

ВІДГУК

офіційного опонента АБДУЛІНА МИХАЙЛА ЗАГРЕТДИНОВИЧА,
доктора технічних наук, доцента кафедри теплоенергетичних установок
теплових та атомних електростанцій теплоенергетичного факультету
Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського
на дисертаційну роботу Кравченка Олега Володимировича на тему
«ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ТЯГОДУТТЬОВИХ ТРАКТІВ КОТЛІВ НА
ОСНОВІ УДОСКОНАЛЕННЯ МОДЕЛЕЙ АЕРОДИНАМІЧНИХ СИСТЕМ»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії за
спеціальністю 144 – Теплоенергетика, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

1. Актуальність теми дисертації

Тенденції подальшої експлуатації теплоенергетичного комплексу України пов'язують не стільки з розробкою та будівництвом нових об'єктів, а в першу чергу з удосконаленням, або реновацією обладнання ТЕС, ТЕЦ, та опалювальних котельнь з поліпшенням його енергетичних, екологічних та інших параметрів. Застарілою проблемою ТЕК є обмеження потужності котлів. Робота енергоустановок при зниженій потужності призводить до зменшення діапазону регулювання та до зниження економічності енергоустановок. Найбільш розповсюдженні обмеження потужності по тязі або дуттю, що свідчить про методичну кризу методів і правил проектування тягодуттьових трактів котлів. Існуючі правила проектування і методи визначення ефективності дають суперечливі результати аналізу якості проектування аеросистем. Дослідження роботи орієнтовані на реконструкцію аеродинамічних систем з метою удосконалення проточних частин обладнання (без заміни тягодуттьових механізмів), для підвищення продуктивності АС з одночасним суттєвим зниженням питомих витрат енергії на власні потреби (на привід) а також підвищення ефективності всієї системи. Підвищення продуктивності аеродинамічних систем дозволяє вирішити проблему обмежень потужності котлів і суттєво покращити показники роботи ТЕК України. Тому, зазначенні завдання дисертації на розробку методів і правил проектування, які спрямовані на забезпечення достовірності розрахунків параметрів роботи енергетичних технологій реальним показникам експлуатації є актуальними та своєчасними.

2. Структура та обсяг дисертації

У *вступі* обґрунтовано актуальність проблеми невідповідності реальних показників роботи тягодуттьових трактів котлів з проектними даними, обґрунтовано актуальність розробки моделей аеросистем, методів розрахунку і побудови енергетичних характеристик системи та її елементів, які сприяють



правильному відображенню параметрів роботи АС, а також розробці методів оцінки системної ефективності при зміні параметрів елементів системи.

У першому розділі дисертації виконано аналіз моделей представлення параметрів роботи динамічних систем і методів вдосконалення та оптимізації на етапі проектування АС. Сформульовані мета дисертаційної роботи і завдання досліджень для підвищення продуктивності тягодуттьових трактів котлів з одночасним зниженням питомих витрат енергії на дуття або тягу, а також розробки системних показників ефективності динамічних систем в цілому та її елементів на етапі проектування, а також в період експлуатації.

Виконано аналіз протиріччя того, що в гідро і аеросистемах нагнітачі: насоси, вентилятори, димососи, компресори виділені як головний елемент системи. А оптимізація параметрів роботи АС виконується тільки за максимальним значенням ККД нагнітачів, що призводить до парадоксальних суперечностей при вирішенні завдань енергозбереження. Проведення реконструкції аеросистем з метою збільшення продуктивності нагнітачів за рахунок зниження витрат тиску в мережі з одночасним зменшенням питомих витрат енергії призводить до зниження ККД нагнітача. Таким чином в першому розділі обґрунтовані протиріччя в моделях ГС и АС: характеристики нагнітачів мають складну модель представлення параметрів і в період експлуатації їх важко переглядати; дані гідравлічних опорів з довідників приймаються як неминуче, для оптимізації параметрів АС використовується тільки ККД нагнітача. На основі виявлених протиріч сформульовані мета і завдання досліджень.

У другому розділі виконаний аналіз достовірності існуючих методів представлення параметрів гідро і аеросистем на основі використання розрахункового показника «повний напір – H » як суми трьох складових енергетичних параметрів потоків рідин або газів в формі рівняння Бернуллі. Для цього розроблено графо - аналітичну «Н-модель» представлення показника повний напір нагнітачів.

«Н-модель» дозволила виявити наступні суперечності: невипраданно ускладнена методика представлення параметрів систем на основі розрахунку параметра «повний напір – H »; показало, що при розрахунку повного напору в зоні розрядження P_{vl} , динамічна складова $H_{дин} = kV_l^2$ використовується два рази, так як при використанні показника розрядження P_r вже є в показниках вакуумметра P_v . Це дозволило обґрунтувати перехід від параметра повний напір нагнітача до пьезо показників АС як різниці показань манометра і вакуумметра.

Аналіз «Н-моделі» представлення параметрів АС зазначив особливу роль показників манометра і вакуумметра. Таким чином представлення енергії в аеросистемі умовно можна розділити на дві складові: показники пьезоприборів - манометри і вакуумметри; і динамічна складова енергії, яка характеризує процеси дії або динаміки.

У третьому розділі отримала подальший розвиток концепція представлення енергії як співвідношення двох компонент енергії: потенціала – П, який є «першопричиною» енергетичних проявів; і динаміки – Д. Особливою цінністю роботи є методичний розподіл енергетичних процесів на два принципово різних поєднання виділених компонент.

Виділено як приклад перший варіант поєднання двох компонент енергії. Твір двох компонент відображає модель розрахунку потужності $N = П \times Д$. Об'єднуючим фактором зіставлення потужності різних видів енергії є універсальна одиниця виміру потужності – Ватт. Універсальна одиниця виміру потужності - Ватт для різних видів енергії дозволяє розраховувати ККД. Уніфікація одиниць вимірювання потужності різних видів енергії дозволяє використовувати коефіцієнт «ефективності трансформації» різних видів енергії у нагнітачах у відносній формі $0 < \eta_{нагн} < 1$. Однак, цей показник характеризує роботу тільки нагнітачів. В роботі продемонстровано, що використання при проектуванні аеросистем тільки коефіцієнта ККД нагнітачів може призводити до суперечливих з точки зору енергозбереження результатів оптимізації.

Отримав подальший розвиток другої варіант поєднання двох компонент енергії. Розрахунок зворотної величини аеродинамічних опорів, який повинен відповідати відношенню показника динаміки до вихідного потенціалу в системі дозволив сформулювати метод розрахунку коефіцієнту «ефективності динамічних процесів» $\varphi_{дин}$, який за умови уніфікації одиниць вимірювання двох компонент - динаміки і потенціалу може бути представлений також у відносній формі $0 < \varphi_{дин} < 1$.

Спільне використання коефіцієнта «ефективності трансформації» $\eta_{нагн}$ різних видів енергії в нагнітачі та коефіцієнту «ефективності динамічних процесів» $\varphi_{дин}$ аеросистеми дозволяє розраховувати «системну ефективність» тягодуттьових трактів Ef_{cict} . Розробка коефіцієнтів «ефективності динамічних процесів» $\varphi_{дин}$ та «системну ефективність» тягодуттьових трактів Ef_{cict} дозволяє зняти протиріччя обґрунтування заходів щодо зниження опорів в динамічних системах, що дозволить збільшити продуктивність систем з одночасним зниженням витрат енергії.

У четвертому розділі розроблена розрахунково - графічна «Р-модель» представлення параметрів аеродинамічних систем на основі аналізу відмінностей процесів в аеросистемах від процесів в гідросистемах. На відміну від моделі повних напорів Н-моделі з двома напірними характеристиками в новій пьезомодели Р-моделі аеросистем розрахунковим шляхом будується три і більше пьезохарактеристик для трьох і більше ділянок аеросистеми.

Динамічну складову енергії яка є частиною показника вакуумметра можна не показувати в пьезографічній моделі. При необхідності, динамічну складову

енергії можна показувати в графічній моделі тільки в зоні розрядження, де ця складова формується і присутня в показанні вакуумметра. Це ніяк не змінить графік пьезо характеристики розрядження.

P-модель функціонально і параметрично (зона розрядження і зона тиску) доцільно розділити на три ділянки: 0 - 1 - ділянка розрядження; 1 - 2 - ділянка нагнітача; 2 - 3 - ділянка тиску. Головною перевагою пьезомодели є можливість аналізувати збіг розрахункових параметрів з реальними показниками вимірювальних приладів в період експлуатації і коректного представлення результатів вдосконалення проточних частин з метою зниження втрат тиску як в елементах мережі, так і нагнітача.

В період експлуатації P-модель дозволяє коригувати пьезопараметри на всіх ділянках системи, уточнювати коефіцієнти опору для перерахунку параметрів роботи нагнітачів і аеросистем в цілому в процесі експлуатації.

У *п'ятому розділі* на прикладі результатів реконструкції котла ТП-50 Криворізької ТЕС, яка забезпечила вирішення задачі зняття обмежень потужності по тязі енергоблоку 300МВт за рахунок коригування аеродинаміки декількох ділянок тягового тракту котла. Використання P-моделі дозволило системно обґрунтувати збільшення продуктивності димососа з одночасним зниженням витрат енергії на привід. Однак, аналіз результатів реконструкції показав зниження ККД димососа. Протиріччя зниження ККД димососа вирішено завдяки використанню коефіцієнта динамічної ефективності, а також «системного аналізу ефективності» тягового тракту котла.

Анотація дисертації відображає її основні положення.

3. У загальних висновках представлені основні наукові та практичні результати виконаних досліджень дисертаційної роботи.

4. У додатках представлено режимні карти параметрів котлів, які відображають проблему обмежень потужності котлів, акти впроваджень.

5. Ступінь обґрунтованості наукових положень забезпечується тим, що при створенні наукових положень, висновків та рекомендацій автор застосовує закони та рівняння, які використовуються при проектуванні аеросистем, сучасний досвід з наукових джерел, спирається на аналіз результатів реконструкцій тягодуттьових трактів котлів з використанням існуючих моделей аеросистем, та розроблених при виконанні наукової роботи.

Достовірність наукових положень, висновків та рекомендацій підтверджується застосуванням моделей і методів при виконанні реальних реконструкцій аеродинамічних систем з метою корегування динамічних процесів задля усунення обмежень потужності котлів за рахунок підвищення продуктивності тягодуттьових трактів. В роботі наведені практичні результати реконструкцій, які підтверджуються актами впровадження, результатами практичного використання із позитивним ефектом.

На дисертаційну роботу Кравченка Олега Володимировича отримано акт впровадження, який підтверджує, що при виконанні послуг з наукового консультування, та розробки пропозицій для зменшення обмежень потужності котельних пристроїв ТОВ "ВІДРОДЖЕННЯ", а саме «Корегування тягодуттєвого тракту котлів типу КЕ» було використано нові моделі представлення параметрів роботи гідро і аеросистем.

При вирішенні поставлених у дисертаційній роботі задач використані: системний підхід при аналізі проблем енергозбереження в аеродинамічних системах, що проектуються з використанням структурного підходу при побудові моделей з виконанням удосконалення структури потоків.

6. Практичне значення отриманих результатів полягає в розробці моделей представлення та підвищенні достовірності методів розрахунку параметрів аеросистем на етапі проектування або реконструкції тягодуттєвих трактів котлів. У представленій дисертаційній роботі з використанням «Р-моделі» виконано обґрунтування результатів реконструкцій котлів КВГМ-58, а також котлів ТП-50, які виконувалися з метою зняття обмежень їх потужності по дуттю і тязі. Виконане обґрунтування характеризує актуальність виконання вдосконалення тягодуттєвих трактів котлів для підвищення їх продуктивності з одночасним зниженням витрат енергії на роботу вентиляторів і димососів. Використання «Р-моделі» дозволило системно обґрунтувати збільшення продуктивності димососа з одночасним зниженням витрат енергії на привід. Однак, результати реконструкції показали, що отримані результати привели до зниження ККД димососа. Протиріччя зниження ККД димососа вирішено завдяки використанню коефіцієнта «системного аналізу ефективності» аеросистем.

7. Новизна наукових положень дисертаційної роботи Кравченко Олега Володимировича полягає у в створенні нових та подальшому розвитку існуючих моделей і методів задля підвищення продуктивності та ефективності тягодуттєвих трактів котлів:

- отримала подальший розвиток модель гідросистем на основі параметрів повний напір – «Н-модель», яка відрізняється від існуючої математичної моделі графо-аналітичним представленням всіх складових повного напору, що дозволило виявити надлишковість використання динамічної складової напору та є підставою вдосконалення математичної моделі гідравлічних і аеродинамічних систем;

- отримав подальший розвиток метод розрахунку ефективності динамічних процесів в АС та їх елементах, як співвідношення двох компонент енергії (динаміки та потенціалу), за умови уніфікації одиниць їх вимірювання, що дозволило отримати коефіцієнт ефективності у нормалізованому вигляді в діапазоні від 0 до 1, для підвищення можливостей зіставлення параметрів

ефективності динамічних процесів в аеросистемах та їх елементах.

– вперше розроблено метод розрахунку системної ефективності аеродинамічних систем у нормалізованому вигляді, який відрізняється від існуючого розрахунку ККД використанням добутку коефіцієнта ефективності трансформації різних видів енергії в нагнітачі у нормалізованому вигляді та запропонованого коефіцієнта ефективності динамічних процесів в аеросистемі, що дозволило обґрунтовувати підвищення продуктивності тягодуттьових трактів котлів при їх проектуванні або реконструкції з одночасним зменшенням витрат енергії при їх експлуатації;

– вперше розроблено пьезомодель – «Р-модель» представлення параметрів розрідження / тиску аеродинамічних систем, яка відрізняється від існуючої «Н-моделі» (з двома напірними характеристиками), використанням трьох розрахункових пьезо характеристик, параметри яких повинні співпадати з показниками пьезоприладів (вакуумметрів / манометрів), що дозволяє збільшити достовірність розрахунку параметрів в процесі проектування або реконструкції тягодуттьових трактів котлів.

8. Рекомендації щодо використання результатів дисертації

Розроблені автором моделі та методи доцільно використовувати для проведення реконструкцій енергетичного обладнання для вирішення проблеми обмеження потужності котлів, або для підвищення продуктивності аеродинамічних систем, при викладанні дисциплін гідрогазодинаміки, а також пов'язаних з удосконаленням та реконструкцій енергетичного обладнання

9. Повнота викладу в наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації, відсутність порушення академічної доброчесності

За результатами роботи опубліковано 6 наукових праць, з яких 1 наукова стаття у періодичному виданні, яке включене до міжнародних наукометричних баз Scopus, 1 наукова стаття опублікована у фаховому періодичному виданні, 2 статті опубліковані у міжнародному періодичному виданні, опубліковано 2 наукові праці апробаційного характеру.

Основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на наукових семінарах розширеного засідання кафедр «Теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій», та «Прикладної екології та гідрогазодинаміки» Одеського національного політехнічного університету, та наукових конференціях.

Таким чином, вимоги Постанови КМУ від 06.03.2019 № 167 «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно Постанови КМУ від 21.10.2020 №979 до кількості публікацій виконано.

Публікація автором результатів досліджень у рецензованих виданнях, які передбачають попередню перевірку матеріалів на відсутність запозичень є одним із елементів підтвердження відсутності порушень академічної доброчесності. В цілому у дисертаційній роботі порушень академічної доброчесності не виявлено.

10. Зауваження згідно змісту та оформлення дисертаційної роботи

1. Дисертація ускладнена кількістю розділів. Доцільно було перенести аналіз представлення Н-моделі гідросистем із другого розділу в четвертий розділ перед представленням матеріалу розробки п'єзомоделі аеросистем.

2. Моделі і методи представлення параметрів роботи аеродинамічних систем автор детально аналізує в першому розділі, однак у четвертому розділі (рисунки) також наведено енергетичні характеристики двигона Дн-26, що логічно було перенести в перший розділ, або виконувати розрахунки та будову Р-моделі на основі цього нагнітача.

3. В розділі 1.5 наведені приклади систематизації і класифікації одиниць виміру енергетичних параметрів. Автором недостатньо відображено традиційний метод розмірностей - «пі-теорему», якій широко використовується у вітчизняних наукових школах.

4. В роботі введено нову термінологію: п'єзоприлади; п'єзопараметри, які дублюють існуючі назви приборів і гідро і аеродинамічних показників, що додає складнощі осмислення і без того складного матеріалу.

5. Третій розділ та параграф 1.5 дає цікаву інформацію про важливі історичні моменти, які формували наступний розвиток наукових досліджень, але потрібно детальніше обґрунтувати вирішення складної комплексної наукової задачі: доцільності уніфікації енергетичних параметрів динаміки і потенціалу та одиниць вимірювання для забезпечення безрозмірних коефіцієнтів ефективності. Крім того, в літературі існують безрозмірні коефіцієнти, які подібні пропонувані автором у дисертації, наприклад: коефіцієнт витрати; коефіцієнт швидкості тощо. Також треба відмітити, що дана проблема характерна для реалій експлуатації котлоагрегатів в Україні.

6. При посиланні на проблеми невідповідності розрахунків даних з реальними показниками роботи аеросистем на енергетичних об'єктах США, автор недостатньо обґрунтовує схожість і відмінності англійської та української термінології, та одиниць вимірювання.

7. В розділі 3 представлення коефіцієнта динамічної ефективності є суттєві відмінності: у розрахунках в електричній енергії коефіцієнт динамічної ефективності розраховується як зворотна величина опору R . В роботі пропонується для аеросистем коефіцієнт динамічної ефективності розраховувати подібно як зворотна величина опору, але з доданням одиниці,

хоча в формулі Торрічеллі використовується комплекс опору з додаванням коефіцієнта Коріоліса. При розробці нового виду коефіцієнта динамічної ефективності аеродинамічних процесів потрібно приділяти більше уваги зазначеним відмінностям.

8. В тексті та рисунках зустрічаються позначення англійською або російською мовами.

9. У розділі 2.3 використовується невдале узагальнення: «комплекс механізмів перетворення енергії» (КМПЕ). Варто було б використати більш популярний та вдалий узагальнюючий термін – «тягодуттьові механізми» (ТДМ).

Основні ідеї дисертаційної роботи цікаві, мають **позитивне** враження. Наведені зауваження **не знижують** науковий рівень і практичну цінність.

11. Загальний висновок

Вважаю, що дисертаційна робота Кравченко Олега Володимировича «Підвищення продуктивності тягодуттьових трактів котлів на основі удосконалення моделей аеродинамічних систем», є завершеною кваліфікаційною науковою роботою, яка оформлена відповідно до державних стандартів України. Результати дисертації можуть бути рекомендовані до використання в організаціях, які виконують проектування нових, а бо реконструкцію існуючих аеродинамічних систем.

Дисертаційна робота за своїм змістом **відповідає** вимогам Постанови КМУ від 06.03.2019 № 167 «Про проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» зі змінами згідно Постанови КМУ від 21.10.2020 № 979 та чинним вимогам МОН України, а її автор Кравченко Олег Володимирович **заслуговує** на присудження йому наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 144 – Теплоенергетика, галузь знань 14 – Електрична інженерія.

Офіційний опонент, доктор технічних наук,
доцент кафедри теплоенергетичних установок
теплових та атомних електростанцій теплоенергетичного
факультету Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут» імені Ігоря Сікорського

