ютерно-інтегрованих технологій» у межах викладання таких дисциплін, як «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування» та «Оптимальні та адаптивні системи управління», що забезпечує практично орієнтовану підготовку здобувачів вищої освіти.

Зв'язком проведених здобувачем досліджень з:

– планами, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетних НДР за темами: «Розробка моделі та методу математичного забезпечення автоматизованих систем керування, які використовують паливо змінного складу для зменшення енергоємності виробництва», НДР №206-47, (№0122U000566) і «Підвищення ефективності комп'ютерно-інтегрованих систем управління за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів», НДР № 235-47 (№ 0123U102484).

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності

У процесі виконання дисертаційного дослідження на тему «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності», Марколенко Тетяна Дмитрівна продемонструвала високий рівень сформованості наукового мислення та вміння застосовувати методологічний апарат, необхідний для виконання міждисциплінарних досліджень у сфері автоматизації енерготехнічних об'єктів, що відповідає ОНП 3-го рівня спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Авторка самостійно реалізувала всі етапи наукової роботи – від постановки задач до узагальнення результатів і формування рекомендацій щодо впровадження.

Застосовані підходи до моделювання, аналізу та синтезу систем керування базуються на сучасних уявленнях про структуру об'єктів, що функціонують в умовах змінного складу енергетичних ресурсів. Це свідчить про системне бачення досліджуваної проблеми та здатність здобувачки до формування нових технічних рішень у межах обраної спеціальності.

Належний рівень аналітичних, проєктних та обчислювальних компетентностей дозволив досягти поставленої мети та забезпечити відповідність виконаної роботи критеріям освітньо-наукової програми для здобуття ступеня доктора філософії. 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

Дисертаційна робота Марколенко Тетяни Дмитрівни «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності» є завершеним науковим дослідженням, що відповідає вимогам до кваліфікаційних робіт на здобуття ступеня доктора філософії. У ній одержано науково обґрунтовані результати, які мають важливе значення для розвитку засобів автоматизованого керування в умовах енергетичної трансформації.

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 в сукупності вирішують актуальне наукове завдання, яке полягає в удосконаленні моделей і методів автоматизованого регулювання теплової потужності парового котла при змінній теплотворній здатності вуглеводного палива з метою підвищення енергоефективності, стабільності теплових режимів та дотримання екологічно нормативних показників роботи котельного обладнання.

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 технічних наук, професор,
професор кафедри теплових електростанцій
та енергозберігаючих технологій,
Національний університет
«Одеська політехніка»

Олександр КЛИМЧУК