

ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА»
Факультет автоматизації виробництва та цифрових технологій
Кафедра автоматизації, електро- та робототехнічних систем

АВТОРЕФЕРАТ кваліфікаційної роботи

на здобуття освітнього ступеня магістра

за підсумками виконання
освітньо-професійної програми
«Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в
гірничо-металургійному виробництві»
за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані
технології та робототехніка

**на тему «Модернізація АСУ паровим котлом барабанного типу в
умовах електро-силового цеху коксохімічного підприємства»**

Здобувач

Сергій ПОТОЦЬКИЙ

Кам'янське 2025

Кваліфікаційною магістерською роботою є рукопис.

Робота виконана у Технічному університеті «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» на кафедрі автоматизації, електро- та робототехнічних систем.

Керівник:

Разживін Олексій Валерійович
к.т.н., доцент, доцент кафедри
автоматизації, електро- та
робототехнічних систем

Захист відбудеться 20 лютого 2025 р. о 14:00 год на засіданні
екзаменаційної комісії (https://teams.microsoft.com/l/meetup-join/19%3ameeting_YWU2ZTZjMzUtNTAyZi00ZGRiLTk3NzEtY2ViNDc2MTMyNGE2%40thread.v2/0?context=%7b%22Tid%22%3a%221f6a60da-12a6-4028-9d77-a98fa5c6b40f%22%2c%22Oid%22%3a%2277c2500a-6967-4dab-bab5-8e8029a27710%22%7d).

Електронна версія автореферату розміщена в Інституційному репозитарії ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА» 13 лютого 2025 р.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА КВАЛІФІКАЦІЙОЇ РОБОТИ

Актуальність теми роботи. На сьогоднішній день автоматизація охоплює майже всі виробничі процеси, сприяючи підвищенню якості продукції, зниженню її собівартості та підвищенню надійності виробництва. Автоматизовані системи значно спрощують контроль і управління технологічними об'єктами, а також підвищують рівень безпеки їхньої експлуатації. Водяний пар є основним теплоносієм у виробництві електроенергії, підігріванні колон під час отримання бензолу, системах паро інжекції в коксовому виробництві, а також для підігріву бойлерів опалювальних систем. Його отримання здійснюється за допомогою парового котла.

Постановка проблематики. Складність автоматизації парового котла обумовлена великою кількістю взаємопов'язаних вхідних і проміжних параметрів, значними коливаннями витрати пари споживачами, високими вимогами до точності підтримання вихідних параметрів та великою швидкістю протікання процесів у пароводяному тракті. Найважливішими завданнями при автоматизації котла є точне підтримання тиску та температури перегрітої пари незалежно від коливань по витраті пари споживачами.

Мета дослідження. Підвищення продуктивності та зменшення витрати коксового газу при пароутворенні у котлу, шляхом впровадження автоматизованої системи регулювання тиском та температури перегрітої пари.

Задачі дослідження наступні:

- проведення аналізу технологічного процесу виробництва пари, з метою обґрунтування доцільності модернізації системи автоматичного керування котлом;
- визначення основних регульованих та керуючих параметрів для автоматизації технологічного процесу пароутворення у котлу;
- розроблення математичної моделі контурів регулювання котла, як об'єкта керування;
- здійснення вибору технічних засобів автоматизації та розробка технічної структури системи керування котлом;
- розроблення електричних схем підключення засобів автоматизації до модулів станції програмованого логічного контролера;
- розробка алгоритмів керування, що забезпечують підвищення ефективності функціонування автоматизованої системи регулювання технологічних параметрів пароутворення;
- побудова графічного інтерфейсу автоматизованого робочого місця оператора котельні на базі SCADA-системи;
- обґрунтування економічної доцільності та інвестиційної привабливості розробки.

Об'єкт дослідження – автоматизована система управління технологічним процесом регулювання температури та тиску перегрітої пари.

Предмет дослідження – технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф.

Результати та обґрунтування інноваційності. Проведення ідентифікації технологічних параметрів котлу як об'єкта регулювання, за графіками перехідних процесів отриманих шляхом проведення експериментальних досліджень. Проведено системний аналіз взаємозв'язку між технологічними параметрами з ціллю виявлення їх впливу на параметри що регулюються. Розроблена математична модель взаємодії між контурами регулювання параметрами парового котла барабанного типу. Синтезовано нечіткий супервізор для контурів регулювання парового котла. Проведено порівняльний аналіз перехідних процесів регулювання технологічних параметрів при застосуванні класичного ПІД-регулятора та з застосуванням нечіткого регулятора підключеного паралельно в режимі супервізору. Результати впровадження нечіткого супервізору показали зменшення динамічної похибки та часу перехідного процесу встановлення параметрів що регулюються.

Структура та обсяг роботи. Робота складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи становить 111 сторінок, робота містить 55 рисунків, 14 таблиць. Список використаних джерел складається з 27 джерел.

ОСНОВНА ЧАСТИНА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Проведено загальну характеристику досліджуваної теми та обґрунтовано актуальність роботи, зазначено об'єкт дослідження та визначено мету. Надано інформацію про структуру та обсяг кваліфікаційної роботи. Представлено інформацію про апробацію роботи.

Проаналізовано технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф та основні вимоги до його ведення. Паровий котел розглянуто як об'єкт автоматизації, були визначені вхідні, вихідні параметри та обурюючі впливи. Детально розглянуто конкретні зв'язки між кожним вихідним параметром і вхідними параметрами, які на нього впливають, та обурюючі впливи. Виконано аналіз існуючої системи регулювання технологічних параметрів. На основі проведеного аналізу були виявлені недоліки в системах регулювання температури та тиску перегрітої пари. Проведено літературний огляд наукових досліджень та технічних рішень щодо автоматизації котлоагрегатів.

Проаналізовані новітні підходи до систем автоматичного регулювання технологічних параметрів.

Зазначено та обґрунтовано вимоги до системи автоматизації та перелік задач які вона повинна виконувати: підготовчі завдання перед пуском, у процесі роботи в основному режимі та при зупинці котла. Визначено основні контури схеми регулювання технологічних параметрів котла. З використанням методу системного аналізу виявлено взаємозв'язок між параметрами, що керуються та керуючими впливами, проаналізовані збурюючі впливи. Проведена розробка функціональної схеми автоматизації котлоагрегату, в якій зазначено первинні перетворювачі контролю технологічних параметрів та виконавчі, та регулюючі механізми, докладно викладено принцип роботи. Запропоновано застосування системи автоматичного розпалювання пальників, на основі автомату керування пальником, із застосуванням датчиків ультрафіолетового випромінення. Запроваджені датчики не реагують на інфрачервоне випромінення від нагрітих поверхонь, а також на звичайне світло. Це підвищить рівень безпеки експлуатації котла.

Проведено розробку алгоритмічного забезпечення теплового захисту при пуску. Запропоновано основний алгоритм введення/виведення захисту:

1. Захист за рівнем води в барабані вводиться при досягненні середнього рівня в барабані під час розпалу котла. Вимикається під час зупинки при закритих засувках на живильній лінії.

2. Захист по тиску коксового газу вводиться перед розпалюванням пальників, після проведення вентиляції топки. Вимикається під час зупинки котла та при закритті головної газової засувки на газопроводі до котла.

3. Захист за температурою перегрітої пари від котла вводиться після прийняття 30% навантаження котла та увімкнення автоматичного регулятора температури. Вимикається при зупинці котла та при закритому положенні головної парової засувки.

4. Захист від згасання факела, вводиться відразу після розпалу будь-якого пальника. Вимикається при зупинці котла за відсутності факела в топці.

Проведено обґрунтування та вибір апаратного забезпечення автоматизації для всіх рівнів. Експериментальним методом були отримані перехідні характеристики кожного контуру регулювання. На їх основі графічним методом отримані передатні функції. Методом Зіглера-Нікольса розраховані коефіцієнти для ПІД регуляторів. Проведено математичне моделювання в середовищі MATLAB ланок системи управління котлом. У моделі використовували класичні ПІД регулятори з розрахованими коефіцієнтами. Проведений аналіз показав, що у контурах регулювання тиском пари є суттєве переулювання. Створено нову математичну модель із

застосуванням синтезованого нечіткого супервізора включеного паралельно класичним ПІД регуляторам, який корегує коефіцієнти на різних етапах перехідного процесу. Провели порівняльний аналіз якості регулювання при застосуванні класичного ПІД регулятора, та системи нечіткого супервізора. Розроблено основний алгоритм роботи системи та системи блокування теплового захисту котла. Визначено розподіл основних завдань, що вирішуються на різних рівнях автоматизації, складено перелік основних функціональних завдань, а також надано опис схеми їх взаємозв'язку. Розроблено програмне забезпечення для контролера для виконання основних функцій алгоритму роботи котла. Розроблено програмне забезпечення верхнього рівня SCADA системи.

Впровадження системи автоматичного регулювання парового навантаження дозволить досягти значний економічний ефект, знижуючи витрати на енергоносії через оптимальне регулювання параметрів, а також зменшуючи експлуатаційні витрати. Підвищення якості регулювання забезпечується можливістю точного встановлення витрати та тиску пара для конкретних технологічних процесів.

Запропонована система передбачає отримання економічного ефекту за рахунок зниження витрат коксового газу на 6%. Проведений техніко-економічний аналіз впровадження АСУ ТП показав, що модернізація системи управління знижує витрати праці, підвищує кваліфікацію працівників, оскільки обслуговування системи потребує додаткових навичок роботи з обчислювальною технікою та електроавтоматикою. Очікувані результати проекту: збільшення продуктивності на 8%, зниження собівартості на 4,5%, скорочення витрат на ремонт 3%.

ВИСНОВКИ

Сучасний рівень автоматизації охоплює практично всі виробничі процеси, забезпечуючи підвищення якості продукції, зниження її собівартості та підвищення надійності виробництва. Автоматизовані системи значно полегшують контроль і управління технологічними процесами, а також підвищують безпеку їх експлуатації. Впровадження автоматизованих систем є ключовим напрямком для підвищення конкурентоспроможності та ефективної оптимізації використання ресурсів.

Пар використовується для генерації електроенергії та для технологічних потреб підприємства. Генерацію електроенергії потрібно підтримувати на заданому рівні відповідно до графіку планування генерації на енергетичному ринку. Для виконання договірних зобов'язань перед споживачами тиск перегрітої пари перед турбогенератором необхідно підтримувати на постійному рівні

незалежно від впливу по витраті пари іншими споживачами. Другим найважливішим завданням автоматизації є точне підтримання температури перегрітої пари. Це обумовлено тим що метал екранних труб та магістралей пароперегрівача знаходиться в особливо важких умовах роботи, великі температури можуть призводити до руйнування теплообмінних конструкцій котла та елементів турбіни. Зниження температури перегрітого пара знижує ККД котла та енергосилових установок в цілому, велике зниження температури перегрітої пари призводить до підвищення вологості пара в останніх ступенях турбіни і як наслідок до ерозії лопаток ротора турбіни, збільшення питомої витрати пару, і навіть до аварійних зупинок турбоагрегатів.

Проведене моделювання запропонованої системи регулювання показує наявно переваги його використання. Для перехідного процесу регулювання тиску пари, зменшився рівень коливань перехідної характеристики та підвищилась швидкодія процесу, забезпечуючи більш стабільний і швидкий вихід системи на задане значення. Для перехідного процесу регулювання температури перегрітого пару, мінімізували коливання перехідної характеристики та зменшили динамічну похибку, забезпечуючи більш стабільну роботу системи та точніше утримання заданої температури.

Запропонована система автоматизації котла оперативно реагує на відхилення технологічних параметрів від нормальних умов роботи, запобігаючи аварійним зупинкам котлу і забезпечує безпечну експлуатацію. Також автоматизація котла знижує залежність від досвіду операторів, забезпечуючи стабільну роботу навіть у складних перехідних режимах.

Розроблена SCADA система для операторів, дозволяє ефективно керувати технологічними процесами, забезпечуючи контроль всіх параметрів роботи котла (тиск, температура, рівень води тощо) з одного місця – робочої станції, дозволяє миттєво реагувати на будь-які відхилення від заданих параметрів, зменшуючи ризик аварійних ситуацій. SCADA-система забезпечує запис і збереження даних про роботу котла, що дозволяє проводити аналіз, виявляти причини збоїв та оптимізувати технологічні процеси.

Автоматизація парового котла дозволить зменшити витрати коксового газу на пароутворення, тим самим збільшити продуктивність котла, за рахунок підвищення точності регулювання.

ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЙ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1.Разживін О.В., Олійник І.О., Потоцький С.В., Бобов Г.Р. Нечітка супервізорна система автоматизованого регулювання тиску пару котлоагрегату. Науковий журнал Метінвест Політехніки. Серія технічні наки, № 1 . - Видавничий дім «Гельветика». – Запоріжжя, 2024. – С. 54-62. DOI: [10.32782/3041-2080/2024-1-9](https://doi.org/10.32782/3041-2080/2024-1-9)

АНОТАЦІЯ

Потоцький Сергій Вікторович. Модернізація автоматизованої системи управління паровим котлом барабанного типу, у котельному відділенні енергосилового цеху. - Кваліфікаційна праця на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». ОПП «Інтелектуальні системи управління та робототехнічні комплекси в гірничо-металургійному виробництві» – ТОВ «ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «МЕТІНВЕСТ ПОЛІТЕХНІКА», Кам'янське, 2025.

Об'єктом дослідження є автоматизована система управління технологічним процесом регулювання температури та тиску перегрітої пари.

Предметом дослідження технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф.

У першому розділі проаналізований технологічний процес пароутворення у котлу БКЗ-50-39Ф та наявної системи автоматизації. Проведено аналіз існуючих систем автоматичного регулювання тиску та температури перегрітої пари. В результаті проведеного аналізу визначена необхідність впровадження автоматизованої системи регулювання тиском та температури перегрітої пари для підвищення продуктивності та зменшення витрати коксового газу для пароутворення.

У другому розділі розглянуті основні вимоги до системи автоматизації, визначені задачі управління, контролю та регулювання технологічних параметрів котла. Розроблена схема автоматизації.

У третьому розділі обґрунтовано вибір апаратного забезпечення автоматизації для всіх рівнів. Проведено математичне моделювання контурів регулювання, та виконано аналіз роботи класичного ПІД-регулятора та нечіткого регулятора в режимі супервізора. Розроблена структура програмного забезпечення автоматизованої системи котла. Розроблено програмне забезпечення для контролера для виконання основних

функцій алгоритму роботи котла. Розроблено програмне забезпечення верхнього рівня SCADA системи.

У четвертому розділі проведено аналіз техніко-економічних показників, що підтвердив ефективність впровадження модернізованої автоматизованої системи керування.

Ключові слова: автоматизована система керування, ПІД-регулятор, нечітка супервізорна система, температура перегрітої пари, алгоритм роботи.

ABSTRACT

Pototskyi Serhiy Viktorovych. Modernization of the automated control system of a drum-type steam boiler in the boiler room of the power plant. - Qualification work in the form of a manuscript.

Qualification work for obtaining a master's degree in specialty 174 "Automation, computer-integrated technologies and robotics". OPP "Intelligent control systems and robotic complexes in mining and metallurgical production" - LLC "TECHNICAL UNIVERSITY "METINVEST POLYTECHNIC", Kamianske, 2025.

The object of the study is an automated control system for the technological process of regulating the temperature and pressure of superheated steam.

The subject of the study is the technological process of steam generation in the BKZ-50-39F boiler.

The first section analyzes the technological process of steam generation in the BKZ-50-39F boiler. and the existing automation system. An analysis of existing automatic control systems for the pressure and temperature of superheated steam was conducted. As a result of the analysis, the need to implement an automated control system for the pressure and temperature of superheated steam was identified to increase productivity and reduce the consumption of coke oven gas for steam generation.

The second section considers the main requirements for the automation system, defines the tasks of management, control and regulation of the technological parameters of the boiler. An automation scheme is developed.

The third section justifies the choice of automation hardware for all levels. Mathematical modeling of control loops is carried out, and the analysis of the operation of a classical PID controller and a fuzzy controller in supervisor mode is performed. The software structure of the automated boiler system is developed. Software for the controller is developed to perform the main functions of the boiler operation algorithm. Software for the upper level of the SCADA system is developed.

In the fourth section, an analysis of technical and economic indicators was conducted, which confirmed the effectiveness of the implementation of the modernized automated control system.

Keywords: automated control system, PID-regulator, fuzzy supervisory system, superheated steam temperature, working algorithm.