

УДК 681.5

doi:10.20998/2413-4295.2026.01.08

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ ПЕРЕГРІТОЇ ПАРИ

П. О. КАЧАНОВ*, М. В. ТАРАСЕНКО

Автоматика та управління в технічних системах, НТУ «ХПІ», м. Харків, УКРАЇНА

*e-mail: Petro.Kachanov@khpі.edu.ua

АНОТАЦІЯ Розроблено та досліджено системи автоматичного регулювання температури перегрітої пари для барабанного котлоагрегату. Розглянуто ключові фактори необхідності підтримання температури перегрітої пари в допустимих межах для безпечної, надійної та економічної роботи котлоагрегату й турбіни. Проаналізовано статичні та динамічні властивості пароперегрівача, зокрема наявність значних запізнь, що ускладнюють керування. Розглянуто методи регулювання температури, серед яких найбільш поширеним є впорскування живильної води. Синтезовано двоімпульсну систему автоматичного регулювання, структурні особливості якої дають змогу компенсувати збурення по каналах витрати та теплового впливу. На основі експериментальних даних побудовано математичну модель і виконано моделювання в Simulink. У результаті проведених досліджень було отримано показники, що демонструють високу точність: перерегулювання 1,57%, відхилення під час збурень — 4–5 °С. Запропонована система забезпечує необхідну швидкодію та стабільність і може бути основою для подальшого розвитку, включно з інтеграцією методів машинного навчання. Результати моделювання підтвердили ефективність двоімпульсної структури, що дозволяє мінімізувати вплив запізнь і забезпечити стійкість системи в широкому діапазоні режимів роботи. Запропонований підхід може бути адаптований для інших типів котлоагрегатів, а також інтегрований у сучасні системи керування енергоблоками для підвищення їхньої надійності та економічності.

Ключові слова: система автоматичного регулювання; теплова енергетика; паровий котел; температура перегрітої пари; Simulink; математична модель

AUTOMATIC SUPERHEATED STEAM TEMPERATURE CONTROL SYSTEM

P. KACHANOV*, M. TARASENKO

Department of Automation and Control in Technical Systems, NTU "KhPI", Kharkiv, UKRAINE

ABSTRACT An automatic control system for superheated steam temperature of a drum-type boiler unit has been developed and investigated. Maintaining the superheated steam temperature within permissible limits is a key factor for the safe, reliable, and economical operation of the boiler unit and turbine, since deviations may lead to thermal overloading of metal components, increased steam moisture, and reduced power unit efficiency. The static and dynamic characteristics of the superheater were analyzed, in particular the presence of significant time delays that complicate control. Methods of temperature control were considered, among which feedwater spraying is the most commonly used. A two-impulse automatic control system was synthesized; its structural features make it possible to compensate disturbances through the flow-rate and thermal-effect channels. Based on experimental data, a mathematical model was built and simulation was carried out in Simulink. As a result of the study, performance indicators demonstrating high accuracy were obtained: overregulation of 1.57%, deviations during disturbances - 4–5 °C. The proposed system provides the necessary speed and stability and can be the basis for further development, including the integration of machine learning methods. The simulation results confirmed the effectiveness of the two-impulse structure, which minimizes the impact of delays and ensures system stability across a wide range of operating conditions. The proposed approach can be adapted for other types of boiler units and integrated into modern power plant control systems to enhance their reliability and efficiency.

Keywords: automatic control system; thermal power engineering; steam boiler; superheated steam temperature; Simulink; mathematical model

Вступ

Температура перегрітої пари після котлоагрегату належить до параметрів, що безпосередньо відображають тепловий стан пароперегрівача та визначають умови роботи паропроводів і проточної частини турбіни. Перевищення допустимого рівня температури прискорює деградацію металу (повзучість, старіння, накопичення пошкоджень) та зменшує ресурс найбільш термічно напружених елементів, тоді як зниження температури погіршує економічність енергоблока і може супроводжуватися підвищенням

вологості пари та інтенсифікацією ерозійного зношування лопаток у кінцевих ступенях турбіни. У реальних умовах експлуатації вимоги до точності регулювання задаються жорсткими технологічними допусками, які для котлів різних класів тиску зазвичай перебувають у межах одиниць до десятка градусів. Не менш важливою є динаміка: великі градієнти температури в перехідних режимах формують додаткові термічні напруження, тому система керування має обмежувати не тільки величину відхилення, а й швидкість зміни температури під час маневрування навантаженням.

Об'єкт регулювання температури перегрітої пари має розподілений характер і поєднує значну теплову інерцію з відчутними запізненнями газопарового тракту. Динамічні властивості пароперегрівача змінюються залежно від режиму роботи котла, стану поверхонь нагріву (забруднення, жужелювання), характеристик палива та організації процесу горіння. До основних збурень, що впливають на температуру, належать зміна навантаження та витрати пари, температура живильної води, коливання надлишку повітря й теплового потоку до поверхонь нагріву. Додаткові труднощі створюють взаємодії з суміжними контурами (паливо-повітря, навантаження, живлення, розрідження), через що регулювання температури практично завжди відбувається в умовах міжконтурних впливів і змінної "ефективності" керуючого каналу.

Найпоширенішим технологічним способом впливу на температуру перегрітої пари є парове охолодження шляхом дозованого впорскування води (аттемперація) або застосування пароохолоджувачів. Перевагою такого рішення є простота реалізації та сумісність із типовими засобами АСУ ТП, однак сам канал "впорскування-температура" характеризується інерційністю й запізненням, а результат дії залежить від поточного режиму котла. Через це класичне регулювання лише за відхиленням кінцевої температури часто виявляється недостатнім для одночасного забезпечення швидкодії та стійкості, особливо під час швидких змін навантаження. Практично доцільним є застосування структур, які поєднують зворотний зв'язок за температурою з додатковими сигналами, що відображають зміну режиму (наприклад, витрату пари або проміжні температури), тобто реалізують принцип випереджальної компенсації збурень.

У сучасних дослідженнях запропоновано широкий спектр підходів до підвищення якості регулювання. Зокрема, модифіковані варіанти орієнтовані на оцінювання й компенсацію сумарних збурень демонструють робастність до неточності моделі [1]. Нечіткі регулятори та процедури оптимізації їх параметрів використовуються для покращення перехідних процесів у змінних режимах [2], а багатокритеріальна оптимізація застосовується для узгодження вимог до точності, швидкодії та обмежень на керуючу дію [3]. Також розвиваються нейромереві та нейро-нечіткі підходи, здатні враховувати нелінійність і формувати прогнозні керуючі дії, що є перспективним рішенням за наявності запізнь [4–7]. Водночас для промислового застосування критичними залишаються відтворюваність налаштування, стійкість при зміні режимів і потреба в даних, тому актуальними є рішення, які зберігають технологічну простоту та забезпечують компенсацію основних збурень за рахунок структури системи.

Актуальним є дослідження системи автоматичного регулювання температури перегрітої

пари, що спирається на технологічно прийнятний канал аттемперації та використовує двохімпульсну структуру для підвищення стійкості й швидкодії за умов запізнь і режимних змін.

Мета роботи

Метою роботи є розробка системи автоматичного регулювання температури перегрітої пари барабанного котлоагрегату та оцінювання її показників якості за зміни навантаження і дії основних збурень.

Виклад основного матеріалу

Для барабанного парового котлоагрегату температура перегріву пари в режимі, що встановився, залежить від розподілу загального сприйняття тепла між випарними поверхнями нагріву і пароперегрівачами. Розподіл це змінюється як зі зміною навантаження котла, так і при інших відхиленнях експлуатаційного режиму - шлакування топки, забруднення поверхонь нагріву, зміни температури поживної води, надлишку повітря, поглинання тини помелу пилу, порушення роботи сепараційних пристроїв.

Залежність відхилення температури перегріву пари від кожного з цих факторів в режимах, що встановилися, характеризує статичні властивості котельного агрегату, а закони зміни температури в часі при різних збуреннях - динамічні властивості

Величина та напрямок відхилення температури перегріву пари при зміні навантаження котла визначається конструкцією пароперегрівача та місцем розташування його у газовому тракту. Статичні характеристики пароперегрівача зображені на рисунку 1.

Для суто конвективного пароперегрівача температура перегріву різко зростає зі збільшенням навантаження (рис. 1). Це пояснюється тим, що при збільшенні навантаження зростають об'єм, швидкість і температура продуктів згорання в газаходах котла і, отже, частка тепла сприйнятого конвективними поверхнями нагріву. Теплосприйняття радіаційних поверхонь нагріву зростає не пропорційно навантаженню (рис. 1), з підвищенням навантаження воно змінюється незначно і зі збільшенням витрати пари температура його знижується.

Пароперегрівач сучасного парового котла, розташований безпосередньо за фестоном, сприймає тепло за рахунок конвекції та частково за рахунок радіації. Тому зростання температури перегріву пари зі збільшенням навантаження значно скорочується порівняно з характеристикою суто конвективного пароперегрівача і не перевищує 20-30°C при повному діапазоні змін навантажень (Рис. 1, крива 3), тобто характеристика пароперегрівача сприяє підтримці постійної температури, але забезпечити її може.

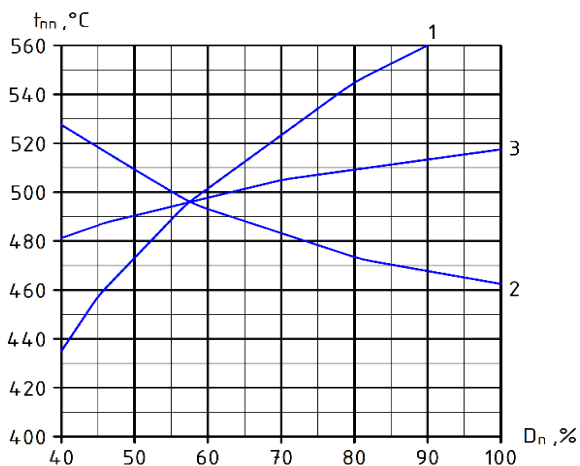


Рис. 1 – Статичні характеристики пароперегрівача

Динаміка пароперегрівача формується геометрією та теплообмінними властивостями його поверхонь нагріву, поточним режимом роботи котла і тим, через який канал надходить збурення.

Для системи автоматичного регулювання температури перегрітої пари робочим, як правило, вважають діапазон маневрування навантаженням 60–100 % для пиловугільних котлів та 30–100 % для газомазутних котлоагрегатів.

Порушення режиму, що проявляються відхиленням температури перегріву, доцільно узагальнити у три типові групи збурень, які діють на пароперегрівач:

1. Зміна ентальпії (тепловмісту) пари на вході до пароперегрівача внаслідок коливань її температури або вологості.
2. Зміна теплопідведення до пароперегрівача через зміну температури та/або витрати димових газів, що обігрівають поверхні нагріву.
3. Зміна масової витрати пари, що проходить через пароперегрівач.

Спільною рисою реакції пароперегрівача на зазначені збурення є наявність запізнення: помітна зміна температури на виході виникає лише через певний інтервал після прикладання збурювальної дії (рис. 2).

Найбільше запізнення зазвичай спостерігається у випадку збурення, пов'язаного з тепловмістом пари на вході. Для різних типів котлів ємнісна складова запізнення, як правило, становить 30–90 с. Це пояснюється тим, що охолоджена пара, потрапляючи у пароперегрівач, спершу підігрівається не тільки потоком теплоти від димових газів, але й за рахунок запасеної енергії металу труб, тому вихідна температура реагує із затримкою. Час запізнення τ і тривалість розгону T_a зростають зі збільшенням товщини стінки та довжини труб пароперегрівача.

Для збурень інших типів цей інтервал, як правило, істотно менший, а форма перехідної характеристики на виході пароперегрівача

залишається подібною за загальним характером зміни температури.

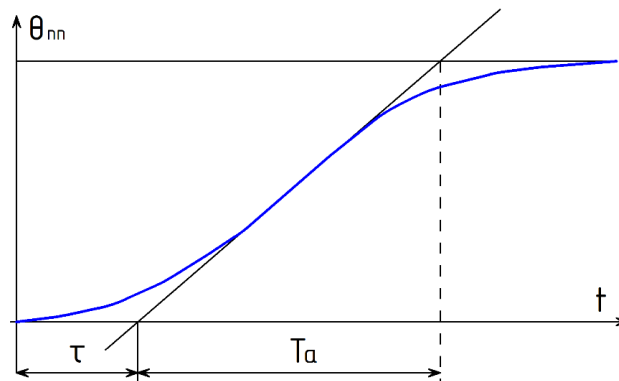


Рис. 2 – Динамічна характеристика пароперегрівача

За збурень інших типів запізнення, як правило, істотно менше, а форма перехідної характеристики пароперегрівача за загальним виглядом і тенденцією зміни температури залишається подібною.

У практиці виділяють три принципові способи регулювання температури перегріву: регулювання змішуванням (аттемперація), поверхневе охолодження та зміна теплового впливу на пароперегрівач. У схемах змішування в паровий потік вводять живильну воду або конденсат (турбінний чи власний), а в окремих рішеннях також можливе введення пари з меншою ентальпією.

Для впорскувального пароохолоджувача базується на тому, що введений охолоджувач випаровується, відбираючи теплоту від перегрітої пари, унаслідок чого зменшується її ентальпія та температура. Керуючий вплив реалізують дозуванням кількості охолоджувача, що подається у паропровід, тим самим задаючи необхідне зниження температури пари на виході з пароперегрівача.

Впорскувальні пароохолоджувачі розміщують у проміжних перерізах пароперегрівача. Для покращення якості регулювання та зменшення термічних навантажень металу поверхонь нагріву застосовують декілька впорсків; на практиці найчастіше використовують два. При цьому приріст ентальпії пари після ділянки з упорскуванням зазвичай приймають у межах 100–200 кДж/кг. Основним регулювальним впорском вважають останній за ходом пари, який безпосередньо формує температуру свіжої пари.

На рис. 3 наведено схему регулювання температури перегріву пари методом змішування.

В наведеній схемі живильна вода потрапляє у барабан котла (2) через водяний економайзер (1). В барабані насичена пара сепарується від води та надходить до пароперегрівачів радіаційної (3) та конвективної (5) ступенів. Впорскувачі (4) регулюють температуру шляхом упорскування живильної води, що

забирається з магістралі живлення котла через регулюючі клапани впорсків (6).

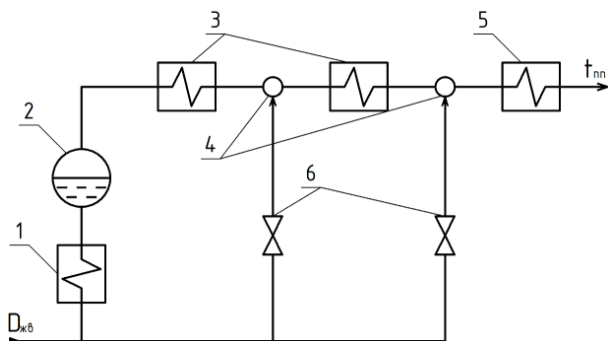


Рис. 3 – Схема охолодження пари впорскуванням

САР температури перегріву пари має забезпечувати у робочому діапазоні навантажень котлоагрегату такі вимоги:

1. Стейкий режим роботи автоматичних регуляторів (без автоколиваний у замкнутому контурі).

2. За номінального навантаження підтримання заданої температури перегрітої пари на виході з котла з відносним відхиленням не більше 1 % від номінального значення.

3. У перехідних режимах обмеження максимального відхилення мають бути до 8 °С для температури свіжої пари та до 10 °С для температури пари проміжного перегріву.

Виходячи з вимог до регулювання доцільним є застосування двохімпульсної САР, в якій внутрішній контур утворюється введенням похідної від проміжної регульованої величини. Структурна схема САР по каналам обурюючих впливів зображена на рисунку 4.

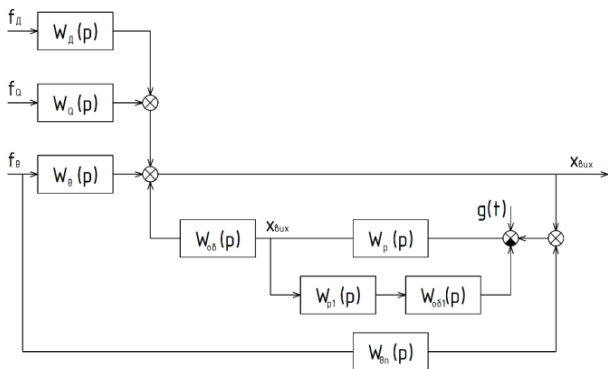


Рис. 4 — Структурна схема двохімпульсної САР по каналах обурюючих впливів

В схемі використані наступні позначення:

$W_d(p)$ - ПФ по каналу впливу витратою пари;

$W_Q(p)$ - ПФ по каналу впливу обігрівом;

$W_\theta(p)$ - ПФ по каналу впливу температурою;

$W_{ob}(p)$ - ПФ об'єкту регулювання по керуючому впливу;

$W_p(p)$ - ПФ регулятора;

$W_{ob1}(p)$ - ПФ проміжного об'єкту регулювання по керуючому впливу;

$W_{p1}(p)$ - ПФ проміжного регулятора.

З наведеної на рисунку 4 схеми отримуємо ПФ замкнутої системи по каналу регулюючого впливу

$$\Phi_p(p) = \frac{W_{ob}(p) * W_p(p)}{1 + W_p(p) * (W_{ob}(p) * W_{ob1}(p) * W_{p1}(p))}. \quad (1)$$

Знайдемо ПФ замкнутої системи по каналу впливу температурою

$$\Phi_\theta(p) = \frac{W_\theta(p) * (1 + W_{p1}(p) * W_p(p) * W_{ob1}(p)) + W_\theta(p) * W_{ob}(p) * W_p(p)}{1 + W_p(p) * (W_{ob}(p) * W_{ob1}(p) * W_{p1}(p))}. \quad (2)$$

Або

$$\Phi_\theta(p) = \Phi_p(p) (W_{\theta n}(p) + \frac{W_\theta(p) * (1 + W_{p1}(p) * W_p(p) * W_{ob1}(p))}{W_p(p) * W_{ob}(p)}). \quad (3)$$

Де $W_{\theta n}(p) = W_{p1}(p) * W_{впн}(p)$ — ПФ проміжного регулюючого пристрою разом з відповідним вимірюючим пристроєм. Аналогічним чином знайдемо ПФ замкнутої системи по каналу впливу обігрівом

$$\Phi_Q(p) = \Phi_p(p) * (1 + \frac{W_Q(p) * (1 + W_{p1}(p) * W_p(p) * W_{ob1}(p))}{W_p(p) * W_{ob}(p)}) = \Phi_p(p) W_{\phi Q}(p). \quad (4)$$

А також ПФ замкнутої системи по каналу впливу витратою пари

$$\Phi_D(p) = \Phi_p(p) * (1 + \frac{W_D(p) * (1 + W_{p1}(p) * W_p(p) * W_{ob1}(p))}{W_p(p) * W_{ob}(p)}). \quad (5)$$

$$\Phi_D(p) = \Phi_p(p) W_{\phi D}(p). \quad (6)$$

З виразів для ПФ по каналах впливу обігрівом (4) та витратою пари (5) робимо висновок, що для їхньої компенсації регулюючим впливом по проміжній величині необхідно, щоб дотримувалась умова

$$W_{\phi Q}(p) = W_{\phi D}(p) = 0. \quad (7)$$

Або

$$1 + W_{p1}(p) * W_p(p) * W_{ob1}(p) = 0. \quad (8)$$

При оптимальних параметрах налаштування САР, коли виконується вираз (7), ПФ (1), (2), (3), (4) можна буде описати виразами:

$$\Phi_p(p) = 1, \quad (9)$$

$$\Phi_\theta(p) = W_\theta(p), \quad (10)$$

$$\Phi_Q(p) = \Phi_D(p) = 0; \quad (11)$$

Таким чином в системі будуть повністю компенсовані збурюючі впливи обігрівом та витратою

та значно зменшені відхилення регульованої величини при збуренні температурою. Визначимо ПФ проміжного регулюючого пристрою:

$$W_{p1}(p) = -\frac{1}{W_p(p) \cdot W_{об1}(p)}. \quad (12)$$

Експериментальні дані для побудови моделі були отримані шляхом нанесення збурення на об'єкт. Збурення створювалося зміною витрати охолоджувальної води на впорскування на величину 4 т/год за умови сталої завантаженості котлоагрегату (150 т/год). У результаті було зафіксовано перехідний процес температури перегрітого пари, який надалі використано для визначення параметрів передавальних функцій об'єкта та каналів зворотного зв'язку. Моделювання САР проводилось в середовищі Simulink. Схема САР представлена на рис. 5.

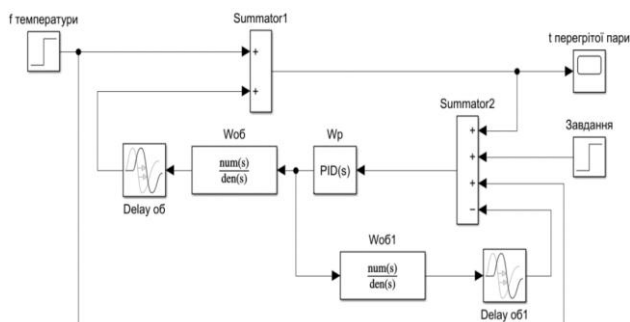


Рис. 5 – Схема САР у середовищі Simulink

Висновки

За результатами моделювання отримано перерегулювання 1,57% і час встановлення 126 с. За ступінчастої зміни витрати пари відхилення температури становить 5°C при збільшенні витрати пари на 4 тон/год та 4°C при зменшенні на 4 тон/год. Одержані результати задовольняють вимогам до САР.

Моделювання підтвердило, що синтезована двохімпульсна структура регулювання забезпечує потрібні показники якості. Система демонструє достатню швидкодію та точність, а також знижує вплив збурень, пов'язаних зі зміною витрати пари під час маневрування навантаженням котлоагрегату. Перспективним напрямом подальших досліджень є застосування методів машинного навчання у САР. Зокрема, дані з датчиків сучасних котлів (температура, тиск, витрата та інші технологічні параметри) можуть використовуватись для оперативного аналізу в реальному часі. Це дає змогу завчасно виявляти відхилення та тенденції, прогнозувати небажані стани і своєчасно приймати профілактичні рішення.

Список літератури

1. Wu Z., He T., Li D., Xue Y., Sun L., Sun L. Superheated steam temperature control based on modified active

- disturbance rejection control. *Control Engineering Practice*. 2019. № 83. P. 83-97. doi:10.1016/j.conengprac.2018.09.027.
2. Nahlovsky T. Optimization of fuzzy controller parameters for the temperature control of superheated steam. *Procedia Engineering*. 2015. № 100. P. 1547-1555. doi:10.1016/j.proeng.2015.01.527.
3. Sun L., Hua Q., Shen J., Xue Y., Li D., Lee K. Y. Multi-objective optimization for advanced superheater steam temperature control in a 300 MW power plant. *Applied energy*. 2017. № 208. P. 592-606. doi:10.1016/j.apenergy.2017.09.095.
4. Zhan J., Du J., Dong S., Hu W. Superheated steam temperature system of thermal power control engineering based on neural network local multi-model prediction. *Thermal Science*. 2021. № 25.4 Part B. P. 2949-2956. doi:10.2298/TSCI2104949Z.
5. Zhou Z., Zhang J., Wang Y., Yang D., Liu Z. Adaptive neural control of superheated steam system in ultra-supercritical units with output constraints based on disturbance observer. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*. 2025. № 72.6. P. 2701-2711. doi:10.1109/TCSI.2025.3530995.
6. Xakimovich S. I., Askarxodjaeva B. X. Designs neuro-fuzzy models in control problems of a steam heater. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*. 2019. № 6.5. P. 359-365. doi:10.13189/ujeee.2019.060506.
7. Ma Y., Yang S., Cai S., Wang Y. The simulation research and neural network modeling of superheated steam temperature characteristics for ultra-supercritical unit. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*. 2015. P. 2474-2478. doi:10.1109/CCDC.2015.7162337.
8. Huang W., Hou G., Liu Z. Application of Improved EADRC in Superheated Steam Temperature Control of Supercritical Thermal Power Unit. *Chinese Intelligent Systems Conference*. 2024. № 1285. P. 293-301. doi:10.1007/978-981-97-8658-9_28.
9. Phan V. D., Truong H. V. A., Le V. C., Ho S. P., Ahn K. K. Adaptive neural observer-based output feedback anti-actuator fault control of a nonlinear electro-hydraulic system with full state constraints. *Scientific Reports*. 2025. № 15. P. 3044. doi:10.1038/s41598-025-86583-x.
10. Wan Y., Gao X. Extended-state-observer-based output feedback control for hydraulic systems with performance constraint. *Nonlinear Dynamics*. 2024. № 112(20). P. 18333-18355. doi:10.1007/s11071-024-09957-2.
11. Kiš K., Klaučo M. Neural network based explicit MPC for chemical reactor control. *Acta Chimica Slovaca*. 2019. № 12.2. P. 218-223. doi:10.2478/acs-2019-0030.
12. Ibraheem I. K. System Identification of Thermal Process using Elman Neural Networks with No Prior Knowledge of System Dynamics. *Int. J. Comput. Appl*. 2017. № 161. 38-46. doi:10.5120/ijca2018917740.

References (transliterated)

1. Wu Z., He T., Li D., Xue Y., Sun L., Sun L. Superheated steam temperature control based on modified active disturbance rejection control. *Control Engineering Practice*, 2019, vol. 83, pp. 83-97, doi:10.1016/j.conengprac.2018.09.027.
2. Nahlovsky T. Optimization of fuzzy controller parameters for the temperature control of superheated steam. *Procedia Engineering*, 2015, vol. 100, pp. 1547-1555, doi:10.1016/j.proeng.2015.01.527.

3. Sun L., Hu, Q., She, J., Xue Y., Li D., Lee K. Y. Multi-objective optimization for advanced superheater steam temperature control in a 300 MW power plant. *Applied energy*, 2017, vol. 208, pp. 592-606, doi:10.1016/j.apenergy.2017.09.095.
4. Zhan J., Du J., Dong S., Hu W. Superheated steam temperature system of thermal power control engineering based on neural network local multi-model prediction. *Thermal Science*, 2021, vol. 25, no. 4 Part B, pp. 2949-2956, doi:10.2298/TSCI2104949Z.
5. Zhou Z., Zhang J., Wang Y., Yang D., Liu Z. Adaptive neural control of superheated steam system in ultra-supercritical units with output constraints based on disturbance observer. *IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Regular Papers*, 2025, vol. 72, no. 6, pp. 2701-2711, doi:10.1109/TCSI.2025.3530995.
6. Hakimovich S. I., Askarxodjaevna B. X. Designs neuro-fuzzy models in control problems of a steam heater. *Universal Journal of Electrical and Electronic Engineering*, 2019, vol. 6, no. 5, pp. 359-365, doi:10.13189/ujeee.2019.060506.
7. Ma Y., Yang S., Cai S., Wang Y. The simulation research and neural network modeling of superheated steam temperature characteristics for ultra-supercritical unit. *The 27th Chinese Control and Decision Conference (2015 CCDC)*, 2015, pp. 2474-2478, doi:10.1109/CCDC.2015.7162337.
8. Huang W., Hou G., Liu Z. Application of Improved EADRC in Superheated Steam Temperature Control of Supercritical Thermal Power Unit. *Chinese Intelligent Systems Conference*, 2024, vol. 1285, pp. 293-301, doi:10.1007/978-981-97-8658-9_28.
9. Phan V. D., Truong H. V. A., Le V. C., Ho S. P., Ahn K. K. Adaptive neural observer-based output feedback anti-actuator fault control of a nonlinear electro-hydraulic system with full state constraints. *Scientific Reports*, 2025, vol. 15, p. 3044, doi:10.1038/s41598-025-86583-x.
10. Wan Y., Gao X. Extended-state-observer-based output feedback control for hydraulic systems with performance constraint. *Nonlinear Dynamics*, 2024, vol. 112, no. 20, pp. 18333-18355, doi:10.1007/s11071-024-09957-2.
11. Kiš K., Klaučo M. Neural network based explicit MPC for chemical reactor control. *Acta Chimica Slovaca*, 2019, vol. 12, no. 2, pp. 218-223, doi:10.2478/acs-2019-0030.
12. Ibraheem I. K. System Identification of Thermal Process using Elman Neural Networks with No Prior Knowledge of System Dynamics. *Int. J. Comput. Appl*, 2017, vol. 161, pp. 38-46, doi:10.5120/ijca2018917740.

Відомості про авторів

Качанов Петро Олексійович – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Автоматика та управління в технічних системах; м. Харків, Україна; ORCID: 0000-0002-0781-0853; e-mail: Petro.Kachanov@khi.edu.ua.

Kachanov Petro – Doctor of technical sciences, Professor “Department of Automation and Control in Technical Systems”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv; ORCID: 0000-0002-0781-0853; e-mail: vika_hpi@outlook.com.

Тарасенко Микола Валерійович – аспірант кафедри «Автоматика та управління в технічних системах», Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; ORCID: 000-0001-6877-0173 e-mail: porolah2008@gmail.com.

Mykola Tarasenko – PhD student of the Department “Department of Automation and Control in Technical Systems”, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv; ORCID: 000-0001-6877-0173 e-mail: porolah2008@gmail.com..

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Качанов П. О., Тарасенко М. В. Система автоматичного регулювання температури перегрітої пари. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». 2026. № 1 (27). С. 61-66. doi:10.20998/2413-4295.2026.01.08.

Please cite this article as:

Kachanov P., Tarasenko M. Automatic superheated steam temperature control system. *Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology*. – Kharkiv: NTU "KhPI", 2026, no. 1(27), pp. 61–66, doi:10.20998/2413-4295.2026.01.08.

Надійшла (received) 20.01.2026
Прийнята (accepted) 16.03.2026
Опублікована (published) 02.04.2026