

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Онищенко Олега Анатолійовича на дисертаційну роботу

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»

Актуальність обраної теми

Тема дисертаційної роботи Марколенко Т.Д., з огляду на сучасні тенденції розвитку енергетичної галузі, що передбачають підвищення енергоефективності та екологічної безпеки теплотехнічних установок в умовах широкого використання палив змінного складу, є безумовно актуальною. У сучасних умовах, коли зростає вартість традиційних енергоносіїв, актуалізуються завдання залучення вторинних енергетичних ресурсів і використання низькокалорійних палив, що, у свою чергу, вимагає нових підходів до моделювання процесів горіння та автоматизованого керування котельними агрегатами.

Особливої уваги заслуговує вибір предмету дослідження, зосередженого на забезпеченні стабільної роботи парових котлів при змінному складі паливної суміші, що є надзвичайно важливим у контексті декарбонізації промисловості, реалізації положень Енергетичної стратегії України до 2035 року та дотримання вимог міжнародних стандартів, зокрема ДСТУ ISO 50001:2019.

Актуальність теми посилюється ще й тим, що традиційні системи автоматичного керування, як правило, не враховують змін теплотворної здатності палив, що призводить до нестабільності температурного режиму, зниження ККД, збільшення викидів продуктів неповного згорання та погіршення екологічних характеристик.

Запропонований у дисертації підхід – адаптивне регулювання теплової потужності на основі оперативної оцінки теплотворної здатності – є інноваційним та практично орієнтованим рішенням. Такий підхід дозволяє уникнути перевитрати палива, зменшити викиди та забезпечити стабільну витрату димових газів без необхідності модернізації існуючих установок.

Дослідження виконано відповідно до затверджених МОН України планів науково-дослідних робіт, зокрема у межах держбюджетної тематики № 0123U102484 та № 0122U000566, що свідчить про його наукову і прикладну цінність, а також про тісний зв'язок із загальнодержавними науково-технічними програмами.

Таким чином, дисертаційна робота відповідає сучасним потребам галузі, державним пріоритетам у сфері енергетики та має вагоме практичне значення для впровадження в енергетичних установках, що функціонують в умовах змінного навантаження і змінного складу палива.

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження

Положення, що сформульовані у вигляді наукової новизни, разом вирішують нове наукове завдання, важливе для галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування», спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Можна погодитися, що робота містить раніше незахищені наукові положення та отримані нові науково обгрунтовані результати. А саме:

– удосконалено математичну модель процесу спалювання несертифікованого вуглеводневого газоподібного палива шляхом урахування нелінійної зміни теплових потоків у конвективних поверхнях нагріву та впливу коливань об'єму димових газів, що забезпечило стабільність витрати димогазового потоку в умовах змінної теплоти згоряння;

– знайшло подальшого розвитку метод і імітаційна модель розрахунку складу та об'єму димових газів при спалюванні вуглеводного палива змінного складу, що дозволяє за заданими характеристиками паливної суміші визначати параметри продуктів згоряння або зворотно – формувати склад суміші відповідно до теплового навантаження, забезпечуючи основу для адаптивного керування тепловою потужністю котла;

– вперше запропоновано метод керування об'ємом димових газів при змінному навантаженні котла на основі питомої витрати димових газів на одиницю теплотворної здатності палива, що дозволило стабілізувати температуру продуктів згоряння, уникнути конденсації на малих навантаженнях та підвищити ККД котла на максимальних, із одночасним зменшенням питомих викидів CO_2 за рахунок оптимального складу паливної суміші;

– вперше розроблено спосіб автоматизованого регулювання теплової потужності котла шляхом адаптивного формування паливної суміші з прогнозованою теплотворною здатністю відповідно до поточного теплового навантаження, із використанням непрямих вимірювань витрати димових газів за перепадом тиску на поверхні теплообміну та їх температурою, що дозволило забезпечити постійну номінальну витрату димових газів на всьому діапазоні потужності та покращило енергоефективність у всьому робочому діапазоні навантажень.

Додатково потрібно зазначити, що пункти наукової новизни теоретичних та експериментальних результатів дослідження опубліковані в наукових періодичних виданнях та отриманому патенті України на винахід:

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., & Годорцев, 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., & Годорцев, 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

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

* (У поданих публікаціях авторка опублікована під прізвищем Бакшанська Т.Д.)

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

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і практичних рекомендацій у дисертації Марколенко Т.Д. є високим і підтверджується глибоким теоретичним аналізом і результатами імітаційного моделювання, що узгоджуються з фізичною природою процесів. Усі ключові положення дисертації логічно випливають із поставленої мети та сформульованих на початку роботи наукових завдань, а також мають підтвердження у вигляді отриманих розрахункових та графічних результатів.

По-перше, методологічна база дослідження сформована на основі сучасного математичного апарату, зокрема використанням диференціальних рівнянь динаміки теплових процесів, ізоентальпійних залежностей для розрахунку параметрів продуктів згоряння, моделей енергетичного балансу. Враховано вплив змін теплотворної здатності палива, що є критично важливим для адекватного відображення реальних експлуатаційних умов.

По-друге, результати моделювання підтверджують працездатність розроблених алгоритмів керування, зокрема стабільність витрати димових газів і здатність системи забезпечити задану теплову потужність за змінного складу паливної суміші. Вибрані критерії якості – такі як ККД, температура продуктів згоряння, питомі викиди – чітко обґрунтовані та відповідають сучасним вимогам енергоефективності та екологічної безпеки.

По-третє, в роботі наведено чітку структуровану верифікацію моделей, включаючи зіставлення результатів з теоретичними оцінками та очікуваними фізичними ефектами. Це свідчить про коректність вибору граничних умов, параметрів моделювання та обраної структури автоматизованої системи керування.

По-четверте, рекомендації, викладені у дисертації, зокрема щодо адаптивного формування паливної суміші, вибору контрольованих параметрів і реалізації непрямих вимірювань – мають високу практичну цінність, є логічним підсумком проведених досліджень і можуть бути впроваджені в діючі енергетичні системи без потреби в кардинальній модернізації обладнання.

Рівень виконання поставленого наукового завдання

Дисертаційна робота Марколенко Тетяни Дмитрівни характеризується:

- високим рівнем виконання поставленого наукового завдання, що полягає у розробці та обґрунтуванні моделі й методу регулювання теплової потужності парового котла в умовах змінної теплотворної здатності вуглеводного палива.

Здобувачкою послідовно реалізовано повний науково-методичний цикл – від аналізу сучасного стану автоматизованих систем керування до побудови математичних моделей, розроблення методів регулювання та підтвердження їх ефективності на основі обчислювального моделювання;

- *зв'язком проведених здобувачем досліджень з планами НДР, затвердженими 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);*

- *відсутністю порушення академічної доброчесності.* Робота виконана з дотриманням принципів академічної доброчесності, що підтверджується наявністю публікацій у рецензованих фахових виданнях, у тому числі індексованих у Scopus, а також результатами перевірки в системі StrikePlagiarism [ID: 331254769] від 18.05.2025 року. Офіційне підтвердження від кафедри та групи забезпечення підготовки докторів філософії ОНП за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» свідчить про відповідність дисертації встановленим нормам академічної етики;

- *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;

- значимістю отриманих результатів для практичного використання. Практична значущість роботи підтверджується впровадженням розроблених підходів в освітній процес Національного університету «Одеська політехніка» в рамках дисциплін «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування», «Оптимальні та адаптивні системи управління». Запропоновані підходи також можуть бути використані для оптимізації теплотехнічного обладнання без його технічного переоснащення, що свідчить про високу прикладну цінність результатів.

Практичні положення дисертаційного дослідження впроваджено в Національному університеті «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: «Моделювання процесів і систем», «Автоматизація виробничих процесів», «Оптимальні та адаптивні системи управління», «Сучасні системи керування».

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» у повному обсязі оволоділа методологією наукової діяльності, що передбачена освітньо-науковою програмою третього рівня вищої освіти за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Це підтверджується чіткою постановкою наукового завдання, обґрунтуванням актуальності теми, вибором адекватних методів дослідження, побудовою математичних моделей і отриманням нових науково обґрунтованих результатів, викладених у розділах дисертації.

Застосована здобувачем методологія охоплює повний цикл наукового пізнання – від формалізації проблеми та аналізу об'єкта керування до практичного моделювання динамічних процесів і розробки адаптивного регулятора теплової потужності. Отримані результати демонструють сформовані у здобувача аналітичні, дослідницькі та інженерні компетентності, що відповідають програмним цілям підготовки фахівців на рівні доктора філософії в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування». Таким чином, робота свідчить про здатність здобувача здійснювати самостійне комплексне наукове дослідження з урахуванням міждисциплінарного контексту та прикладної значущості.

За дисертаційною роботою є зауваження

1. На стор. 67 (рис. 2.1) подано структуру математичної моделі котла, яка базується на кількох диференціальних рівняннях. Яким чином у цих рівняннях відображено вплив нелінійних змін теплового потоку, зумовлених коливанням складу палива? Чи містить модель параметри, що адаптуються до змін вмісту метану або інших горючих компонентів у реальному часі?

2. На стор. 67-74 зазначено, що модель охоплює як конвективний, так і променистий теплообмін у зоні горіння. При цьому докладні аналітичні залежності для розрахунку радіаційного теплового потоку у тексті відсутні, а його вплив реалізовано через узагальнені параметри. Зважаючи на складність точного опису променистої передачі тепла в умовах змінного складу палива, обраний підхід виглядає виправданим у контексті поставленої задачі, однак це варто було б відзначити у тексті як свідоме обмеження моделі.

3. У таблиці 4.2 (стор. 147) наведено передавальні функції моделі котла. Проте не зазначено, наскільки ці функції залишаються постійними при зміні складу газу та навантаження. Чи адаптується модель під зміну динамічних властивостей об'єкта?

4. Автор зазначає, що система дозволяє зберігати постійну номінальну витрату димових газів по всьому діапазону потужності. Проте не зовсім очевидно, як ця витрата нормується: за об'ємом, масою, чи за температурою? Чи не виникає розбіжностей у трактуванні сталості потоку, особливо в реальних умовах роботи котла?

Наведені зауваження не знижують високий науковий рівень роботи та її наукову і практичну цінність.

Оцінка дисертації у цілому

Вважаю, що дисертаційна робота Марколенко Тетяни Дмитрівни «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності» та наукові публікації, в яких викладено її основні результати, мають високий науковий рівень. Робота відповідає сучасним вимогам до досліджень такого рівня, є завершеним самостійним науковим дослідженням, в якому вирішено складну та актуальну науково-технічну задачу, пов'язану з удосконаленням математичних моделей і методів адаптивного керування тепловою потужністю котлів, що працюють на паливі змінного складу, для підвищення енергоефективності та зниження екологічного навантаження.

Дисертаційна робота повністю відповідає освітньо-науковій програмі «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» за спеціальністю 151. У ній реалізовано міждисциплінарний підхід, що поєднує сучасні методи математичного моделювання, автоматизованого керування, енерготехнологій та екологічного аналізу.

Науковий рівень дисертаційної роботи та публікацій здобувача відповідає критеріям, визначеним пунктами 5–9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради...», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України № 44 від 12.01.2022 (зі змінами згідно з Постановами № 341 від 21.03.2022, № 502 від 19.05.2023 та № 507 від 03.05.2024). У роботі наведено нові науково обґрунтовані результати, які в сукупності вирішують визначене наукове завдання й мають як теоретичне, так і практичне значення.

У зв'язку з викладеним, вважаю, що Марколенко Тетяна Дмитрівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», галузь знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Офіційний опонент, доктор технічних наук (спец. 05.13.07),
професор за кафедрою фізики, електромеханіки і електротехнологій,
професор кафедри управління судном Національного університету
«Одеська морська академія» МОН України,
Заслужений діяч науки і техніки України



Олег ОНИЩЕНКО