



УДК 681.5:621.182/.186

## АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА ПАРИ

**Малиш В.С.**

Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9607-8352>E-mail: [rain89304@gmail.com](mailto:rain89304@gmail.com)

Copyright © 2021 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>**DOI: 10.15673/atbp.v15i3.2622**

**Анотація.** В сучасних умовах теплоенергетики займає одне з провідних місць серед інших галузей виробництва, забезпечуючи теплою їх об'єкти. Технологічний процес виробництва пари є одним з ключових процесів на підприємствах харчової та зернопереробної промисловості. Автоматизація виробництва пари є актуальною. Існуючі системи автоматичного керування (САК) не забезпечують високої динамічної точності керування. На кафедрі автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем одеського національного технологічного університету, в рамках випускної роботи магістра, запропоновано ефективну САК з компенсацією запізнення в контурі регулювання розрідження в топці. Паровий котел як об'єкт керування (ОК) є складною динамічною системою. Проведено параметризацію технологічної схеми процесу виробництва пари, побудовано параметричну та координатну схеми ОК, здійснено параметричну та структурну ідентифікацію моделей ОК, проведено оптимальний параметричний синтез та аналіз базової САК та підвищеної динамічної точності. Запропоновані алгоритми керування реалізовані на базі контролера SIMATIC S7-300 фірми Siemens. Розроблено елементи технічного проекту САК: схему автоматизації, принципову електричну схему та інші. З метою інтеграції запропонованих алгоритмів автоматичного регулювання до автоматизованого робочого місця (АРМ) оператора-технолога і наладчика САК ділянки виробництва пари створено SCADA-систему процесу в середовищі WinCC Flexible. Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра САК та програмне забезпечення на базі контролера Fastwel I/O в середовищі CodeSys. Розроблено моделі САК з нечітким та нейрорегулятором, проведено їх моделювання та порівняльний аналіз з традиційною САК.

**Abstract.** In modern conditions, thermal power engineering occupies one of the leading places among other branches of production, providing heat to their facilities. The technological process of steam production is one of the key processes at enterprises of the food and grain processing industry. Automation of steam production is relevant. Existing automatic control systems (ACS) do not provide high dynamic control accuracy. At the Department of Automation of Technological Processes and Robotic Systems of the Odesa National University of Technology, as part of the master's thesis, an effective ACS with compensation for the delay in the rarefaction regulation circuit in the furnace was proposed. A steam boiler as an control object (CO) is a complex dynamic system. The parameterization of the technological scheme of the steam production process was carried out, the parametric and coordinate diagrams of the CO were built, the parametric and structural identification of the OC models was carried out, the optimal parametric synthesis and analysis of the basic ACS and increased dynamic accuracy was carried out. The proposed control algorithms are implemented on the basis of the Siemens SIMATIC S7-300 controller. The elements of the ACS technical project were developed: the automation scheme, the basic electrical scheme and others. In order to integrate the proposed automatic regulation algorithms into the automated workplace (AWP) of the operator-technologist and the ACS adjuster of the steam production section, a SCADA system of the process was created in the WinCC Flexible environment. The technical structure of the ACS microprocessor core and software based on the Fastwel I/O controller in the CodeSys environment were developed. Models of ACS with fuzzy and neuroregulator were developed, their simulation and comparative analysis with traditional ACS were carried out.

**Ключові слова:** виробництво пари, котел, розрідження в топці, автоматичне управління, автоматизація.

**Keywords:** steam production, boiler, rarefaction in the furnace, automatic control, automation.

**Вступ.** Технологічні процеси, швидкість протікання яких визначається інтенсивністю підведення або відведення теплоти, називаються тепловими. До них належать процеси нагрівання, охолодження, випаровування та конденсації. Теплові процеси широко розповсюджені в усіх галузях промисловості, зокрема, в харчовій та переробній промисловості. Джерелом теплоти часто виступає пара, яка виробляється в котельнях підприємств.

Виробництво пари – це процес перетворення технологічної хімічно очищеної води із використанням продуктів горіння палива при високій температурі в насичену пару з тиском, більшим за атмосферний та з



подальшим використанням поза котлоагрегату. Ідея використання енергії пари для здійснення механічної роботи неодноразово висловлювалася задовго до винаходу парової машини. Так, ще за 100 років до нової ери Герон Олександрійський створив паровий котел, пар від якого використовувався для роздмухування вогню. Подібна ідея виникла в італійців Леонардо да Вінчі та Джованні Бранка, француза Соломона де Ко (XVI-XVII ст.), однак вони залишилися незатребуваними аж до кінця XVII ст., коли розвиток суспільного виробництва зажадав переходу від ідей та проектів до промислового використання енергії пари. І тут величезна заслуга належить французькому фізику та математику Папену, який у 1680 р. запропонував побудувати паровий котел тиском близько 10 МПа, в якому був застосований винайдений ним запобіжний клапан. Саме цей винахід, що різко підвищив безпеку та надійність парових котлів, створив передумову до прискореного розвитку котлобудування. У 1707 р. англійцям Т. Ньюкомену і Т. Севері був виданий патент на парову машину та паровий котел, в якому застосований водопідйомний прилад. Установки Ньюкомена застосовували у рудниках для відкачування води. Наприкінці XVIII ст. американський інженер Фітч реалізував патент Блекей на водотрубному прямоточному котлі, встановленому на річковому судні.

В сучасних умовах теплоенергетика займає одне з провідних місць серед інших галузей виробництва, забезпечуючи теплотою їх виробничі об'єкти. Теплові електростанції характеризуються безперервністю технологічного процесу. При цьому виробництво теплоти та електрики повинно відповідати споживанню (навантаженню). Для забезпечення високої ефективності виробництва пари, цим процесом необхідно керувати. Лише автоматичне керування дозволяє одержувати теплоту та електрику з точним дотриманням регламенту. Тому, автоматизація процесу виробництва пари є вельми актуальною.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Питанням автоматизації технологічного процесу виробництва пари займалися багато дослідників. Так В. К. Войтович запропонував керування котлом у внутрішньому циліндрі якого розташована топка з конвективною поверхнею [1]. Недоліком рішення є низький коефіцієнт корисної дії (ККД). Також відома система регулювання температури перегрітої пари в барабанному котлі, запропонована Є. Л. Єремїним, Д. О. Теліченко, яка містить: регулятор температури, який виступає в ролі адаптивного регулятора з введеним сигналом стабілізації по каналу управління або нейро-ПІД-регулятора [2,3]. Недоліком є низька швидкодія при регулюванні температури перегрітої пари, підвищена чутливість до внутрішніх збурень, низька точність регулювання. У роботі Б. А. Штрамбранда запропонований спосіб регулювання режиму горіння у топці котла шляхом вимірювання вмісту окису вуглецю у газовому тракті димоводу шляхом зміни обертів електродвигуна димососа та (або) вентилятора подачі повітря у топку котла [4]. Недоліки: неузгодження швидкості подачі газу, повітря та розрідження з інерційністю димососів та вентиляторів, що приводить до короткочасного виходу розрідженні та тиску повітря за допустимі межі і, як наслідок, виникнення аварійної ситуації. У способі, запропонованому А. І. Ямаєвим, формують сигнал впливу на поворотну заслінку у повітроводі після дут'євого вентилятора, шляхом регулювання частоти обертання дут'євого вентилятора при виході кута відкриття поворотної заслінки за задані межі [5]. Недоліком способу повільне реагування на зміну кількості та якості палива, яке надходить до пальника. Р. К. Стасевич, О. В. Садовой та ін. запропонували безперервний вимір вмісту оксиду вуглецю (CO) в димовому тракті, витрати тиску повітря та палива, розрідження в димовому тракті, підтримування в топці заданого вмісту CO та кисню (O<sub>2</sub>) шляхом зміни обертів вентилятора і димососа [6]. Недоліком способу є не дотримання граничного значення ККД, адже керують лише за максимальним значенням відношення продуктивності котлоагрегату до витрати палива. Деякого розповсюдження на території України набула розроблена В. А. Барським адаптивної системи керування тягодут'євими механізмами котельних агрегатів ЕКО-3 [7]. Однак, складність інсталяції та висока вартість комплексу унеможливило його широке застосування у теплоенергетичній промисловості. Серед закордонних систем автоматичного контролю якості процесу горіння найбільшого поширення набули стаціонарні багатофункціональні пристрої, робота яких базується на використанні датчиків O<sub>2</sub>, CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> та ін. [8-10]. Такі системи не є універсальними і можуть бути використанні тільки разом з котлами певного типу. Наступним є спосіб автоматичного управління подачею повітря в топку котла, шляхом виміру навантаження котла, витрати палива та повітря з керуючим впливом на приводи дут'євих вентиляторів та корегуючого впливу за співвідношенням паливо-повітря [11]. Недоліком даного способу є обмеження точності регулювання співвідношення паливо-повітря. Також відомий спосіб автоматичного управління подачею повітря в топку котла, що забезпечує режим оптимального горіння [12]. Недоліком цього способу є низька якість регулювання витрати палива та повітря.

Таким чином, всі розглянуті рішення мають різні недоліки, але всі вони не забезпечують високої динамічної точності керування, в результаті наявності суттєвого запізнення в контурі регулювання розрідження в топці.

На кафедрі автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем одеського національного технологічного університету, в рамках випускної роботи магістра, з метою підвищення ефективності виробництва пари було вирішено задачу підвищення ефективності функціонування системи автоматичного регулювання (САР) параметрів виробництва пари шляхом підвищення інтелектуального рівню алгоритмів керування ключовими технологічними процесами за рахунок підвищення динамічної точності керування процесом.



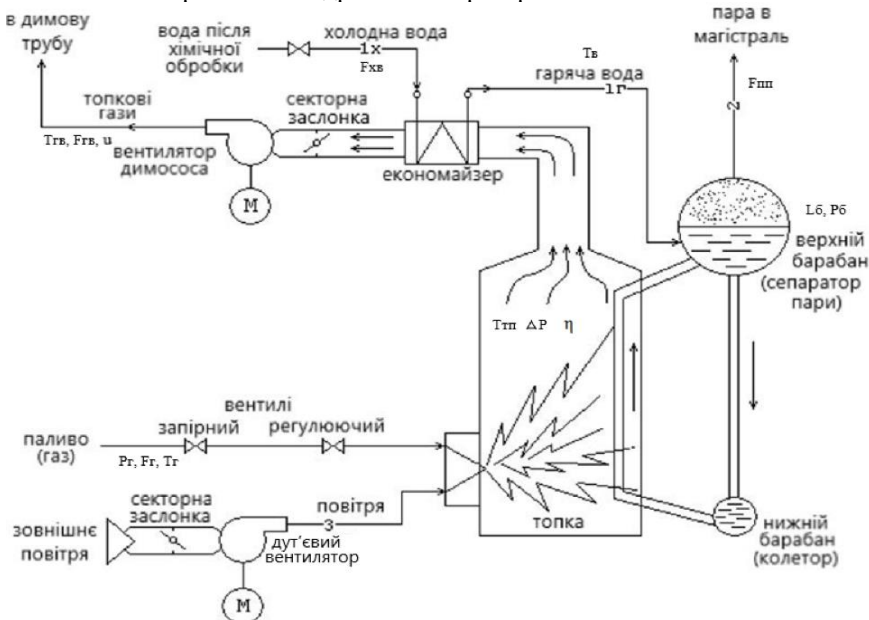
**Мета і завдання досліджень.** Метою дослідження є підвищення ефективності процесу виробництва пари шляхом побудови високоефективної системи автоматичного керування.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні завдання:

- конкретизація задачі дотримання регламентів керування технологічним процесом виробництва пари, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта регулювання в імітаційному середовищі Matlab;
- розробка і параметрична оптимізація алгоритмів регулювання в середовищі Simatik Step 7, порівняльний аналіз САР;
- конкретизація задачі і розробка алгоритмів логічного керування технологічним процесом виробництва пари з використанням дуг'євого вентилятора;
- вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів;
- розробка контролерно-комп'ютерної мережі, програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК;
- розробка SCADA системи з використанням додатку WinCC Flexible для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК;
- розробка проектної документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці;
- попереднє обґрунтування економічної доцільності реалізації розробки.

**Методи і матеріали досліджень.** Для ідентифікації моделей було використано методи активного та пасивного експерименту, метод типової статистичної ідентифікації та інженерні методики ідентифікації моделей ОК. При синтезі САР було використано методи теорії автоматичного керування, а саме інженерні методики параметричного синтезу САР, оптимальний параметричний синтез, принципи компенсації запізнення з використанням упереджувача Сміта. Основним використаним методом дослідження є метод системного аналізу. Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання.

**Результати досліджень.** На початку вирішення задачі побудови ефективної САР процесу виробництва пари було проаналізовано його як об'єкт керування, проаналізовано матеріальний, тепловий та масообмінний баланси процесу, виявлено ключові параметри процесу. У результаті було параметризовано технологічну схему процесу (рис. 1) з подальшою побудовою параметричної схеми (рис. 2). Проведено визначення регламентних параметрів з подальшим виділенням тиску в топці котла в якості регульованої координати. Проаналізовано вплив параметрів зовнішнього середовища на хід процесу з подальшим виділенням керуючих дій та збурень. Далі експериментальними методами було ідентифіковано моделі динаміки та статички каналів перетворення керуючих дій та відтворено у середовищі імітаційного моделювання, перевірено на адекватність експериментальним даним. Наступним етапом був синтез та аналіз САР базової структури та з компенсацією запізнення в контурі регулювання тиску в топці котла (рис. 4). В якості базового було обрано ПД-алгоритм регулювання. Параметричний синтез САР проводився спочатку за інженерними методиками, а потім оптимальним параметричним синтезом за інтегральним квадратичним критерієм.



**Рис. 1 – Параметризована технологічна схема процесу виробництва пари**

$T_{\text{Г}}$  – температура гарячої води;

$P_{\text{Б}}$  – тиск в барабані;

$F_{\text{Хв}}$  – витрата холодної води;

$T_{\text{Тп}}$  – температура в топці;



- |                                                      |                                                                     |
|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| $P_g$ – тиск газу на пальник;                        | $\Delta P$ – тиск в топці котла;                                    |
| $F_g$ – витрати газу;                                | $T_{гв}$ – температура відпрацьованих газів;                        |
| $T_g$ – температура газу;                            | $F_{гв}$ – витрати відпрацьованих газів;                            |
| $T_{нв}$ – температура повітря;                      | $u$ – положення регулюючого органу, що керує потоком димових газів; |
| $F_{пп}$ – витрати перегрітої пари;                  | $\eta$ – ККД котлоагрегату.                                         |
| $\delta l$ – наліт на трубах нагрівальної секції, %; |                                                                     |
| $L_6$ – рівень води в барабані;                      |                                                                     |

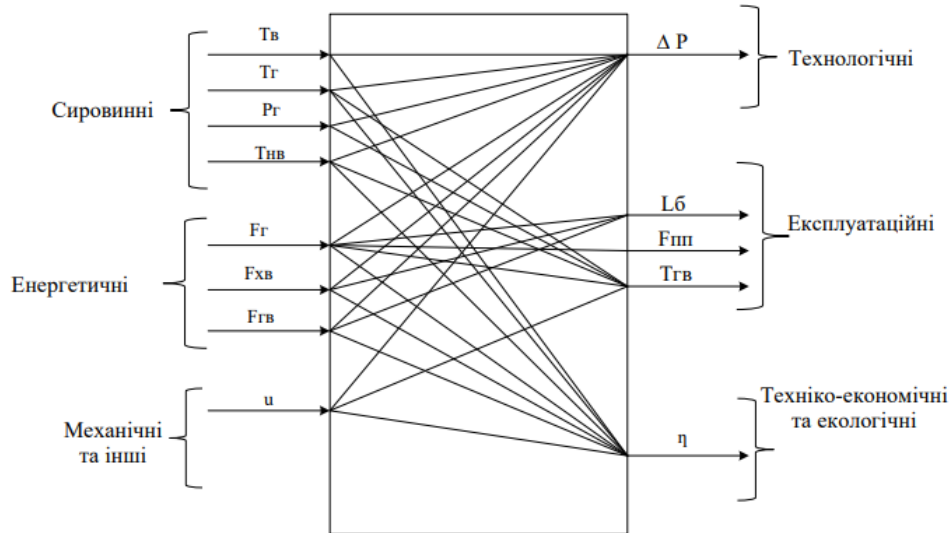


Рис. 2 – Параметрична схема процесу виробництва пари



Рис. 3 – Координатна схема ОК

$f$  – неконтрольоване збурення

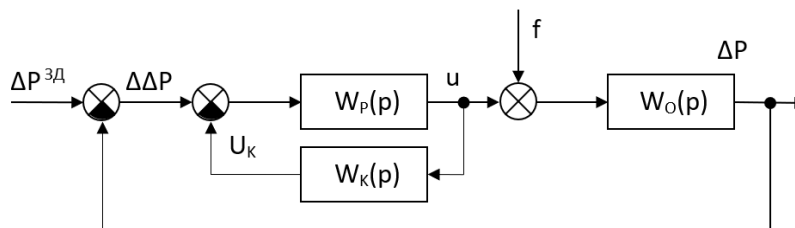


Рис. 4 – Структурна схема САР з компенсацією запізнення в каналі регулювання

- |                                                            |                                                     |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| $\Delta P^{зд}$ – задане значення тиску в топці котла, Па; | $W_p(p)$ – передаточна функція регулятора;          |
| $\Delta P$ – поточне значення тиску в топці котла, Па;     | $W_k(p)$ – передаточна функція коригуючого зв'язку; |
| $\Delta \Delta P$ – помилка регулювання, Па;               | $W_o(p)$ – передаточна функція об'єкту керування.   |
| $U_k$ – коригуючий сигнал, Па;                             |                                                     |

У розвиток запропонованих рішень з підвищення ефективності регулювання параметрів процесу виробництва пари було опрацьовано питання програмної реалізації запропонованих алгоритмів на базі контролера SIMATIC S7-300 фірми Siemens. У подальшому було створено SCADA-систему процесу в середовищі WinCC Flexible (рис. 5). Метою цього була інтеграція запропонованих алгоритмів автоматичного регулювання до АРМ оператора-технолога і наладчика САК ділянки виробництва пари.

Далі було розроблено логічні алгоритми пуску-зупинки системи виробництва пари в штатному та аварійному режимах, розроблена функціональна логічна схема, проведена її реалізація в середовищі MATLAB. Наступним



етапом був здійснений вибір технічних засобів одержання інформації про хід технологічного процесу та цілеспрямованого впливу на його хід.

Далі було розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування та програмне забезпечення системи автоматичного керування паровим котлом на базі контролера Fastwel I/O в середовищі CodeSys. Була розроблена програма, що реалізує алгоритм логічного керування обладнанням парового котлу, був реалізований алгоритм автоматичного пуску та зупинки котлу. Тестування даного алгоритму показало, що програма працює коректно. Для реалізації системи керування на базі контролера фірми Siemens було виконано обґрунтований вибір необхідних модулів контролерів і програмного забезпечення сімейства Simatic S7-300.

Було розроблено елементи технічного проекту САК а саме розроблено схему автоматизації, принципову електричну схему контролю та керування, принципову електричну схему живлення, загальний вид щита оператора, монтажну схему щита оператора, схему зовнішніх проводок.

В середовищі SCADA - системи WinCC Flexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК паровим котлом (рис. 5).

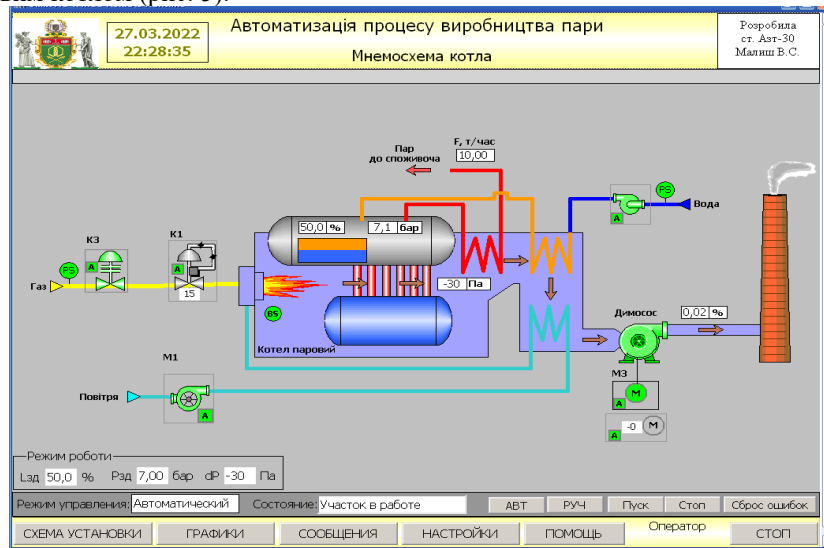


Рис. 5 – Загальний вигляд екрану «Мнемосхема котла» при нормальній роботі

Наступним етапом було удосконалення алгоритмів, що реалізують функції регулювання САК, на основі застосування апарату нечіткої логіки та штучних нейронних мереж. Для підтвердження актуальності застосування такого апарату перейшли до нелінійної моделі ОК.

**Обговорення результатів досліджень.** У результаті ідентифікації математичних моделей процесу виробництва пари як ОК можна зробити висновки, що канали ОК можуть бути описаними статичними аперіодичними ланками першого або другого порядку та ланками запізнення.

Підготовка моделі ОК до машинних експериментів для синтезу і аналізу САР передбачила реалізацію математичних моделей ОК комплексно у абсолютних величинах. Це дозволило дослідити роботу САР в умовах вимушеного руху системи, виключаючи при цьому власний рух системи, який є вадами налаштування моделі ОК.

Аналіз якості роботи САР проводився на предмет дотримання гранично припустимих вимог. Так було встановлено, що САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності (ПДТ) відповідають гранично-припустимим вимогам (рис. 6). Також варіанти САР було проаналізовано на «грубість», тобто несуттєву чутливість до 20%-ї варіації параметрів ОК. САР є «грубою».

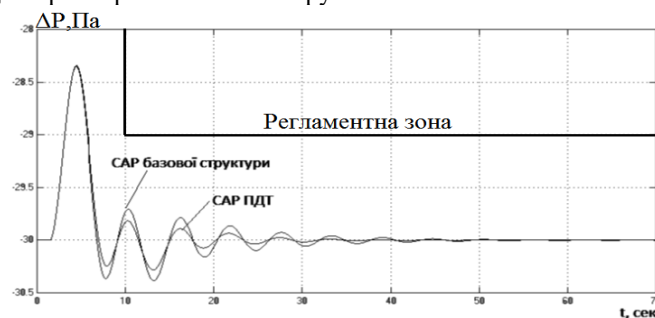


Рис. 6 – Результати порівняння САР базової структури та САР ПДТ



Порівняння варіантів САР базової структури і САР ПДТ проводилося за прямими показниками якості та за інтегральним показником (табл. 1), що дозволило зробити висновок про те, що САР з компенсацією запізнення в контурі регулювання не дає суттєвого покращення показників якості перехідних процесів ОК, але має кращі показники якості перехідних процесів при найсприятливіших для керування та найнесприятливіших для керування варіаціях параметрів ОК, це означає, що САР з компенсацією запізнення розширяє запас стійкості САР базової структури.

Таблиця 1. – Результати порівняння САР базової структури та САР ПДТ

Варіант САР	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta\Delta P^{\text{МАКС}}$ , °C	T <sub>пш</sub> , с	
Базова	1,66	5,5	6,6
Підвищеної динамічної точності	1,66	5,5	6,48

Розроблена в Step7 програмна реалізація алгоритмів регулювання включає алгоритми автоматичного пуску, автоматичної технологічної та аварійної зупинки, можливість ручного керування, а також САР ПДТ.

Порівняльний аналіз САК традиційної, з нечітким регулятором та з нейрорегулятором продемонстрував, що використання нечіткого регулятора зменшило час регулювання в САК а використання нейрорегулятора зменшило максимальне динамічне відхилення та інтегральний показник якості регулювання САК (табл. 2).

Таблиця 2. – Результат порівняльного аналізу показників якості регулювання різних САК

Показн. Якості	Типи САК	САК з традиційним ПД-регулятором	САК з нечітким регулятором	САК з нейро-регулятором
Час регулювання		≈12	≈7	≈10
Максимальне динамічне відхилення		≈0.85	≈0.9	≈0.8
Інтегральний показник		1,8319	2,0003	1,71

### Висновки

Технологічний процес виробництва пари є одним з ключових процесів на підприємствах харчової та зернопереробної промисловості.

Автоматичне керування виробництвом пари дозволяє одержувати теплоту та електрику з точним дотриманням регламенту, що обумовлює актуальність автоматизації цього процесу.

Результати аналізу існуючих рішень, що до автоматизації виробництва пари показують, що вони не забезпечують високої динамічної точності керування, в результаті наявності в контурі регулювання розрідження в топці котла суттєвого запізнення.

На кафедрі автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем одеського національного технологічного університету, в рамках випускної роботи магістра, з метою підвищення ефективності виробництва пари було вирішено задачу підвищення ефективності САК виробництвом пари шляхом підвищення інтелектуального рівню алгоритмів керування.

Паровий котел як об'єкт керування являє собою складну динамічну систему.

Аналіз існуючих САК процесом виробництва пари демонструє наявність значного запасу підвищення ефективності процесу.

Параметризація технологічної схеми процесу, подальша побудова параметричної та координатної схеми, складання регламентних параметрів, параметрична та структурна ідентифікація моделей ОК дозволили провести оптимальний параметричний синтез та аналіз САР базової структури.

Підвищення динамічної точності керування здійснено шляхом компенсації запізнення в контурі регулювання розрідження в топці котла.

Запропоновані алгоритми керування програмно реалізовані на базі контролера SIMATIC S7-300 фірми Siemens.

Розроблено елементи технічного проекту САК, а саме розроблено схеми автоматизації, принципова електрична схема та інші.

З метою інтеграції запропонованих алгоритмів автоматичного регулювання до АРМ оператора-технолога і наладчика САК ділянки виробництва пари було створено SCADA-систему процесу в середовищі WinCC Flexible.

Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра САК та програмне забезпечення на базі контролера Fastwel I/O в середовищі CodeSys.

Розроблено моделі САК з нечітким та нейрорегулятором, проведено їх моделювання та порівняльний аналіз з традиційною САК.

**Список використаних джерел**

1. UA 60340 С2. Котел вертикально-цилиндричний паровий / В.В. Кіндратович. МПК 7F24Н1/О8. Заявл. 21.02.00 № 2000020957. Оpubл. 15.10.03. Бюл. №10. – 2с.
2. RU 139014, Система автоматической регулировки температуры перегретого пара барабанного котла / Є.Л. Єремін, Д.О. Теліченко. МПК F22В 35/00, 2006.01; заявл. 15.04.2013 №2013117117/06. Оpubл. 27.03.2014.
3. RU 143268. Система автоматической регулировки температуры перегретого пара барабанного котла Н.А . Акілова Є. Л. Єремін Д. О. Теліченко. МПК F22В 35/00, 2006.01; заявл. 13.04.2014, Оpubл. 20.07.2014.
4. RU 2247900, Метод автоматического регулирования режима горения в топке котла. / Штрамбранд Б.А., Киселев М.В. МПК F23N1/02. – 2003107130/06; заявл. 27.09.2004; опубл. 10.03.2005. – 4 с.
5. RU 2349838,. Способ автоматического регулирования подачи воздуха в топку отопительного котла / Ямаев А.І, Озеров М.Ю. МПК F23N1/02. – 2007103029/06; заявл. 27.07.2008; опубл. 20.03.2009. – 5 с.
6. UA №36015. Спосіб автоматичного керування, контролю, захисту та сигналізації котлоагрегату / Р.К. Стасевич, О.В. Садовой, В. І. Романенко та ін. МПК F23N 1/02; заявл. 12.05.2008 №200806227 . Оpubл. 10.10.2008. Бюл.№ 19.
7. Барський В.А. Адаптивна система управління тягодут'євими механізмами котельних агрегатів ЕКО-3/В.А. Барський, А.Є. Фрішман, А.Ю. Лисенка // Електромеханічні і енергозберігаючі системи. – №3. – 2012. – С. 199-201.
8. USA 5585547, IPC G01N 27/26. Oxygen sensor probe for boiler / Ki S. Kim, Han S. Song, Geun C. Yum, Dae J. Ko (Rep. of Korea) – № 369537; fil. 5.01.1995; publ. 17.12.1996. – 8 p.
9. USA 7756591B2, IPC G05B 13/02. System for optimizing oxygen in a boiler / J. Jia, S. Piche, H. Beaver (USA) – № 11/680084; fil. 25.04.2006; publ. 13.07.2010. – 22 p.
10. USA 8230825B2, IPC F22B 37/42. Boiler control system / Warren G. Knorr, Jr (USA) – № 12/045,294; fil. 10.03.2008; publ. 31.07.2012. – 14 p.
11. АС СССР №1627787 Способ и система автоматического управления подачей воздуха в топку котла. МКІ F23N3/00; опубл.15.02.91. Бюл. №6.
12. UA №46215 F23N3/00 Спосіб та система (варіанти) автоматичного управління подаванням повітря в топку котла; опубл.15.05.02. Бюл. №5.

**References**

1. UA 60340 S2. Kotel vertikalno-tsilindrichniy paroviy / V.V. KIndratovich. MPK 7F24H1/O8. Zayavi. 21.02.00 № 2000020957. Opubl. 15.10.03. Byul. №10. – 2s.
2. RU 139014, Sistema avtomaticheskoy regulirovki temperatury peregretogo para barabannogo kotla / E.L. ErEmIn, D.O. Telichenko. MPK F22B 35/00, 2006.01; zayavl. 15.04.2013 №2013117117/06. Opubl. 27.03.2014.
3. RU 143268. Sistema avtomaticheskoy regulirovki temperatury peregretogo para barabannogo kotla N.A . AkIllova E. L. Eremin D. O. Telichenko. MPK F22B 35/00, 2006.01; zayavl. 13.04.2014, Opubl. 20.07.2014.
4. RU 2247900, Metod avtomaticheskogo regulirovaniya rezhima goreniya v topke kotla. / Shtrambrand B.A., Kiselev M.V. MPK F23N1/02. – 2003107130/06; zayavl. 27.09.2004; opubl. 10.03.2005. – 4 s.
5. RU 2349838,. Sposob avtomaticheskogo regulirovaniya podachi vozduha v topku otopitelnogo kotla / Yamaev A.I, Ozerov M.Yu. MPK F23N1/02. – 2007103029/06; zayavl. 27.07.2008; opubl. 20.03.2009. – 5 s.
6. UA №36015. Sposib avtomatichnogo keruvannya, kontrolyu, zahistu ta signalizatsiyi kotloagregatu / R.K. Stasevich, O.V. Sadovoy, V. I. Romanenko ta in. MPK F23N 1/02; zayavl. 12.05.2008 #200806227 . Opubl. 10.10.2008. Byul.№19.
7. Barskiy V.A. Adaptivna sistema upravlinnya tyagodutevimi mehanizmami kotelnih agregativ EKO-3/V.A. Barskiy, A.E. Frishman, A.Yu. Lisenka // ElektromehanIchnI energozberIgayuchI sistemi. – #3. – 2012. – S. 199-201.
8. USA 5585547, IPC G01N 27/26. Oxygen sensor probe for boiler / Ki S. Kim, Han S. Song, Geun C. Yum, Dae J. Ko (Rep. of Korea) – № 369537; fil. 5.01.1995; publ. 17.12.1996. – 8 p.
9. USA 7756591B2, IPC G05B 13/02. System for optimizing oxygen in a boiler / J. Jia, S. Piche, H. Beaver (USA) – № 11/680084; fil. 25.04.2006; publ. 13.07.2010. – 22 p.
10. USA 8230825B2, IPC F22B 37/42. Boiler control system / Warren G. Knorr, Jr (USA) – № 12/045,294; fil. 10.03.2008; publ. 31.07.2012. – 14 p.
11. AS SSSR №1627787 Sposob i sistema avtomaticheskogo upravleniya podachey vozduha v topku kotla. MKI F23N3/00; opubl.15.02.91. Byul. №6.
12. UA №46215 F23N3/00 Sposib ta sistema (varianti) avtomatichnogo upravlinnya podavannyam povitrya v topku kotla; opubl.15.05.02. Byul. №5.

Отримана в редакції 25.05.2023. Прийнята до друку 17.07.2023. Received 25 May 2023. Approved 17 July 2023. Available in Internet 12 September 2023.