

Л.І. ЄФІМЕНКО, М.П. ТИХАНСЬКИЙ, кандидати техн. наук, доценти,
А.М.ТИХАНСЬКА, асистент, Криворізький національний університет

АДАПТИВНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ З ЕТАЛОННОЮ МОДЕЛЛЮ КОТЛОАГРЕГАТУ

Мета. Метою цієї роботи є синтез самоналагоджувальної системи з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах за рахунок автоматичного настроювання регуляторів для підвищення виробництва пари. Для цього необхідно розробити математичну модель процесу, сформулювати критерії адекватності квазістатичних процесів, що відбуваються у котлі під час пароутворення.

Методи дослідження. Для вирішення цього завдання використано: методи сучасної теорії управління; методи обробки випадкових процесів і математичного моделювання, а також наукове узагальнення раніше виконаних досліджень та аналіз літературних джерел.

Наукова новизна. Отримана адекватна математична модель з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах, що відбуваються з урахуванням перешкод різного походження та контрольованих і неконтрольованих збурень, що дозволяє синтезувати адаптивне керування режимами роботи котла при зміні вхідних параметрів.

При цьому використана модернізована методика настроювання регуляторів адаптивної системи керування технологічним процесом пароутворення.

Практична значимість. Отримана адекватна математична модель технологічного процесу, що відбувається у котлоагрегатах з урахуванням перешкод різного походження та контрольованих і неконтрольованих збурень, що дозволяє синтезувати адаптивне керування режимами роботи котла при зміні вхідних параметрів та за рахунок цього знизити енергоспоживання та підвищити ефективність пароутворення.

Авторами запропоновано автоматичне настроювання регуляторів адаптивної системи для підвищення виробництва пари яке відрізняється тим, що дозволяє швидко реагувати на додатну інформацію та корегувати управляючі дії за допомогою самонастроювального регулятора.

Результати. Розглянуто синтез самоналагоджувальної системи з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах за рахунок автоматичного настроювання регуляторів для підвищення виробництва пари. Автоматичне управління котлоагрегатами з адаптацією за зміною впливів, що збурюють, дозволяє підтримувати показники якості управління в заданих межах.

Ключові слова: система керування, адаптивна система, самоналагоджувальна система, еталонна модель, котлоагрегат, адаптивний регулятор, автоматична система керування.

Проблема та її зв'язок з науковими і практичними завданнями. Дослідження технологічних процесів пароутворення, а саме, процесів згоряння палива в топковому пристрої котельного агрегату показало, що в результаті дії керуючих впливів та зовнішніх і внутрішніх збурень параметри процесу пароутворення змінюються. Ця зміна носить детермінований або випадковий характер, крім того може призвести до серйозних аварій якщо виходить за межі допустимих.

До основної інформації, що змінюється треба віднести такі параметри як: температуру перегрітої пари, тиск пари, рівень води в барабані, розрідження у топці, надлишок повітря за пароперегрівачем. Їх відхилення варто підтримувати в допустимих межах.

Адаптивні системи накопичують та оброблюють інформацію про поведінку об'єкта у реальному часі. Це дає змогу знизити недоліки нестачі апріорної інформації про технологічний процес та систему під час її аналізу та проектування.

Аналіз досліджень та публікацій. Питаннями впровадження самоналагоджувальних систем управління технологічними процесами в котлоагрегатах за рахунок автоматичного настроювання регуляторів займається цілий ряд вітчизняних та закордонних вчених [1-6]. Розглянемо ряд відомих досліджень з питань автоматизації. Це дослідження, які проводять на фірмі Комел, парові котли якої "Комел СОш" та "КотБУС-1" мають власну автоматику і працюють з блочними газовими пальниками; фірми Спекон, промислові котли якої працюють на газі або рідкому паливі та мають спеціалізовані промислові контролери СПЕКОН; фірми "АСУ-КТ" та КБ "АГАВА", які розробляють системи керування промисловими котлами.

Авторами [11, 13-17, 19 П] розглянуто деякі методи побудови оптимального алгоритму управління групою водогрійних котлів, що працюють на загальне навантаження, описана розроблена фірмою Energy Technology Control (Великобританія) схема Boilermizer з мікропроцес-

сорами, що працює на рідкому паливі або газі, розглядаються різні стратегії побудови САР котлів з точки зору їх ефективності та мінімізацією втрат.

Виконаний огляд та аналіз існуючих підходів, способів і методів регулювання технологічних параметрів процесів показав, що всі вони спрямовані на автоматизацію оптимального співвідношення «паливо – повітря», регулювання температури або тиску, розрідження в топці і за котлом.

Постановка задачі. Аналіз існуючих систем процесу виробництва пари в Україні та за кордоном показав, що процес достатньо автоматизований, однак, існуючі системи управління мають суттєві недоліки, а саме, досить спрощену, стандартну, систему керування, не використовують сучасні розробки адаптивних систем з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах, що не дозволяє забезпечити сталість високої якості вихідного продукту. Вони розглядають окремі підсистеми загальної системи керування процесами в котлоагрегатах, відомі методи регулювання та автоматизації та модернізують існуючі системи. Але не розробляють математичну модель існуючого процесу, критерії адекватності квазістатичних процесів, що відбуваються у котлі під час пароутворення.

Пов'язано це з тим, що збурення, в основному, відносяться до тих, які прямо не вимірюються, тому для підвищення виробництва пари необхідно синтезувати самоналагоджувальну систему з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах за рахунок автоматичного настроювання регуляторів. Автоматичне управління котлоагрегатами з адаптацією за зміною впливів, що збурюють дозволяє підтримувати показники якості керування в заданих межах.

Тому дослідження питання синтезу самоналагоджувальної системи з еталонною моделлю управління технологічними процесами в котлоагрегатах є актуальним завданням.

Для вирішення цього завдання необхідно обґрунтувати вибір та обрати тип регулятора, який забезпечить оптимальні показники якості процесу пароутворення, адаптувати методи сучасної теорії управління стосовно до квазістатичних процесів управління; дослідити різні підходи до синтезу адаптивної системи керування з еталонним і стабілізації процесу згоряння в КА за рахунок автоматичного настроювання з еталонною моделлю; розробити еталонну модель процесу згоряння в КА; провести чисельне моделювання керованих процесів та проаналізувати отримані результати.

Викладення матеріалу та результати. Система називається самоналагоджуваною адаптивною системою з еталонною моделлю, якщо бажаний рух об'єкта задається моделлю, яка є еталоном для об'єкта. На вхід такої моделі подають такі самі дії, що й на вхід об'єкта керування.

При цьому аналізують вплив зовнішніх збуджуючих факторів на характеристики технологічного об'єкта, що досліджують, а саме котлоагрегата. Якщо параметри коригуючого пристрою (регулятора) змінюються за попередньо одержаними законами, то використовують самоналагоджувальні системи з еталонною моделлю.

Стандартна схема самоналагоджуваної системи із моделлю-еталоном, зображена на рис. 1.

Розглянемо принцип роботи такої системи з еталонною моделлю, який полягає в тому, що сигнал невідповідності $\varepsilon(t)$ подається на вхід моделі та на вхід послідовно з'єднаних керуючого пристрою та об'єкта керування. На виході об'єкта керування сигнал $z(t)$ порівнюється з сигналом моделі $z_M(t)$, який виходить з еталонної моделі.

Сигнал відхилення $g(t)$, впливає на ланцюг самоналагоджування (ЛС), змінює параметри керуючого пристрою, доки вихідні сигнали моделі $z_M(t)$ та об'єкта керування $z(t)$ стануть рівні.

Адаптивні системи з еталонними моделями широко використовуються при створенні систем автоматизації технологічних об'єктів, у нашому випадку технологічних процесів пароутворення, а саме, процесів згоряння палива в топковому пристрої котельного агрегату.

Розглянемо та проаналізуємо структурну схему адаптивної самоналагоджувальної системи з еталонною моделлю для об'єкта другого порядку, яка наведена на рис. 2.

Визначено параметри системи, які дорівнюють: $k_0 = 6$, $a_0 = 2$, $a_1 = 2.5$, $A = 2$, $\omega = 0.6$ рад/с.

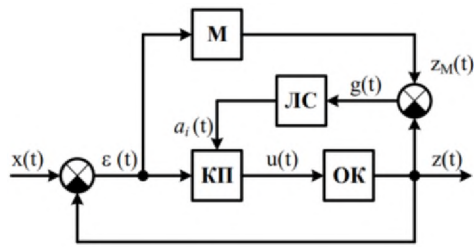


Рис. 1. Схема СНС з еталонною моделлю

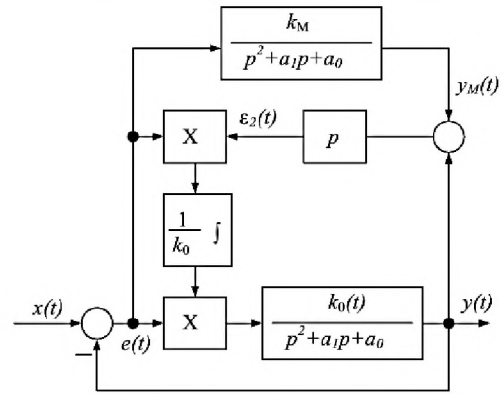


Рис. 2. Структурна схема самоналагоджувальної системи другого порядку

За даною схемою складена цифрова модель системи в додатку Simulink. Її структурна схема наведена на рис. 3.

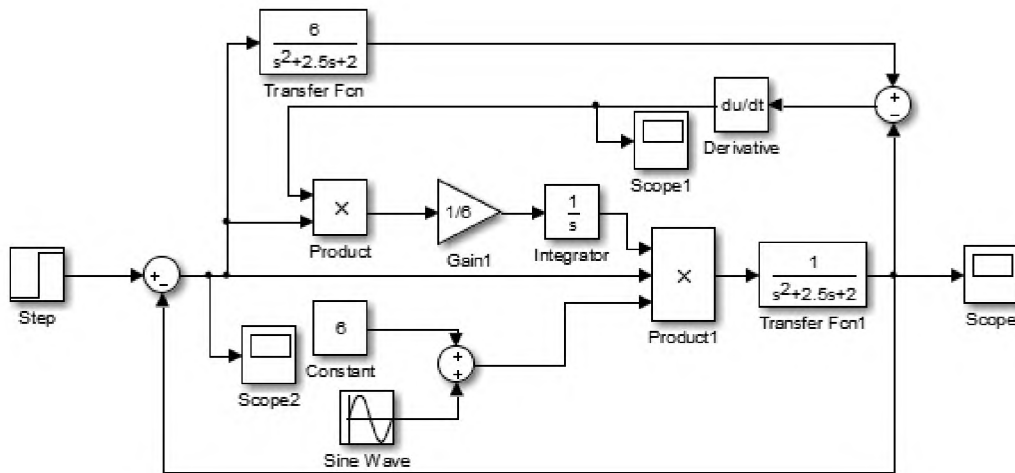


Рис. 3. Структурна схема цифрової моделі самоналагоджувальної системи другого порядку

Одержана структурна схема цифрової моделі самоналагоджувальної системи другого порядку, яка представлена на рис. 3, дозволяє при відсутності параметричного збурення здійснити моделювання в замкнутій системі.

Графік зміни вихідної величини $y(t)$ при відсутності параметричного збурення в замкнутій системі наведено на рис. 4.

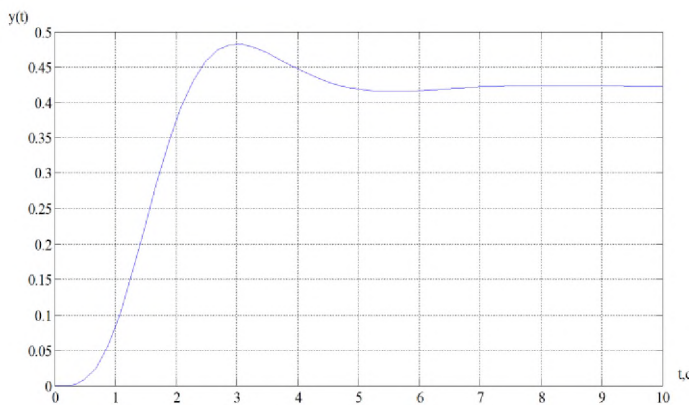


Рис. 4. Графік зміни вихідної величини $y(t)$ в замкнутій системі при відсутності параметричного збурення

Розглянемо поведінку системи при наявності параметричного збурення та здійснимо моделювання роботи систем, що само налаштовуються. При цьому параметричне збурення дорівнює: $A = 2$, $\omega = 0.6$ рад/с.

На рисунках 5а,б,в наведені відповідно графіки зміни вихідного сигналу $y(t)$, графік зміни помилки $\varepsilon_2(t)$, графік зміни помилки $\varepsilon(t)$.

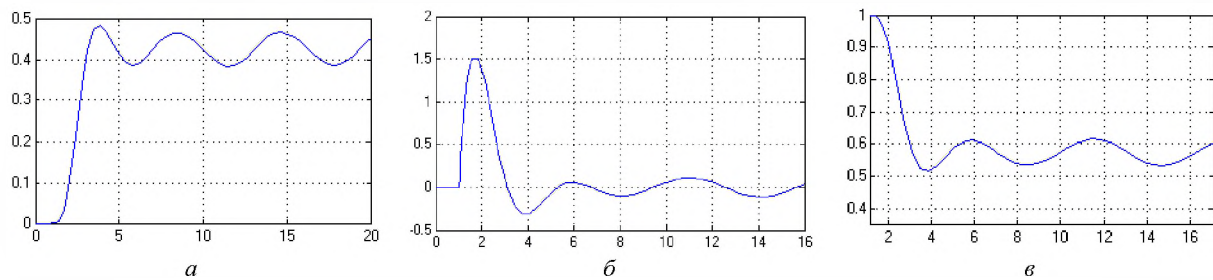


Рис. 5. Графік зміни вихідної величини $y(t)$ в замкненої системі при наявності параметричного збурення: *a* - графік зміни вихідного сигналу $y(t)$ при параметричному збуренню; *б* - графік зміни помилки $\varepsilon_2(t)$ при параметричному збуренню; *в* - графік зміни $\varepsilon(t)$ при параметричному збуренню

Розглянемо реакцію системи при збільшенні коефіцієнта передачі моделі k_M в 100 разів. Для цього необхідно побудувати графіки зміни відповідних сигналів, а саме: вихідного сигналу $y(t)$ та помилок $\varepsilon_2(t)$, $\varepsilon(t)$. Отримані графіки представлені відповідно на рис. 6*a*, *б*, *в*.

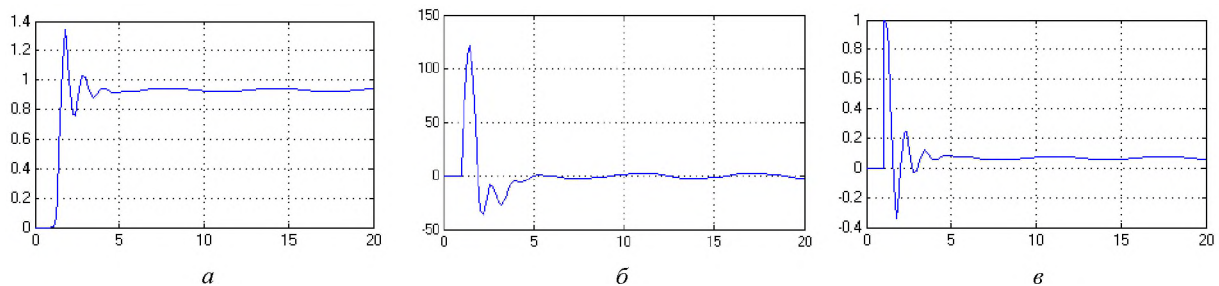


Рис. 6. Графік зміни вихідної величини $y(t)$ в замкненої системі при збільшенні коефіцієнта передачі моделі: *a* - графік зміни $y(t)$, *б* - графік зміни $\varepsilon_2(t)$, *в* - графік зміни $\varepsilon(t)$

Висновки та напрямок подальших досліджень. Отримана адекватна математична модель з еталонною моделлю управління технологічними процесами, що відбувається у котлоагрегатах з урахуванням перешкод різного походження та контрольованих і неконтрольованих збурень, що дозволяє синтезувати адаптивне керування режимами роботи котла при зміні вхідних параметрів та за рахунок цього знизити енергоспоживання та підвищити ефективність пароутворення.

Отримані графіки необхідних процесів в системі при відсутності параметричного збурення. Також для аналізу впровадження самонастроювального регулятора були отримані відповідні графіки при параметричному збуренні, та проаналізована їхня зміна. Аналіз показав, що введення збурення в систему додає в процес коливальну складову. При збільшенні коефіцієнту підсилення моделі скорочується час перехідного процесу, але збільшується коливальність.

Список літератури

1. Хобін В.А., Левінський М.В. Адаптивне керування об'єктами технологічного типу: алгоритми пасивного самоналагодження коефіцієнта передачі регуляторів : монографія. Одеса : Гельветика, 2019. 228 с.: табл., рис. Бібліогр.: с. 185-194. ISBN 978-966-916-717-0.
2. Бобух А. О. Автоматизовані системи керування технологічними процесами : навч. посіб. Харків: ХНАМГ, 2006. 185 с.
3. Khobin V.A., Levinskyi M.V. Problem topicality of offset absence order increase in controllers during control of objects with varying transmission coefficient [Text]. *ATBP journal*. 2016. № 2 (26). P. 31–38.
4. Бугров С.В., Лисовой Р.А., Жмудь В.А., Колкер А.Б. Адаптивная система управления с использованием стабилизирующего эффекта девиации коэффициента регулятора. *Научный вестник НГТУ*. 2010. № 1(38). С. 157–160.
5. Головки Д.Б., Рего К.Г., Скрипник Ю.О. Автоматика і автоматизація технологічних процесів: Підручник для інженерів та студентів вузів. К.: Либідь, 1997. 232 с.
6. Хобін В.А., Левінський М.В. Оптимізація фільтрів власного руху самоналагоджувальної САУ об'єктом технологічного типу [Текст]. *Радиоелектроніка, інформатика, управління*. 2016. № 4. С. 120–129. ISSN 1607-3274.
7. Аргюх С.Ф., Дуель М.А., Шелепов И.Г. Основи автоматизованих систем управління енергогенеруючими установками електростанцій. Харків: Знання, 1998. 324 с.
8. Astrom K.J., Hagglund T. Advanced PID control. ISA (August 8, 2005). 461 p.
9. Хобін В.А., Мазур О.В., Степанов М.Т. Ефективне гарантующе управління тепловими та тепломасообмінними процесами харчових технологій. Херсон: ФЛП Гринь Д.С. 2014. 212 с.
10. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології [Текст]: Матеріали Четвертої Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених, аспірантів і студентів (АКІТ-2017). Київ, 19–20 квітня 2017 р. К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2017. 204 с. : іл. Бібліогр.: в кінці тез. 60 пр. ISBN 978-966-622-826.

11. Алгоритми адаптації в системах управління енергоблоками / Ротач В.Я., Кузицин В.Ф., Бутирев В.П., Солодовников В.Н. *Теплоэнергетика*. 1981. №10. С. 11–15.
12. Хобін В.А., Марчук О.А. Самоналагоджувальна система [Текст]: патент на корисну модель UA 36671, МПК2006 G05B13/02. / (Україна); заявник Одеська національна академія харчових технологій. № u200801328; заявл. 04.02.2008; опубл. 10.11.2008. Бюл. 21. 5 с.
13. Astrom K.D., R.D. Bell Drum - boiler Dynamics. *Automatica*, 36(2000), pp. 363-378.
14. Хобін В.А., Левінський М.В. Вдосконалення алгоритмів самоналагоджувальної системи керування для забезпечення ефективності її пускових режимів [Текст] // *Радіоелектроніка, інформатика, управління*. 2018. № 3. С. 120–129. ISSN 1607-3274.
14. O'Dwyer A. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules, 2nd edition, Imperial College Press, 2006 – 564 p.
15. Адаптивне та робастне управління з компенсацією невизначеностей / під ред. Бобцов О.О., Пиркін А.О.: Вид.: НГУ ИТМО 2013. 132с.
16. Rejection of sinusoidal disturbance of unknown frequency for linear system with input delay / Pyrkın A., Smyshlyaev A., Bekiaris-Liberis N., Krstic M. American Control Conference. Baltimore, USA, 2010.
17. Хобін В.А., Левінський М.В. Автоматична самоналагоджувальна система керування об'єктом технологічного типу. Одеська національна академія харчових технологій.
18. Ardell G. G., Gumovski B. Model Prediction for Reactor Control. *Chemical Engineering Progress*. 1983. V.79. №6. P.77–83.
19. Ed. by Tariq Samada. John Weyrauch Automation, control and complexity: An integrated approach. Chichester [etc.]: Wiley, Cop. 2000. 328 с., ил.
20. Ed. William, S. Levine Control system fundamentals. Boca Raton [etc.]: CRC press, Cop. 2000. 466 с., ил.
21. Соколов С.В. Оптимальні та адаптивні системи : навч. посіб. Суми : Сумський державний університет, 2018. 221 с. ISBN 978-966-657-725-5

Рукопис подано до редакції 23.04.2023

УДК 622. 7

В. ГАРБЕР, Dr.-Ing Büro Feuerung- und Trocknungstechnologien, Німеччина

В.І. ГОЛОВАНЬ, незалежний консультант АГНУ, Україна

Л.В. СКЛЯР, канд. техн. наук, доц., Криворізький національний університет, Україна

ЗНЕВОДНЕННЯ ЗАЛІЗОРУДНИХ КОНЦЕНТРАТІВ ТА СУЧАСНІ СУШИЛЬНІ ПРОЦЕСИ

Мета. Мета даних досліджень - аналіз використання процесів фільтрації суспензій залізрудних концентратів та сучасних методів термічного сушіння та встановлення основних тенденцій у розвитку обладнання для зневоднення залізрудних концентратів.

Методи дослідження. Обробка статичних даних технічних та економічних характеристик роботи фільтрувального обладнання механічного та термічного видалення води.

Наукова новизна. Наукова новизна результатів дослідження полягає у визначенні вартості процесів зневоднення залізрудних концентратів залежно від типу фільтрувального обладнання, кінцевої вологості після фільтрації, визначення економічно обгрунтованої межі переходу від механічного зневоднення до термічного сушіння за умов підвищення тонини помелу залізної руди при збагаченні

Практичне значення. Аналіз технологічних та економічних показників процесів механічного та термічного сушіння показав, що при зменшенні тонини помелу збільшується кінцева вологість осаду на фільтрах і частина процесу зневоднення повинна передаватися термічному сушінню.

Результати. Розглянуто тенденції у розвитку обладнання для фільтрування залізрудного концентрату. Показано можливість та недоліки використання дискових вакуум-фільтрів з керамічними секторами, що фільтрують. Проведено техніко-економічне порівняння зарубіжних фільтрів та встановлено, що вологість осаду та високі питомі енергетичні витрати зумовили тенденцію впровадження нових конструкцій фільтрів імпорного виробництва, незважаючи на незначне зниження кінцевої вологості залізрудних концентратів з 9,5 до 7,5%. Такі концентрати не можна використовувати у наступних металургійних процесах. Розраховані питомі вартості механічного зневоднення (0,224 US\$/тонн. вологого. концентрату) та термічного сушіння (0,256 US\$/тонн. вологого. концентрату) близькі, що дозволяє розраховувати зневоднення залізрудних концентратів як єдиний процес з економічно обгрунтованою межею переходу, фільтрації вологості залізрудного концентрату

Ключові слова: зневоднення, сушіння, вологість, фільтрування, фільтри, термічна сушіння

Проблема та її зв'язок із науковими та практичними завданнями. Аналіз сучасного стану залізрудної галузі промисловості у світі показує, що з другої половини ХХ століття зро-