

ВІДГУК ОФІЦІЙНОГО ОПОНЕНТА

доктора технічних наук, професора

Осадчого Сергія Івановича 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.

На сучасному етапі розвитку енергетичної галузі особливої актуальності набуває питання забезпечення стабільної, ефективної та екологічно безпечної роботи парових котлів в умовах змінного складу вуглеводневих палив. Це зумовлено не лише внутрішніми техніко-економічними змінами в енергетиці України, а й глобальними викликами, пов'язаними із кліматичними змінами, необхідністю декарбонізації промисловості та переходом до використання альтернативних джерел енергії. Підвищення вартості традиційних енергоресурсів і тенденції щодо залучення вторинних енергетичних ресурсів, зокрема змішаного палива з низькокалорійними компонентами, формує нові вимоги до автоматизованих систем керування (АСК) теплоенергетичними об'єктами.

Використання палива змінного складу вимагає не лише оперативної адаптації систем керування, але й докорінного перегляду підходів до моделювання процесів горіння та теплового балансу. Традиційні моделі й системи автоматизації не враховують достатньо динаміку змін теплотворної здатності палива, що призводить до перевитрати пального, нестабільності температурного режиму, зниження ККД котла, зростання викидів продуктів неповного згорання та погіршення екологічних показників.

Запропонована в дисертації ідея формування адаптивного способу регулювання теплової потужності на основі оцінки теплотворної здатності палива з урахуванням реального складу суміші є надзвичайно своєчасною. Такий підхід дозволяє забезпечити стабільну витрату димових газів, знизити рівень шкідливих викидів та покращити енергоефективність обладнання без необхідності дороговартісної реконструкції або модернізації котельних установок.

Таким чином, тема дисертаційної роботи цілком відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки й техніки в Україні, зокрема в контексті реалізації Енергетичної стратегії України на період до 2035 року, вимог ДСТУ ISO 50001:2019, а також міжнародних екологічних зобов'язань держави. Її практична

значущість посилюється можливістю безпосередньої реалізації запропонованих моделей і методів в енергетичних установках, що функціонують у режимах змінного навантаження та використовують нестабільні паливні суміші.

Актуальність теми також підтверджується тісним зв'язком проведених здобувачем досліджень згідно планів, затверджених Міністерством освіти і науки України, які виконано в Національному університеті «Одеська політехніка» і є складовою частиною держбюджетного НДР за темою: «Підвищення ефективності КІСУ за рахунок моделювання нелінійних високоенергетичних динамічних процесів» (№ 0123U102484), «Розробка моделі та методу математичного забезпечення автоматизованих систем керування, які використовують паливо змінного складу для зменшення енергоємності виробництва», НДР №206-47, (№0122U000566).

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів дослідження.

Дисертаційна робота Марколенко Тетяни Дмитрівни містить комплекс науково-обґрунтованих результатів, що вирішують нову наукову задачу в межах спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» галузі знань 15 – «Автоматизація та приладобудування». Отримані результати мають наукову новизну та практичну цінність, що підтверджується публікаціями у фахових та міжнародних виданнях.

До основних положень, які становлять наукову новизну, належать:

1. Удосконалено математичну модель процесу горіння вуглеводневого газоподібного палива змінного складу, в якій враховано нелінійну зміну теплових потоків у конвективних поверхнях теплообміну та коливання об'єму димових газів. Це дозволило забезпечити сталість витрати димогазового потоку в умовах зміни теплотворної здатності палива.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– 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»)

– 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

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

– 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>

2. Розвинено метод та імітаційну модель визначення складу й об'єму димових газів при спалюванні палива змінного складу. Розроблений підхід дозволяє як визначати характеристики продуктів згоряння за відомим складом паливної суміші, так і формувати склад суміші відповідно до поточного теплового навантаження. Це створює основу для адаптивного регулювання теплової потужності котла.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– 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>

– 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.).

3. Вперше запропоновано метод керування об'ємом димових газів на основі питомої витрати димових газів на одиницю теплотворної здатності палива, що дозволяє стабілізувати температуру продуктів згоряння, уникати режиму конденсації на малих навантаженнях, підвищити ККД котла на високих навантаженнях і зменшити питомі викиди CO₂ завдяки оптимізації складу паливної суміші.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– 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)

– 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. Розроблено спосіб автоматизованого регулювання теплової потужності котла, що передбачає адаптивне формування складу паливної суміші з прогнозованою теплотворною здатністю відповідно до теплового навантаження. Метод базується на непрямим вимірюваннях витрати димових газів за перепадом тиску та температурою на теплообмінних поверхнях, що дозволяє підтримувати стабільну витрату димових газів у всьому робочому діапазоні потужності.

Цей пункт наукової новизни опубліковано в:

– 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.

– 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»)

– 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>

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

Наукові положення, сформульовані в дисертаційній роботі Марколенко Тетяни Дмитрівни, мають достатньо високий рівень обґрунтованості. Це забезпечено послідовним виконанням комплексу дослідницьких завдань, які охоплюють як теоретичне моделювання процесів, так і розроблення прикладних рішень для автоматизованих систем керування тепловою потужністю котлів.

Відповідно до поставленої мети, авторкою були вирішені такі ключові науково-технічні завдання:

– здійснено аналіз сучасного стану автоматизованих систем керування котлами зі змінним складом вуглеводневого палива та обґрунтовано необхідність їх удосконалення;

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

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

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

Обґрунтованість сформульованих положень і висновків підтверджується:

– методологічною точністю побудови моделей, де враховано динаміку теплообміну, ізоентальпійні залежності для згоряння паливної суміші та зміну об'єму димових газів у реальному часі;

– правильністю вибору математичних засобів, зокрема диференціальних рівнянь, що описують процеси у котельному агрегаті середньої потужності;

– використанням імітаційного моделювання, яке дозволило оцінити працездатність розробленого методу в широкому діапазоні навантажень і при різних варіантах складу палива;

– системним підходом до аналізу ефективності та екологічних наслідків, що включає кількісну оцінку ККД, питомих викидів CO_2 та стабільності температурного режиму.

Окремо слід підкреслити, що отримані результати логічно впливають із поставлених завдань, не суперечать відомим фізичним закономірностям та узгоджуються з очікуваними поведінковими характеристиками котельного обладнання. Авторка також наводить переконливі аргументи щодо застосовності запропонованого підходу без потреби у реконструкції наявної інфраструктури, що надає розробці значної практичної цінності.

По дисертаційній роботі є зауваження:

1. На стор. 85- 87 у рівняннях (2.54–2.62) сформульовано систему розрахунку складу димових газів за відомого складу пального. При цьому не уточнено, чи дозволяє ця система виконувати зворотну задачу – тобто формування складу паливної суміші за заданих вимог до складу димових газів. Чи розглядається в роботі приклад реалізації такого зворотного моделювання для забезпечення екологічних норм викидів?

2. У тексті дисертації (розділ 3) зазначено, що підтримання об'єму димових газів дозволяє стабілізувати температуру продуктів згоряння, однак не зовсім очевидно, за рахунок яких фізичних або термодинамічних механізмів це досягається. Чи наведено кількісне порівняння температурних коливань при фіксованому та змінному об'ємі димових газів?

3. У тексті зазначено, що за рахунок оптимального співвідношення NG/BFG досягається зменшення питомих викидів CO₂, однак не подано кількісної оцінки цього зменшення у розрахунку на одиницю корисної теплоти (наприклад, г/МДж). Чи можливо було на основі об'ємних часток CO₂ у таблиці 3.3 (стор. 122) розрахувати питомі викиди для наочнішого порівняння?

4. У роботі теплота згоряння палива виступає як ключовий параметр, що визначає склад суміші. Водночас не зовсім зрозуміло, чи вважається теплота згоряння регульованою, збурювальною чи проміжною змінною, з точки зору теорії автоматичного керування. Чи визначено її роль у сигнальному графі або у структурній моделі?

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

Рівень виконання поставленого наукового завдання.

Дисертаційне дослідження Марколенко Тетяни Дмитрівни виконано на високому науковому рівні. Сформульоване завдання – створення та верифікація моделі й методу регулювання теплової потужності котла в умовах варіативної теплотворної здатності палива – реалізовано у повному обсязі. Авторкою послідовно пройдено всі етапи наукового дослідження: здійснено огляд сучасного стану проблематики, побудовано адекватні математичні моделі, синтезовано регулятори та перевірено їхню ефективність шляхом імітаційного моделювання.

Відповідність виконаних досліджень державним науково-дослідним програмам

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).

Відсутністю порушення академічної доброчесності.

Робота Марколенко Т.Д. виконана відповідально, з дотриманням академічних стандартів. Це підтверджується позитивними результатами перевірки у системі StrikePlagiarism [ID: 331254769] від 18.05.2025 року, а також схвальним висновком кафедри та освітньо-наукової групи забезпечення за спеціальністю

151. Публікації здобувачки пройшли незалежне рецензування у фахових наукових виданнях, у тому числі в базах SCOPUS, що свідчить про дотримання принципів доброчесності.

Повнота викладення результатів у публікаціях

Основні результати дослідження всебічно висвітлено в опублікованих працях. Загалом оприлюднено 20 наукових робіт, з яких: 6 – у фахових журналах, включно з 1 публікацією в базі SCOPUS і 1 у журналі категорії «А»; 13 – у вигляді тез та доповідей на конференціях різного рівня; 1 – патент України на винахід. Наукові положення викладено послідовно, що відповідає вимогам до обґрунтованості результатів.

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.

Практична значущість результатів

Практична цінність дисертації підтверджується впровадженням її результатів в освітню діяльність Національного університету «Одеська політехніка». Методичні підходи, викладені в роботі, застосовуються в навчальному процесі з дисциплін «Автоматизація виробничих процесів», «Моделювання процесів і систем», «Сучасні системи керування», «Оптимальні та адаптивні системи управління». Крім того, розроблені методи можуть бути адаптовані для модернізації теплотехнічного обладнання на підприємствах без суттєвого переоснащення, що підтверджує їхню прикладну цінність.

Оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності.

Марколенко Тетяна Дмитрівна в процесі виконання дисертаційного дослідження повною мірою продемонструвала оволодіння методологією наукової діяльності відповідно до вимог освітньо-наукової програми третього рівня вищої освіти за спеціальністю 151. Дисертація побудована згідно з логікою наукового дослідження: сформульовано об'єкт і предмет, обґрунтовано наукову новизну, розроблено математичні моделі, синтезовано методи керування, проведено верифікацію запропонованих рішень.

Авторка успішно застосувала системний підхід до розв'язання складної науково-технічної проблеми автоматизованого регулювання теплової потужності котла з урахуванням змінних характеристик палива. Виведені закономірності, адаптація керування, критерії якості – все це свідчить про високий рівень володіння сучасними науковими інструментами.

Результати дослідження засвідчують здатність здобувачки здійснювати самостійні наукові пошуки та викладацьку діяльність, що відповідає цілям формування науково-педагогічних компетентностей майбутніх докторів філософії. Отримані результати повністю відповідають змісту програмних, фахових і дослідницько-інноваційних компетентностей, передбачених ОНП для докторів філософії зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» у межах галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

Висновок

Усе вищенаведене дає підстави стверджувати, що дисертаційна робота Марколенко Тетяни Дмитрівни «Модель і метод регулювання теплової потужності котла при зміні теплотворної здатності вуглеводного палива для підвищення ефективності» є завершеним самостійним науковим дослідженням, у якому отримано нові науково обґрунтовані результати в галузі автоматизації теплоенергетичних процесів. У сукупності ці результати вирішують важливу науково-технічну задачу – підвищення енергоефективності та екологічної безпеки парових котлів за рахунок удосконалення моделей і методів керування тепловою потужністю з урахуванням змін теплотворної здатності вуглеводного палива.

Науковий рівень виконаної роботи та публікацій здобувачки відповідає вимогам п.п. 5, 6, 7, 8 та 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», згідно з Постановою КМ України №44 від 12.01.2022, із змінами, внесеними відповідно до Постанови КМ України № 341 від 21.03.2022, Постановою КМ України № 502 від 19.05.2023 р., та Постановою КМ України № 507 від 03.05.2024, оскільки у дисертації наведені нові науково обґрунтовані результати, що у сукупності вирішують актуальну науково-технічну проблему автоматизованого керування тепловими процесами на основі змінних характеристик паливної суміші.

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 опонент

доктор технічних наук, професор
кафедри автоматизації виробничих процесів,
в.о. завідувача кафедри льотної експлуатації
та безпеки польотів,
Українська державна льотна академія

Сергій ОСАДЧИЙ