

Грішин М.В.

Національний університет «Одеська політехніка»

Беглов К.В.

Національний університет «Одеська політехніка»

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ КРИТИЧНОГО ПОШКОДЖЕННЯ ПОВЕРХНІ ТЕПЛООБМІНУ ПАРОВОГО КОТЛА ВУГІЛЬНОЇ ТЕС ШЛЯХОМ КОНТРОЛЮ ЗОЛЬНОСТІ ВУГІЛЛЯ

Це дослідження заглиблюється у тему швидкого виходу з експлуатації труб теплообмінників, з якою стикаються теплові електростанції. Основною причиною такого зносу є ерозія металеві поверхні теплообмінника, яка спричинена абразивною складовою зольної домішки присутньої в енергетичному вугіллі, що стимулювало розробку нового рішення – автоматизованої системи управління, заснованої на принципах нечіткої логіки. Ця система призначена для точного регулювання потоків енергетичного вугілля з різним рівнем абразивності, що сприяє ефективному контролю пошкодження.

Метою цього дослідження є вчасне виявлення неузгодженості фактичної якості вугілля із заявленою та вчасне застосування керуючого впливу. Ці компоненти включають, але не обмежуються ними, екранні труби топки, пароперегрівачі та економайзери, структурна цілісність яких втрачає свою міцність під безперервним пошкодженням від абразивного матеріалу, що не спалюється. Значний внесок у цю проблему вносить розбіжність між прогнозованим і фактичним часом експлуатації обладнання до планової зупинки на ремонт.

З огляду на це, стаття присвячена дослідженню і розробці на автоматизованої системи, яка спрямована на стратегічний контроль зносостійкості поверхні теплообміну, яка є життєво важливою частиною парового котла вугільної електростанції. Мета системи – утримувати рівень абразивних домішок в енергетичному вугіллі в контрольованих межах, тим самим захищаючи роботу електростанції від руйнівних простоїв.

Щоб продемонструвати практичну здійсненність системи та підкреслити її потенційні переваги, стаття заглиблюється в ретельно деталізоване тематичне дослідження на прикладах. Це поглиблене дослідження підкріплюється результатами моделювання, які підкреслюють переваги та ефективність впровадження систем нечіткого керування. Ці системи добре зарекомендували себе, особливо в динамічних середовищах, де параметри якості вугілля можуть зазнавати значних коливань.

Використовуючи автоматизовану систему управління на основі нечіткої логіки, дослідження виходить на новий рівень розв'язання проблем. Воно є свідченням значного технологічного прогресу, пропонуючи багатонадійне розв'язання давньої проблеми, яка довгий час перешкоджала безперебійній роботі теплових електростанцій.

Ключові слова: автоматизована система керування, нечітке керування, вугільні електростанції, змінна якість вугілля, збагачення палива, зносостійкість теплообмінника.

Постановка проблеми. Незважаючи на глобальний перехід до відновлюваної енергетики, традиційні ТЕС, що працюють переважно на вугіллі, залишаються важливими постачальниками електроенергії. Однією з проблемою, з якою стикаються ТЕС, є управління абразивним впливом спалювання вугілля, що призводить до передчасного зносу і виведення з експлуатації труб теплообмінників.

Зміни у складі вугілля, зокрема, збільшення вмісту абразивних домішок у золі, а також роз-

біжності між заявленим і фактичним вмістом золи загострюють цю проблему. Сучасні підходи до управління, такі як збагачення або змішування палива, вимагають всебічного розуміння переваг, витрат і поточної якості вугілля, що часто створює додаткові проблеми.

На багатьох електростанціях відсутнє обладнання, необхідне для детального аналізу абразивних домішок золи, що ускладнює оцінку зносу поверхонь теплообміну. Крім того, існують проблеми, пов'язані з ранніми зупинками станції

для перевірки обладнання, категоризацією якості вугілля для розподілу потоків, а також міркуваннями щодо резервних запасів для змішування та спалювання вугілля.

Аналіз останніх досліджень і публікацій:

В останні роки наукова спільнота виявила значний інтерес до моделювання та управління різними секторами, приділяючи особливу увагу м'яким обчисленням, невизначеності, бібліометрії та нейронним мережам [1]. В енергетичному секторі увагу було привернуто до впливу низько-сортного палива на знос поверхні теплообміну, а також до стратегій прогнозування та автоматизації електростанцій.

Зокрема, методи керування, такі як ППД та нечітке логічне керування, були досліджені на предмет їхньої корисності для керування стабільністю енергосистем [2]. Однак ці методи часто не враховують проблему абразивного зносу поверхонь теплообміну, що може спричинити незаплановані зупинки енергосистеми для проведення ремонтних робіт.

Було проведено дослідження зольності палива, його абразивного впливу на обладнання теплових електростанцій (ТЕС) та ефективності збагачення палива, результати яких свідчать про те, що встановлення обладнання для збагачення вугілля на ТЕС є економічно вигідним заходом у порівнянні з частими ремонтними зупинками [3]. Незважаючи на ці висновки, залишаються проблеми, зокрема, невизначеність якості імпортного енергетичного вугілля та складність вимірювання абразивного пошкодження під час спалювання [4].

У роботі [5] проведені дослідження з управління процесами на основі нечіткої логіки, які висвітлюють три основні переваги використання нечітких пристроїв управління над традиційними регуляторами теорії автоматичного управління: можливість інтеграції регуляторів адаптивного типу заснованих на класичних ППД-регуляторах; створення складних регуляторів для об'єктів керування, які важко піддаються аналітичному опису; швидший перехід між процесами керування.

Метою статті є створення автоматизованої системи управління з використанням нечіткої логіки для регулювання потоків енергетичного вугілля на основі абразивності з метою підвищення зносостійкості поверхні теплообміну в паровому котлі. Запропонована система враховує зміну якості вугілля та її вплив на зольність і вміст абразивних домішок та включає наступні задачі: розробка моделі каналу вимірювання абразивності вугілля; створення пристрою керування на основі нечіткої логіки; моделювання роботи

замкненої системи керування у відповідь на зміну абразивності вугілля.

1. Побудова моделі визначення кількості абразивних речовин в енергетичному вугіллі для автоматизованої системи управління

Для того, щоб розробити автоматизовану систему управління, перші кроки включали концептуалізацію каналу вимірювання якості енергетичного вугілля та побудову відповідних імітаційних моделей. Оскільки теплові електростанції часто не мають ресурсів для аналізу кожної партії вугілля, можуть виникати варіації якості палива, що потребує методу визначення зольності. Було запропоновано три підходи:

1) Спостереження за зниженням вихідної потужності при незмінному споживанні вугілля, що вказує на потенційні розбіжності в задокументованому вмісті вуглецю.

2) Відстеження збільшення споживання палива для підтримання потужності енергоблоку, що може свідчити про зменшення вмісту вуглецю.

3) Оцінка маси золи в золовловлювачах ТЕС, що допомагає визначити, чи надходить до золовловлювача надмірна кількість золи, виходячи зі специфікацій обладнання.

Ці методи були детально вивчені в подальших дослідженнях.

Перший метод. У (1) N позначає виробництво електроенергії за ідеальних умов палива, тоді як $N_{k_{SiO_2}}$ представляє виробництво електроенергії з урахуванням заявленого індексу k_{SiO_2} , де k_{SiO_2} означає концентрацію абразивного матеріалу у вугіллі.

$$N_{k_{SiO_2}} = \eta_{ТЕС} * 24 * N_{турб} * N (1 - k_{SiO_2}) \quad (1),$$

Тут $N_{турб}$ означає потужність турбіни, $\eta_{ТЕС}$ – коефіцієнт корисної дії теплових електростанцій. Якщо $N_{факт}$ (фактичне виробництво електроенергії) менше, ніж $N_{k_{SiO_2}}$, це означає, що реальна абразивність палива перевищує заявлену. До недоліків цього методу можна віднести його низьку точність, і фактична абразивність матеріалу залишається в значній мірі невідомою, навіть приблизно. Крім того, суттєвою проблемою цього методу є те, що більшість котлоагрегатів обладнані регулятором подачі палива, який унеможливує зниження потужності турбіни.

Враховуючи основну проблему першого методу, **другий метод** намагається встановити, чи перевищує фактична витрата палива ту, яка повинна бути при заявленій абразивності. Цей метод має ті ж обмеження, що і перший. Розрахунок абразивності є приблизним, а визначення фактичної зольності та абразивності палива становить значну проблему.

У світлі цих проблем обидва методи були визнані відносно неефективними, але вони все ще мають певну цінність для перевірки даних.

Отже, **третій метод** був обраний як основний підхід для визначення зольності матеріалу.

В роботі [3] в якості прототипу А було обрано «Запорізьку ТЕС», розташовану в м. Енергодар, Україна. Без лабораторних досліджень розрізнити вміст горючих мінералів та абразивних матеріалів у паливі досить складно. Враховуючи, що горючі мінерали згорають, а абразивні матеріали затримуються у фільтрах і золі, було висунуто гіпотезу, що вміст золи під час згоряння дорівнює рівню абразивності. Це дозволяє уникнути трудомістких лабораторних досліджень незгорілих залишків палива і припустити, що зольність є показником абразивності енергетичного вугілля.

Запорізька ТЕС використовує електрофільтри, які ефективно вловлюють золу на рівні 97–98%, на відміну від застарілих мокрих золоуловлювачів з ефективністю фільтрації близько 50%.

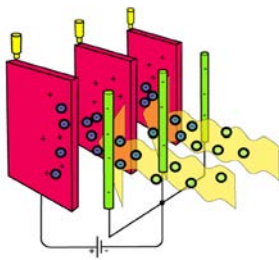


Рис. 1. Ілюстративна схема електрофільтра

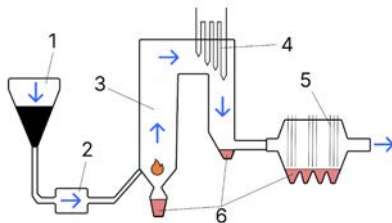


Рис. 2. Динаміка накопичення золи в процесі горіння. (1 – вугільний бункер; 2 – вугільний млин; 3 – топка; 4 – трубки пароперегрівача; 5 – фільтри; 6 – місця накопичення золи в золоуловлювачах: топковий, економайзер та димові фільтри)

Наступним етапом було порівняння фактичної кількості золи, що утворюється під час спалювання, з очікуваною кількістю, виходячи із заявленої якості палива. Кількісне визначення споживання мінеральних домішок у вугільному паливі є складним через нерівномірний розподіл золи після спалювання, яка часто накопичується в певних місцях, чому сприяють золоуловлювачі.

Аналізуючи схеми золоуловлювання ТЕС, зокрема рисунок 2, було визначено, що кількість

золи можна оцінити за трьома типами золоуловлювачів: топковий золоуловлювач, золоуловлювач економайзера та золоуловлювач димового фільтра.

Державна служба статистики України постійно реєструє обсяги викидів парникових газів за формулою, затвердженою Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України. Ця формула була використана для розрахунку викидів від звичайного спалювання палива:

$$E_{mCO_2i} = AC_i * LCV_i * EFi * OF_i \quad (2),$$

де E_{mCO_2i} – викиди CO_2 від спалювання палива i -го виду, [т CO_2]; AC_i – дані про діяльність: кількість спаленого палива i -го виду, [т або тис. m^3]. LCV_i – нижча теплота згоряння палива виду (i) [ТДж/т або ТДж/тис. m^3]. EF_i – коефіцієнт викидів CO_2 для палива i -го виду [т CO_2 /ТДж]. OF_i – коефіцієнт окислення для палива виду (i). Первинними продуктами згоряння згідно з [6], які заслуговують на найбільшу увагу (перераховані як основні), є CH_4 , N_2O та CO_2 . Для ТЕС А були отримані наступні обсяги викидів: CO_2 – 4'519'919,60 m^3 ; N_2O – 411,09 m^3 ; CH_4 – 373,10 m^3 ; Всього: 4'520'703,79 m^3 /год. У разі одночасної роботи щонайменше чотирьох фільтрів потрібні були фільтри з продуктивністю 1'309'880 m^3 /год.

До фільтрів, які відповідають цим вимогам, відносяться ЕГВ2-70-12-6-6, ЕГВ2-70-12-6-7, ЕГВ2-70-12-6-8. Для побудови моделі були розглянуті умови 100% уловлювання золи.

Для подальшої розробки моделі було враховано метод золошлаковидалення [7], який зображено на схемі (рис. 3) для дослідження інших місць накопичення золи при спалюванні палива.

На схемі показано процес збору золи під час спалювання. Зола з фільтра та економайзера транспортується до золовідвалу, а незгорілий матеріал вимірюється за допомогою конвеєрних ваг. Зола, яка залишається в топці, є проблемою.

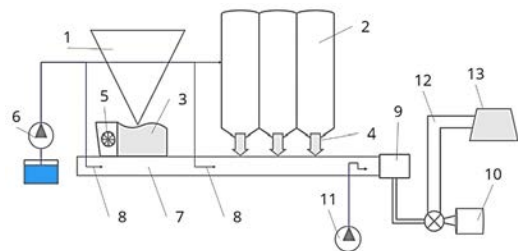


Рис. 3. Схема процесу золошлаковидалення (1 – топка; 2 – золоуловлювальні бункери; 3 – жолоб зі скребковим конвеєром для видалення золи; 4 – механізм промивання золоуловлювача; 5 – шлакоподрібнювач; 6 – промивний насос; 7 – золовідвід; 8 – сопло шлюзу; 9 – ємність для пульпи; 10 – бункерний насос; 11 – дренажний насос; 12 – пульпопровід; 13 – золовідвал)

Зола з колекторів змішується з пічною золою, утворюючи шлам, який транспортується на золовідвал. Вимірюючи потік шламу і віднімаючи технологічну рідину, можна виявити розбіжності між фактичним і заявленим вмістом золи. Для вирішення проблеми абразивного пошкодження, спричиненого накопиченням летючої золи в колекторах, було запропоновано витратомір у трубах колектора.

Беручи до уваги затримку транспортування і щільність технологічної рідини, можна розрахувати фактичну зольність і її вплив на зносостійкість котельного обладнання. Таке рішення для визначення абразивності палива потребує мінімального додаткового обладнання. Наступним кроком є створення схеми контролю витрат абразивного матеріалу.

2. Створення механізму управління з використанням нечіткої логіки для управління зносостійкістю поверхні теплообміну шляхом моніторингу якості вугілля та спрямування потоків вугілля.

Пропонується наступна схема регулювання основних потоків ТЕС, де $M_{C,A}$ та M_{Cn}, A_n – потоки абразивного матеріалу (рис. 4).

За допомогою інтерактивного інструменту MATLAB®, Simulink® (LICENSING 110721904 – MathWorks Trial – 22 Oct 2022) було виконано імітаційне моделювання (рис. 5).

На схемі використовуються наступні позначення: «Concentrator» – система збагачення палива, «Grand Controller» – система керування, що складається з локальних регуляторів, і система прийняття рішень для розподілу потоку вугілля.

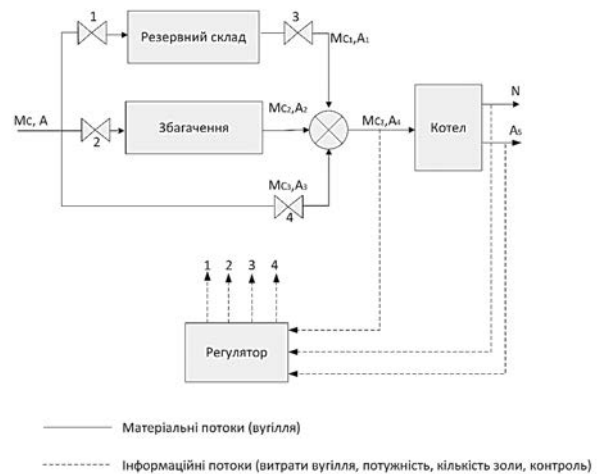


Рис. 4. Схема регулювання

Для регулювання навантаження енергоблоку підходить стандартний ПІД-регулятор [8]. Основна увага в даному дослідженні приділяється створенню керуючого впливу для підтримки заданих характеристик абразивності вугілля, що подається на спалювання.

В роботі [4] розглянуто питання розрахунку швидкостей абразивного руйнування трубної частини котлоагрегату при спалюванні палива. Наведена формула (3) має наступний вигляд:

$$T = \frac{(\delta_{ст} - \delta_{ост})}{(3,6 \cdot \delta_{пит.л} \cdot G_M)} \quad (3),$$

де T – можливий час роботи обладнання при поточному рівні абразивності; $\delta_{ст}$ – товщина стінки трубопроводу в мм; $\delta_{ост}$ – стандартна мінімальна тов-

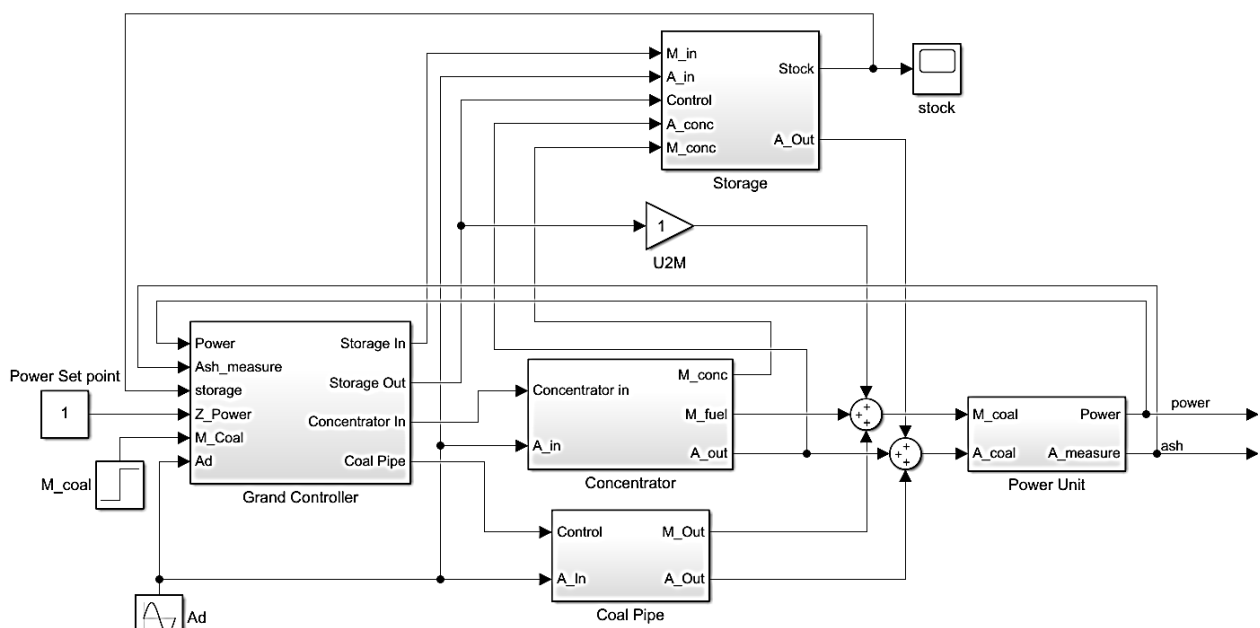


Рис. 5. Імітаційна модель регуляторної системи

Таблиця 1

Класи вугілля та керуючі впливи

n_{SiO_2}	клас палива	від, років	до, років	керуючий вплив
0-5%	Ideal	-	17,75	Передати на резервний склад.
5-9%	Good	17,69	9,43	Використовувати для спалювання.
9-16%	Normal	9,42	4,89	Частково збагатити або змішати з резервом.
16-30%	Unsatisfied	4,89	2,17	Збагатити, або збагатити і змішати з резервом.
30+%	Bad	2,17	-	Змішати з резервом, або використовувати тільки резерв.

Таблиця 2

Програмування правил розподілу потоків для керуючого пристрою

1. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
2. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is norm) then (store is normal)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
3. If (Ads is ideal (0-5)) and (store is empty) then (store is large)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
4. If (Ads is good(5-9)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
5. If (Ads is good(5-9)) and (store is norm) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
6. If (Ads is good(5-9)) and (store is empty) then (store is normal)(burning is normal)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
7. If (Ads is norm(9-16)) and (store is full) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
8. If (Ads is norm(9-16)) and (store is norm) then (store is small)(burning is large)(concentrator is small)(reserve_out is small) (1).
9. If (Ads is norm(9-16)) and (store is empty) then (store is small)(burning is large)(concentrator is normal)(reserve_out is small) (1).
10. If (Ads is unsatisf(16-30)) then (store is small)(burning is normal)(concentrator is normal)(reserve_out is normal) (1).
11. If (Ads is bad(30-40)) then (store is small)(burning is small)(concentrator is normal)(reserve_out is large) (1).

щина стінки трубопроводу в мм; $\delta_{шт.н}$ – питомий лінійний абразивний знос трубопроводу, в мм на тонну абразивного матеріалу в потоці спалюваного матеріалу; G_M – масова витрата матеріалу.

У таблиці 1 порівнюється тривалість експлуатації при різних рівнях абразивності вугілля. На основі показників часу роботи ми було умовно класифіковано вугілля і сформульованні і керуючі впливи на нього, такі як: рішення про спалювання, збагачення, відмову від спалювання і так далі.

Враховуючи те, що граничні значення класу розглядаються як нечіткі множини, було вирішено, що системи, засновані на нечіткій логіці, будуть найбільш придатними. Було побудованно пристрій нечіткого керування.

За вхідні потоки даних для нечіткого регулятора візьмемо зольність палива (A_d) і ємність резервного складу, а керуючим впливом – розподіл потоку палива за відповідними фракціями за

напрямами: на поповнення резервного складу, на пряме спалювання (burning), на збагачення (concentrator), на повну відмову від поточного вугілля і використання резерву (reserve_out).

Умова задачі на рис. 6.1 відповідає класам вугілля з таблиці 1 і впливатиме на вибір паливної дії, а на рис. 6.2 впливатиме на поповнення та використання резерву ТЕС. А правила розподілу потоків були запрограмовані наступним чином:

Таким чином, схема системи управління (Grand Controller) зображена на рис. 8:

3. Симуляція роботи регулятора при різних характеристиках абразивності вугілля.

Сконструйований регулятор працює шляхом фракційного розподілу напрямків потоку енергетичного вугілля. Необхідно було перевірити роботу регулятора при різних рівнях вмісту абразивного матеріалу в паливі. Моделювання системи показало:

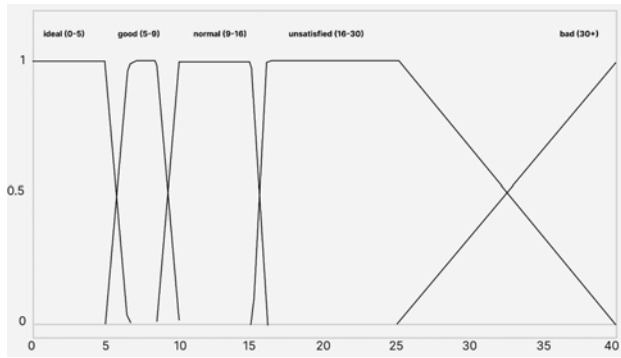


Рис. 6.1. Фазифікація змінних Ad

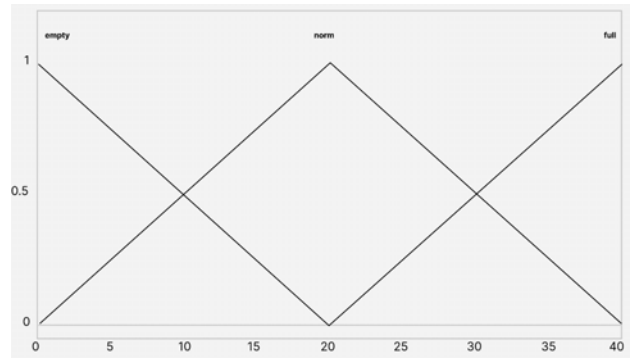


Рис. 6.2. Фазифікація змінних Ad

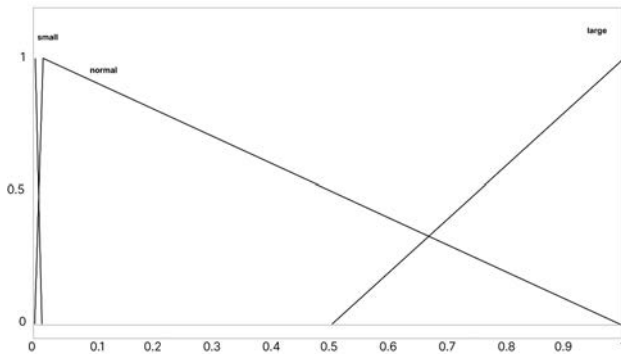


Рис. 7.1. Дефазифікація керуючих впливів

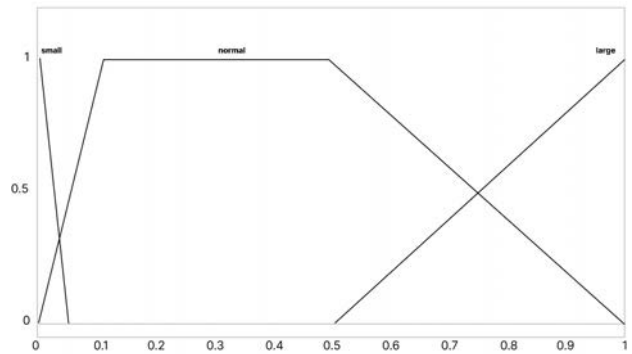


Рис. 7.2. Дефазифікація керуючих впливів

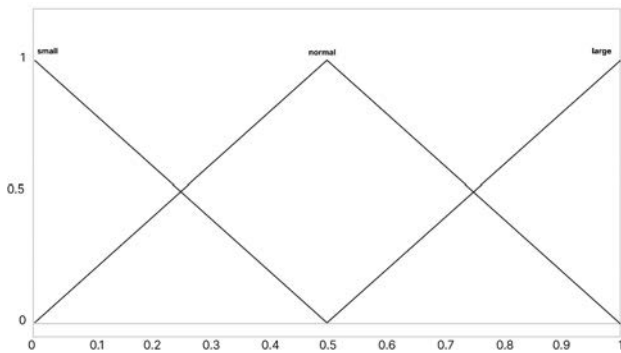


Рис. 7.3. Дефазифікація керуючих впливів

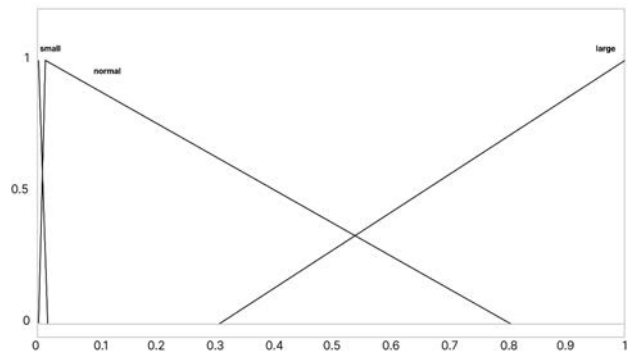


Рис. 7.4. Дефазифікація керуючих впливів

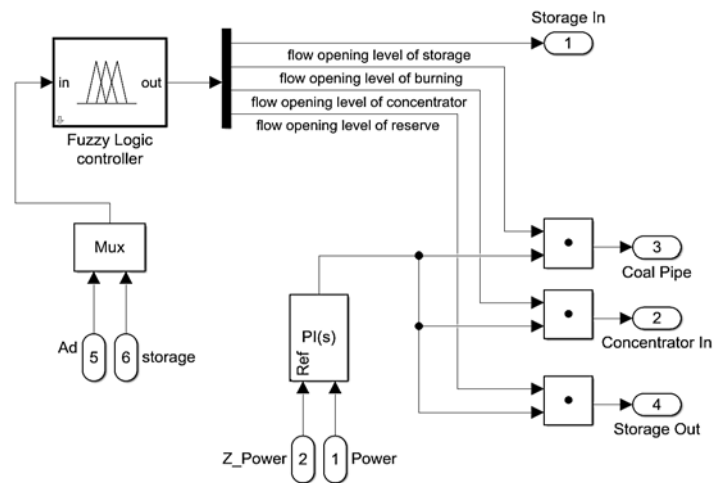


Рис. 8. Схема блоку управління (Grand Controller)

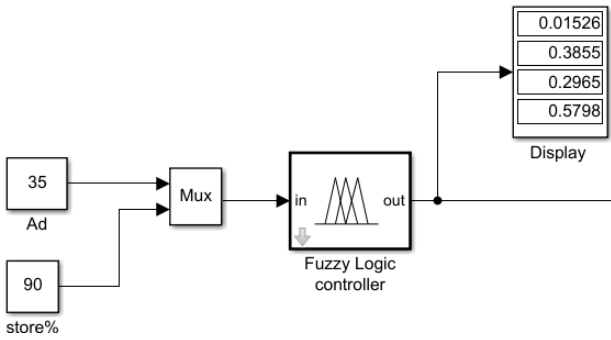


Рис. 9.1. Схема для перевірки результатів управління потоком вугілля при постійній абразивності 35% для 100-часових одиниць

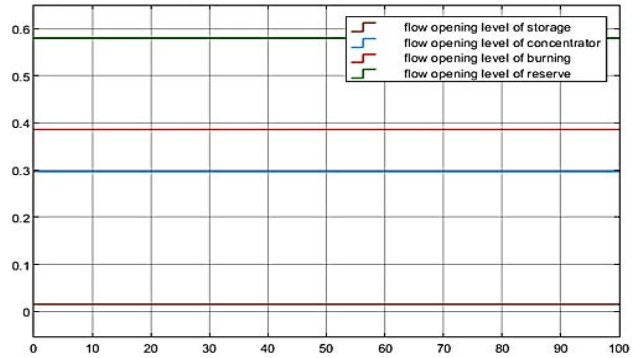


Рис. 9.2. Графік результатів для 9.1

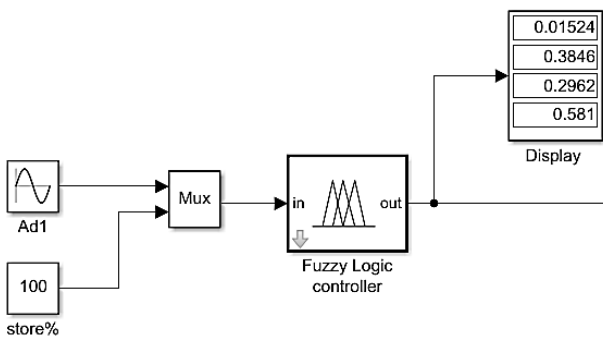


Рис. 10.1. Схема для перевірки результатів управління потоком вугілля, коли показник абразивності неухильно зростає для 100-кратних одиниць

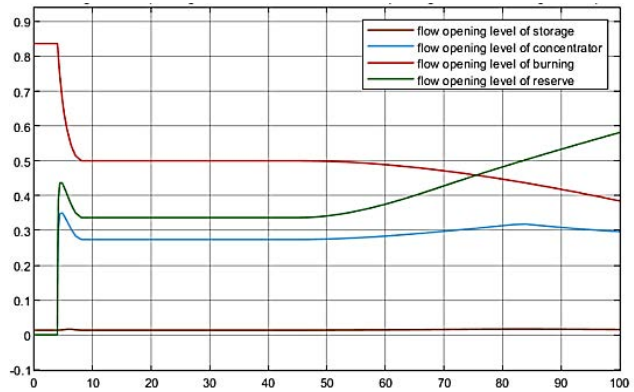


Рис. 10.2. Графік результатів для 10.1

- для «ideal» вугілля, коли резервний запас не заповнений, воно розподіляється майже рівномірно між топкою і резервним запасом, в першу чергу тому, що вимоги до спалювання з високим вмістом вуглецю і практично нульовим вмістом абразиву нижчі, ніж у інших класів енергетичного вугілля;

- для «good» вугілля, при майже повному або майже порожньому складі, воно розподіляється між топкою і складом для поповнення запасу у відповідних пропорціях, залежно від потреби в запасі;

- у випадках, коли абразивність знаходиться між «normal» і «unsatisfied», вугілля розподіляється між потоком печі і потоком збагачення, і частково змішується з резервним вугіллям;

- коли абразивність знаходиться між «unsatisfied» і «bad», вугілля направляється на збагачення і змішується з резервним вугіллям.

Сценарій з постійним значенням $A_d=35\%$ (рисунок 9.1 та рисунок 9.2) показує, що більша частина потоку вугільного палива в топку буде надходити з резерву, в той час як доставлене вугілля буде розподілятися між топкою і збагаченням.

Було розглянуто випадок, коли A_d постійно коливається. Вона безперервно зростає від 14% до

35% протягом 100 часових одиниць (рисунок 10.1 та 10.2).

Результати представлені на рисунку 10.2 наступним чином:

- При початковому $A_d=14\%$ (час роботи системи $t_0=0$ с) майже весь потік палива спрямовується на спалювання.

- При часі роботи системи $t_1=50$ с, A_d змінюється до 24%. В результаті керуючим впливом буде наступний розподіл паливного потоку – половина енергетичного вугілля направляється на спалювання, змішуючись з резервним паливом, а решта – на збагачення.

- В кінці експерименту ($t_2=100$) при $A_d=35\%$ найбільшу частку спалюваного палива становитиме енергетичне вугілля з резерву. При цьому вугілля від постачальника буде частково спалюватися, а частково направлятися на збагачення.

Дані показують, що при послідовному збільшенні вмісту абразивного матеріалу в енергетичному вугіллі потік споживання резервного палива збільшується, а потік споживання зольного палива, що постачається, зменшується. Це може сприяти мінімізації швидкості ерозії поверхні теплообмінника від потоку абразивного матеріалу

під час спалювання. Отже, варто підсумувати, що запропонований регулятор успішно вирішив поставлене завдання.

Висновок. У цьому дослідженні представлено автоматизовану систему збереження довговічності поверхні теплообмінника в паровому котлі вугільної ТЕС. Це досягається за рахунок управління на основі нечіткої логіки, що розділяє потоки енергетичного вугілля на основі їх рівня абразивності. Проведено порівняльний аналіз запропонованого механізму та змодельованого каналу вимірювання вмісту абразивності у енергетичному вугіллі. Далі була комп'ютерна модель для врахування змін якості палива під

час спалювання, яка була інтегрована в пристрій керування на основі нечіткої логіки. За допомогою симуляції управління установкою ефективність керуючого пристрою була перевірена на прикладах різних показників абразивності. Система показала ефективність у моделюванні, дозволяючи забезпечити необхідне спалювання вугілля, зменшуючи при цьому негативний вплив на зносостійкість теплообмінника. Подальші дослідження мають бути зосереджені на управлінні прийому вантажу та виборі постачальника з урахуванням транспортних затримок при постачанні енергетичного вугілля в умовах різної якості палива.

Список літератури:

1. Lotfi A. Zadeh. Fuzzy logic, neural networks, and soft computing. Commun. ACM. 1994. Vol. 37, № 3. P. 77–84. DOI: 10.1145/175247.175255.
2. Min Zhao, Jin Wan, Chen Peng, Generalized predictive control using improved recurrent fuzzy neural network for a boiler-turbine unit, Engineering Applications of Artificial Intelligence. 2023. Vol. 121. P. 83-92. DOI: 10.1016/j.engappai.2023.106053.
3. Грішин М.В., Беглов К.В.. ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ЗБАГАЧЕННЯ ПАЛИВА ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ РИЗИКУ ВИТРАТ ТЕС, Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2021. Том. 32 (71). № 3, С. 82-89. DOI: 10.32838/2663-5941/2021.3/14.
4. Motamen Salehi, F., Khaemba, D.N., Morina, A. Corrosive–Abrasive Wear Induced by Soot in Boundary Lubrication Regime. Tribol Lett. 2016. Vol. 63. № 19. P. 1-11. DOI: 10.1007/s11249-016-0704-9.
5. M. Unde, K. Deokar, M. Hans, S. Kawthe. Closed-Loop Design of Fuzzy Logic Controller in Solar Power Generation. Fourth International Conference on Inventive Systems and Control (ICISC). 2020. P. 215-219. DOI: 10.1109/ICISC47916.2020.9171191.
6. Popov O., Iatsyshyn A., Kovach V., Artemchuk V., Kameneva I., Radchenko O., Nikolaiev K., Stanytsina V., Iatsyshyn A., Romanenko Ye.. Effect of Power Plant Ash and Slag Disposal on the Environment and Population Health in Ukraine. Journal of Health and Pollution. 2021. P. 1-10. DOI: 10.5696/2156-9614-11.31.210910.
7. S. Saputro, L. Mahardiani, M. Masykuri, S. Yamtinah, C. Cinthia. Modification of coal fly ash waste by using core-shell method for Cu²⁺ adsorbent material. Journal of Physics: Conference Series. 2022. Vol. 2190. P. 1-10. DOI: 10.1088/1742-6596/2190/1/012002.
8. Wang, Liuping. PID Control System Design and Automatic Tuning using MATLAB/Simulink. 2020. P. 113-138. DOI: 10.1002/9781119469414.

Grishyn M.V., Beglov K.V. ADVANCEMENT OF THE AUTOMATED MONITORING SYSTEM TO REDUCE THE RISK OF CRITICAL DAMAGE TO THE HEAT EXCHANGE SURFACE OF A STEAM BOILER

This study delves into the issue of rapid heat exchanger tube deterioration faced by thermal power plants. The main reason for this wear is the erosion of the metal surface of the heat exchanger, which is caused by the abrasive component of the ash impurities present in steam coal, which stimulated the development of a new solution – an automated control system based on the principles of fuzzy logic. This system is designed to precisely regulate steam coal flows with different levels of abrasiveness, which contributes to effective damage control.

The aim of this study is to detect in time the discrepancy between the actual coal quality and the declared one and to apply controlling influence in time. These components include, but are not limited to, furnace screen tubes, superheaters, and economizers, whose structural integrity loses its strength under continuous damage from unburned abrasive material. A significant contribution to this problem is made by the discrepancy between the predicted and actual operating time of the equipment before the scheduled shutdown for repair.

In view of this, the article is devoted to the research and development of an automated system aimed at strategic control of the wear resistance of the heat transfer surface, which is a vital part of the steam boiler of a coal-fired power plant. The goal of the system is to keep the level of abrasive impurities in steam coal within controlled limits, thereby protecting the power plant from damaging downtime.

To demonstrate the feasibility of the system and highlight its potential benefits, the article delves into a carefully detailed case study using examples. This in-depth study is supported by modeling results that emphasize the benefits and effectiveness of implementing fuzzy control systems. These systems have proven to be very effective, especially in dynamic environments where coal quality parameters can be subject to significant fluctuations.

By using an automated control system based on fuzzy logic, the study takes problem solving to a new level. It is a testament to significant technological progress, offering a multi-faceted solution to a long-standing problem that has long hindered the smooth operation of thermal power plants.

Key words: automated control system, fuzzy control, coal-fired power plants, varying coal quality, fuel enrichment, heat exchanger wear resistance.