

## АНОТАЦІЯ

*Крамаренко Ю. О.* Удосконалення методів підвищення якості теплоелектроцентралей шляхом синтезу енергоефективних систем керування – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 6 Інженерія, виробництво та будівництво за спеціальністю 66 Інформаційно-вимірювальні технології. – Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна Міністерства освіти і науки України, Харків, 2026.

Дисертаційна робота виконувалася впродовж 2022-2026 рр. на кафедрі автоматизації, метрології та енергоефективних технологій Української інженерно-педагогічної академії в рамках держбюджетної науково-дослідної роботи ФН-21-05 «Розробка алгоритмів та структур енергозберігаючих автоматизованих систем керування нагнітальними установками нафто- та газоперекачувальних станцій».

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню актуальної науково-прикладної задачі підвищення якості та енергоефективності роботи теплофікаційних турбін теплоелектроцентралей у перехідних режимах на основі розроблення методів багатокритеріального керування та формування комплексного показника якості. Робота орієнтована на теплофікаційні турбіни середньої та великої потужності. Експериментальні дослідження проводились з використанням параметрів турбіни типу Т-100/120-130, які широко застосовуються у складі ТЕЦ і працюють в умовах змінних електричних і теплових навантажень.

**Мета дослідження.** Полягає в підвищенні якості та енергоефективності роботи теплофікаційних турбін ТЕЦ у перехідних режимах шляхом розробки методів багатокритеріального керування на основі комплексного показника якості

**Об'єкт дослідження:** процеси функціонування теплофікаційних

парових турбін у складі теплоелектроцентралей в усталених і перехідних режимах.

**Предмет дослідження:** методи оцінювання та підвищення якості теплофікаційних турбін теплоелектроцентралей в нормальних режимах експлуатації.

**Методи дослідження.** У роботі використовуються методи теорії кваліметрії, стандартизації, системного аналізу та теорії автоматичного керування; методи математичного моделювання; методи лінеаризації нелінійних рівнянь; методи аналізу динамічних систем; інтегральні критерії якості; методи чисельної оптимізації параметрів регуляторів; методи експериментальних досліджень; методи статистичного аналізу; комп'ютерне моделювання.

### **Наукова новизна одержаних результатів.**

Основні наукові результати досліджень складають:

1. Вперше визначено комплексний показник якості теплофікаційних турбін ТЕЦ, який узгоджує енергетичні, динамічні, техніко-експлуатаційні та екологічні вимоги.

2. Набули подальшого розвитку математичні моделі інтегральних втрат енергії в перехідних режимах теплофікаційних турбін ТЕЦ як основа формування енергетичних показників якості.

3. Набули подальшого розвитку методи визначення вагових коефіцієнтів показників якості теплофікаційних турбін ТЕЦ з урахуванням пріоритетів режимів «електрика-тепло».

4. Вперше запропоновано метод підвищення показників якості роботи теплофікаційних турбін ТЕЦ, заснований на синтезі автоматизованих систем керування та оптимізації їх параметрів.

У *вступі* обґрунтовано актуальність теми дисертації, яка зумовлена сучасними тенденціями розвитку енергетики: зростанням нерівномірності навантажень, інтеграцією відновлюваних джерел енергії, підвищенням вимог до якості теплопостачання та електроенергії, а також необхідністю

зниження паливних витрат і викидів шкідливих речовин. Показано, що в цих умовах істотно зростає роль перехідних режимів роботи ТЕЦ, у яких традиційні системи керування виявляються недостатньо ефективними.

Сформульовано мету та задачі дослідження, визначено об'єкт і предмет досліджень, наведено методи досліджень, розкрито наукову новизну та практичне значення отриманих результатів. Обґрунтовано доцільність використання багатокритеріального підходу до керування теплофікаційними турбінами та комплексного показника якості як узагальненого функціоналу ефективності роботи турбін ТЕЦ в нормальних режимах експлуатації.

У *першому розділі* виконано ґрунтовний аналіз роботи теплофікаційних турбін ТЕЦ та факторів, що визначають якість і ефективність їх функціонування. Розглянуто призначення теплофікаційних турбін у складі ТЕЦ, особливості їхньої роботи у комбінованому режимі виробництва електричної та теплової енергії, а також специфіку взаємодії з тепловими мережами.

Проаналізовано основні експлуатаційні режими теплофікаційних турбін, зокрема номінальні, часткові та перехідні режими, показано їхній вплив на паливну економічність, надійність і якість теплопостачання. Особливу увагу приділено показникам якості теплофікаційних турбін, які систематизовано за групами: енергетичні, техніко-експлуатаційні, динамічні, екологічні та системні.

У підрозділах, присвячених динамічним показникам якості регулювання, детально розглянуто такі характеристики, як перерегулювання, час встановлення, статична похибка та інтегральні критерії якості. Показано, що саме ці показники найбільш чутливо відображають ефективність керування у перехідних режимах і безпосередньо пов'язані з додатковими енергетичними та ресурсними втратами.

Виконано аналіз впливу режимів роботи ТЕЦ на показники якості та енергоефективності, зокрема вплив частки теплового навантаження, параметрів відборів, тиску і температури пари, вакууму та температури мережевої води. Показано, що зміна цих параметрів у перехідних режимах призводить до конфлікту між цілями керування «електрика – тепло – економічність».

Проаналізовано існуючі системи керування теплофікаційними турбінами, їх типові контури регулювання та алгоритми реалізації. Виявлено ключові обмеження таких систем: локальність регулювання, відсутність координації контурів, нелінійність об'єкта, обмеження виконавчих механізмів і запізнення. Проведено аналіз нормативного забезпечення та встановлено відсутність формалізованих вимог до динамічних показників якості керування теплофікаційними турбінами.

За результатами першого розділу сформульовано комплексну наукову задачу дисертації та вимоги до методів її розв'язання.

*Другий розділ* присвячено математичному моделюванню теплофікаційної турбіни, режимів її роботи та показників якості ТЕЦ. Визначено межі об'єкта моделювання, цілі та припущення, сформульовано баланси маси та енергії як основу статичних моделей режимів.

Розроблено статичні моделі теплофікаційної турбіни, що описують взаємозв'язок між витратами пари, електричною потужністю та тепловідпуском через відбори. Отримано узагальнені статичні характеристики «електрика – тепло», які дозволяють оцінювати паливну економічність і втрати енергії залежно від режиму роботи.

Сформовано математичні моделі часткових показників якості ТЕЦ, включаючи енергетичні, техніко-експлуатаційні, динамічні та екологічні показники. Особливу увагу приділено формалізації динамічних показників якості регулювання та інтегральних критеріїв, які використовуються для кількісної оцінки якості перехідних процесів.

Запропоновано математичну модель втрат енергії в перехідних режимах, що враховує дроселювання, відхилення параметрів і часткові навантаження. Сформовано узагальнену функцію втрат, придатну для задач оптимізації систем керування.

Розроблено динамічну модель теплофікаційної турбіни та суміжних об'єктів (паропроводи, регулювальні клапани, відбори, теплоспоживач), а також узагальнену модель у просторі станів для синтезу систем керування. Проведено лінеаризацію моделі в околі робочої точки та обґрунтовано область її коректного застосування.

У *третьому розділі* виконано синтез енергоефективної системи керування теплофікаційною турбіною ТЕЦ. Сформульовано вимоги до системи керування за критеріями енергоефективності, якості теплопостачання, надійності та якості електроенергії.

Запропоновано базову структуру системи керування на основі ПД-регуляторів із координацією контурів «електрична потужність – тиск/витрата – теплове навантаження». Обґрунтовано доцільність каскадно-координаційної структури та структурної розв'язки каналів керування.

Сформульовано багатокритеріальну задачу оптимізації параметрів системи керування та розглянуто окремі постановки оптимізації за різними критеріями: мінімуму питомої витрати палива, максимуму якості теплопостачання, максимуму якості електроенергії та максимуму комплексного показника якості.

Розроблено метод визначення вагових коефіцієнтів показників якості залежно від цілей керування та режимів роботи ТЕЦ. Показано вплив вагових коефіцієнтів на динамічні характеристики системи, зокрема на час встановлення та перерегулювання. Запропоновано алгоритм практичного вибору вагових коефіцієнтів і логіку перемикання режимів з урахуванням гістерезису та обмежень виконавчих механізмів.

*Четвертий розділ* присвячено експериментальним дослідженням і

перевірці запропонованих методів на базі теплофікаційної турбіни Т-100/120-130. Наведено експериментальні параметри турбіни, визначено робочу точку та побудовано лінеаризовану модель у просторі станів.

Виконано розрахунок передатних функцій для трьох основних контурів керування та досліджено перехідні процеси за чотирма критеріями оптимізації. Проведено порівняльну оцінку за динамічними та інтегральними показниками якості, що підтвердило ефективність запропонованого підходу.

На основі отриманих результатів розроблено проєкт технічних умов «Керування показниками якості теплофікаційних турбін ТЕЦ у перехідних режимах», який формалізує вимоги до систем керування та може бути використаний у практиці експлуатації й модернізації ТЕЦ.

У дисертаційній роботі комплексно розв'язано задачу підвищення якості та енергоефективності керування теплофікаційними турбінами ТЕЦ у перехідних режимах шляхом поєднання математичного моделювання, багатокритеріальної оптимізації та експериментальної перевірки. Отримані результати мають наукову новизну, практичну значущість і можуть бути використані для подальшого розвитку систем керування енергетичними об'єктами з метою підвищення комплексних показників якості.

Отримані в роботі нові наукові результати використовуються в навчальному процесі Харківського національного університету імені В.Н.Каразіна, Навчально-науковий інститут «Українська інженерно-педагогічна академія» у вигляді нових додаткових розділів у курсах лекцій з дисциплін: «Сучасні методи та алгоритми систем автоматичного керування», «Автоматизовані системи управління технологічними процесами і об'єктами».

Матеріали дисертації достатньо повно викладені у 12 наукових працях, у тому числі у 4 статтях у наукових фахових виданнях, апробовані на науково-технічних конференціях (опубліковано 8 тез доповідей в

збірниках конференцій).

**Ключові слова:** показники якості, методи оцінювання якості, кваліметричні методи, комплексний показник якості, теплофікаційні турбіни, теплоелектроцентральної, енергоефективність, енергозбереження, техніко-економічні показники, автоматизовані системи керування, оптимізація, нормативне забезпечення.