

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Нєсжмаков Сергій Володимирович

УДК 622.48

СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ КОТЛОАГРЕГАТОМ
НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КИПЛЯЧОГО ШАРУ ШАХТНОГО
АВТОНОМНОГО ПОВІТРЯПІДГРІВАЧА

05.13.07 - Автоматизація процесів керування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Донецьк – 2009

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Гавриленко Борис Володимирович,
ДВНЗ «Донецький національний технічний
університет», доцент кафедри «Гірнича електротехніка
та автоматика
ім. Р. М. Лейбова», м. Донецьк

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сілаєв Віктор Іванович,
Донецький державний університет управління,
професор кафедри «Менеджмент
у виробничий сфері», м. Донецьк;

доктор технічних наук, професор
Ульшин Віталій Олександрович,
Східно-український національний
університет ім. Володимира Даля,
завідувач кафедри «Системна інженерія»,
м. Луганськ

Захист відбудеться " 15 " жовтня 2009 р. о 14.00 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради Д11.052.03 Донецького національного технічного університету за адресою:
83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корп. 8, ауд. 704.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ «Донецький національний
технічний університет» за адресою: 83001, м. Донецьк, вул. Артема, 58, корп. 2.

Автореферат розісланий "14" вересня 2009 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д11.052.03
кандидат технічних наук, доцент

Г. В. Мокрий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Стан економіки України у теперішній час нерозривно пов'язаний з функціонуванням і розвитком вугільної промисловості. Для діяльності кожної шахти актуальною проблемою є зниження собівартості продукції. Однією із статей витрат є використання енергоносіїв для підігрівання повітря, що подається у виробки, у зимовий період часу. В той же час традиційні технології або знижують ефективність спалювання власного палива, або вимушують використовувати привезене паливо, у тому числі імпортовані газ або нафтопродукти.

Необхідно відзначити наступні тенденції в даному питанні: по-перше, спостерігається загальносвітове підвищення цін на нафтопродукти і газ, по-друге, якість гірської маси, яка видається на поверхню, або знаходиться на низькому рівні, або продовжує знижуватися. При умовах, що склалися, одним з можливих рішень є застосування енергозберігаючої технології киплячого шару для здобуття тепла, що дозволяє використовувати низькоякісне паливо зольністю до 75-80% з невисокими витратами на його підготовку. Також до переваг даного технічного рішення відноситься підвищення надійності функціонування системи обігріву виробок за рахунок відсутності в схемі автономного газоповітряного повітряпідігрівача з топкою низькотемпературного киплячого шару (НТКШ) проміжного теплоносія – пару або води, що виключає можливість замерзання і виходу з ладу калориферної установки.

Одним зі стримуючих факторів при впровадженні технології киплячого шару є недосконалість існуючої системи управління топкою, при розробці якої проігноровано ряд особливостей об'єкту в порівнянні зі звичайною котельною установкою. Найбільш істотними недоліками системи є наявність відособлених контурів управління і неможливість здійснювати рециркуляцію димових газів та тепла, що знижує якість управління й економічну ефективність установки.

Цим обумовлюється актуальність створення системи автоматичного управління тепловою продуктивністю котлоагрегата НТКШ шахтного автономного газоповітряного повітряпідігрівача. Розробка і реалізація даної системи дозволить підвищити ефективність функціонування установки, що дасть економічний ефект.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до тематичного плану Донецького національного технічного університету по держтемах НДР: Н-21-2000 "Дослідження шахтних теплоенергетичних процесів і створення систем управління" і Н-20-05 "Розробка системи автоматичного управління комплексом теплопостачання з котлоагрегатами низькотемпературного киплячого шару в умовах змінної витрати теплоносія".

Метою роботи є підвищення ефективності роботи шахтного автономного газоповітряного повітряпідігрівача шляхом синтезу системи автоматичного управління, яка забезпечує вироблення необхідної кількості теплоносія в котлоагрегаті НТКШ при підтримці технологічних параметрів процесу на заданому рівні.

Для досягнення мети в роботі вирішуються **наступні задачі:**

- аналіз технологічних особливостей і рівня автоматизації шахтного автономного газоповітряного повітряпідігрівача з топкою НТКШ;
- розробка математичної моделі процесу здобуття теплоносія в котлоагрегаті НТКШ з оцінкою її адекватності реальним топковим процесам для аналізу динамічних властивостей об'єкту при основних управляючих і збурюючих діях;
- формулювання мети управління і обґрунтування задаючих дій верхнього рівня при використуванні технологічних режимах роботи з можливістю рециркуляції димових газів для економії твердого палива;
- розробка структури дворівневої системи автоматичного управління технологічною

установкою «котел-калорифер» і дослідження якісних характеристик існуючої і запропонованої систем автоматизації за нестационарних умов;

- розробка структури технічної реалізації САУ;
- техніко-економічне обґрунтування ефективності розробленої системи управління котлоагрегатом НТКШ.

Об'єкт досліджень – котлоагрегат низькотемпературного киплячого шару шахтного автономного газоповітряного повітряпідігрівача.

Предметом досліджень є дворівнева багатозв'язкова система автоматичного управління тепловою продуктивністю котлоагрегата низькотемпературного киплячого шару.

Методи дослідження. У роботі застосовано методи сучасної теорії автоматичного управління, декомпозиції й агрегування, теорії горіння твердого палива, теорії тепло- і масообміну в топковому просторі, математичної статистики, теорії планування і обробки результатів експериментів, математичного моделювання, координуючого управління.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблена математична модель котельної установки киплячого шару, що відрізняється від відомих тим, що подання топкового простору рядом взаємозв'язаних комірок з послідовним і паралельним переміщенням твердих часток дозволяє досліджувати динамічні характеристики котлоагрегату при комбінованому варіюванні в можливому діапазоні існування основних параметрів палива без зміни структури моделі.

2. Вперше розроблено дворівневу багатозв'язкову систему автоматичного управління тепловою продуктивністю котлоагрегату НТКШ на основі регульованих співвідношень, що дозволило підвищити якість управління технологічним об'єктом і забезпечило можливість роботи в умовах рециркуляції відпрацьованого теплоносія.

3. Отримав подальший розвиток спосіб управління тепловою продуктивністю топки НТКШ, заснований на реалізації двох паралельних процесів – формування керуючих впливів верхнього рівня і їхньому узгодженні в перехідних режимах у координуючій матриці, що дозволило стабілізувати роботу котлоагрегату при розширенні допустимого діапазону зміни параметрів твердого палива.

Практичне значення отриманих результатів.

1. Розроблені програмний комплекс і методика моделювання котлоагрегату дозволяють досліджувати динамічні процеси в котельній установці по різних каналах управління і збурень, а також виконати формалізацію математичної моделі для завдань автоматичного управління.

2. Запропонована структура побудови системи автоматичного управління котлоагрегатом виключає необхідність ручного налаштування локальних регуляторів в умовах змінної витрати теплоносія і забезпечує безперервний розрахунок задаючих дій верхнього рівня і коефіцієнтів координуючої матриці.

3. За рахунок вдосконалення структури зворотних зв'язків у системі управління котлоагрегатом вдалося знизити інерційність у каналі управління подачею твердого палива і перерегулювання за температурою киплячого шару в перехідних процесах.

4. Вдосконалено систему автоматичного управління топкою НТКШ, запропоновано типовий комплекс технічних засобів для реалізації системи управління об'єктами даного класу і рекомендації щодо оцінки її економічної ефективності.

5. Результати теоретичних досліджень дисертаційної роботи використано при проведенні держтеми № Н-21-2000 «Дослідження шахтних теплоенергетичних процесів і створення систем управління» і Н-20-05 «Розробка системи автоматичного управління комплексом теплопостачання з котлоагрегатами низькотемпературного киплячого шару в умовах змінної витрати теплоносія», а також застосовано у начальному процесі кафедри

«Гірничу електротехніку і автоматизацію ім. Р.М. Лейбова» за курсами «Технологічні вимірювання та прилади в гірничій промисловості», «Технічні засоби автоматизації» та «Автоматизація виробничих процесів».

6. Результати наукових та практичних досліджень дисертаційної роботи використано при проведенні монтажно-налагоджувальних та модернізаційних робіт Донецьким спеціалізованим управлінням «Теплоенергоавтоматика» та Державною акціонерною компанією «Донбасвуглеавтоматика», а також прийнято до використання Державним підприємством «ИНСТИТУТ «УКРНДІПРОЕКТ»» при виконанні НДДКР і проектів будівництва нових та модернізації діючих шахт.

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення і результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень повідомлені, обговорені і отримали схвалення: на кафедрі «Гірничу електротехніку і автоматизацію» Донецького національного технічного університету (2006, 2007 рр.); на семінарі ВАТ «Науково-дослідний інститут гірничої механіки імені М.М.Федорова» (2007 р.); на науково-технічній раді ВАТ «Автоматгірмаш ім. В.А. Антіпова» (2007 р.); на науково-технічній раді державного підприємства «Державний науково-дослідний проектно-конструкторський і проектний інститут вугільної промисловості «УКРНДІПРОЕКТ»» (2008 р.); на кафедрі «Автоматизація виробничих процесів» Національної металургійної академії України (2008 р.); на кафедрі «Автоматизації і комп'ютерних систем» Національного гірничого університету (2008 р.); на II, IV, V Міжнародних науково-технічних конференціях аспірантів і студентів у м. Донецьку «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих» (ДонНТУ, 2002, 2004, 2005 рр.); на Міжнародній конференції з управління «Автоматизація 2002», 16-20 вересня 2002 р., м. Донецьк, Україна (ДонНТУ); на Міжнародній молодіжній науковій конференції «Севергеоэкотех-2004», 17-19 березня 2004 р., м. Ухта, РФ.

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 11 друкованих праць, у тому числі 6 у фахових виданнях ВАК України і 5 у тезах доповідей на науково-технічних конференціях.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 4 розділів і висновків, викладених на 126 сторінках машинописного тексту, ілюстрованого 37 рисунками. Робота містить 9 таблиць, список використаної літератури зі 107 найменувань і 10 додатків на 97 сторінках.

ОСНОВНИЙ ВМІСТ РОБОТИ

Перший розділ «Стан питання. Мета й задачі дослідження» присвячено аналізу стану питання управління топкою НТКШ шахтного автономного повітряпідігрівача. Охарактеризована сфера застосування технології НТКШ, обґрунтована доцільність переходу до комбінованого управління тепловим навантаженням повітряпідігрівача з використанням відпрацьованого теплоносія. Аналіз літературних джерел дозволив виділити два основні напрями автоматизації управління топками НТКШ. Перший пов'язаний з вдосконаленням локальних контурів регулювання на основі ПД-регуляторів і одночасним впровадженням системи якісної підготовки твердого палива перед спалюванням, що має сенс перш за все для теплогенераторів великої потужності і набуло поширення за кордоном. Другий напрям пов'язаний зі створенням і використанням адаптивних регуляторів, що забезпечують динамічну ідентифікацію характеристик топки киплячого шару, проте при розгляді питання управління тепловою продуктивністю лише за одним параметром.

Питання про автоматизацію процесу повернення продуктів згорання в котлоагрегат

для корекції температури киплячого шару розглянуто лише з точки зору можливості використання цього способу управління топкою НТКШ. Стримуючим фактором в розробці систем автоматизації топок НТКШ є також складність розробки математичних моделей, що описують процеси тепломасообміну і хімічних реакцій, що відбуваються в котлоагрегаті. У розділі конкретизовано мету і завдання управління, шляхи їх досягнення і вирішення.

Другий розділ «Розробка й дослідження математичної моделі процесу виробництва й споживання теплоносія в системі шахтного автономного повітряпідігрівача з топкою НТКШ» присвячений математичному моделюванню процесів виробництва і споживання теплоносія в системі шахтного автономного повітряпідігрівача з топкою НТКШ. На основі методів декомпозиції і подальшого агрегування обґрунтовано структуру математичної моделі

виробництва теплоносія в топці НТКШ (рис. 1). Об'ємна витрата твердого палива V_{tt} з урахуванням поточних значень зольності A , вологості W і долею вугілля двох різних марок $d1$ і $d2$ наводиться до масових значень витрат, що надходять до киплячого шару, і горючою

складовою палива G_{tt} . Всі частки, що надходять до шару, мають полідисперсний склад, який підкоряється нормальному закону розподілу, де змінною складовою є математичне очікування еквівалентного діаметру часток D_{mo} . Матеріал розподіляється по n -му числу елементарних комірок D з однаковими в межах однієї комірки геометричними розмірами часток і константами хімічних реакцій для відповідних стадій конверсії твердого палива. Структура кожної елементарної комірки однакова, що дає можливість у разі потреби збільшувати кількість комірок і, відповідно, точність моделювання. Частки коксового залишку по мірі вигорання і зменшення геометричних розмірів переходять у комірки з меншим діаметром. Вихідними характеристиками є поточна температура киплячого шару і обсяг газоповітряної суміші на виході з шару. Рівняння теплового балансу, що описує процеси в топці НТКШ, мають вигляд:

$$\frac{dI_{cl}}{dt} M_{cl} = Q_{gt} + Q_v + (Q_{T1} + Q_{T2})(1 - q_3 - q_4) - Q_{Tn1} - Q_{Tn2} - Q_{Tnn1} - Q_{Tnn2} - Q_{H2O} - Q_{d1} - Q_{d2} - Q_{dgt} - Q_{vo} \quad (1)$$

де I_{cl} – питома ентальпія інертного матеріалу шару (залежності $I_{cl}=f(T_{cl})$ і $T_{cl}=f(I_{cl})$ при моделюванні задаються масивом даних);

Q_{gt} – кількість теплоти в одиницю часу, одержувана від згорання рідкого палива при розпалюванні;

Q_v – кількість теплоти в одиницю часу, що вноситься до топки дуттьовим повітрям;

Q_{Tnn1} і Q_{Tnn2} – кількість теплоти в одиницю часу, відібране з топки на прогрівання породи;

Q_{H2O} – кількість теплоти в одиницю часу, відібране з топки на випаровування і прогрівання до температури шару вологи, що міститься в паливі;

$Q_{d1}, Q_{d2}, Q_{dgt}, Q_{vo}$ – кількість теплоти в одиницю часу, відібрана з топки продуктами горіння твердих і рідкого палив, а також залишком дуттьового повітря, що не прореагувало, відповідно;

Q_{T1}, Q_{T2} і Q_{Tn1}, Q_{Tn2} , – кількість теплоти в одиницю часу, що вноситься до топки при згоранні сухої горючої маси палив 1 і 2, і відібране при нагріві цих мас до температури шару (наводяться надалі без індексів 1 і 2 для всіх змінних, окрім об'ємних долей відповідних палив в продуктивності закидача $dt1$ і $dt2$). Величина масової витрати сухої горючої

складової палива:

$$G_{tt} = \rho_u \cdot k_{nr} \cdot V_{tt} \cdot d_{t1} \cdot \left(1 - \frac{0,01 \cdot A_p \cdot \rho_u}{\rho_p - 0,01 \cdot A_p \cdot \rho_p + 0,01 \cdot A_p \cdot \rho_u} \right), \quad (2)$$

де ρ_u - щільність сухої горючої маси;

ρ_p - щільність породи;

k_{nr} - коефіцієнт пористості;

V_{tt} - об'ємна продуктивність закидача;

A_p - зольність палива.

Рис. 1. Структура моделі топкового простору

При моделюванні суха горюча маса розподіляється за рядом комірок, в діапазоні діаметрів часток $D_{max}, \dots, D_j, \dots, D_{min}$. Нумерація комірок починається з мінімального діаметру, а поточна масова витрата у комірці визначається з виразу:

$$G_{tj} = G_{tt} \frac{\int_{D_{min}}^{D_{j+1}} F(D, D_{mo}) dD}{\int_{D_{min}}^{D_{max}} F(D, D_{mo}) dD}, \quad (3)$$

де $F(D, D_{mo})$ - функція розподілу гранулометричного складу часток залежно від поточного значення математичного очікування.

Передбачається, що частки j -ої комірки мають однаковий розрахунковий діаметр D_{rj} і послідовно проходять стадії прогрівання до температури шару, виходу і горіння летучих, вигорання коксового залишку до D_{rj-1} , після чого відбувається перехід коксового залишку у комірку $j-1$. Відбір теплоти на прогрівання горючої маси в одній комірці і здобуття теплоти від горіння летучих і коксового залишку визначаються як:

$$Q_{Tnj} = \frac{\int_0^t G_{tj}(t) dt}{\tau_{rj}} \cdot I_{tn}, \quad (4)$$

$$Q_{Tj} = \left(\int_{t-\tau_{lj}}^t \frac{k_{vl} \cdot G_{ij}(t-\tau_{rj})}{\tau_{lj}} dt + \left[\begin{aligned} & G_{ij}(t-\tau_{rj}-\tau_{lj}-\tau_{gj}) \cdot \\ & \cdot (1-d_{tr}(j)) \cdot (1-d_i(j)) \end{aligned} \right] + \left[\begin{aligned} & \left(\sum_{j_{\max}}^{b=j+1} \left(G_{tb}(t-\tau_{rb}-\tau_{lb}-\tau_{gj}) \cdot \right. \right. \\ & \left. \left. \cdot d_{tr}(b) \right) \right) \cdot \\ & \cdot d_r(j) \end{aligned} \right] + \left(\begin{aligned} & G_{tb}(t-\tau_{rb}-\tau_{lb}-\sum_b^{c=j+1} \tau_{gb}) \cdot \\ & \cdot (1-d_{tr}(b)) \cdot \\ & \cdot \prod_b^{c=j+1} ((1-d_i(c)) \cdot kum(c)) \end{aligned} \right) + \left(\begin{aligned} & G_{tb}(t-\tau_{rb}-\tau_{lb}-\sum_b^{c=j+2} \tau_{gb}) \cdot \\ & \cdot (1-d_{tr}(b)) \cdot d_i(c) \cdot \\ & \cdot \prod_b^{c=j+2} (d_i(c) \cdot kum(c)) \end{aligned} \right) \right] + \frac{\left[(1-k_{vl}) \cdot \right.}{\tau_{gj}} \cdot \left. \frac{\left[(d_i(j)) \cdot kum(j) \right]}{dt} \right] \cdot Q_{ng}$$

(5)

де $\tau_{rj}, \tau_{lj}, \tau_{gj}$ - час перебування часток у відповідній стадії;
 Q_n - нижча теплота згорання в перерахунку на суху горючу масу;
 k_{vl} - коефіцієнт виходу летучих;
 d_{tr} і d_i - долі часток, що піддалися терморозкладу і механічному зламу (стиранню);
 d_r – доля подрібнених часток, що надійшли до комірки.

Далі за алгоритмом визначається $Q_T = \sum Q_{Tj}$, аналогічно Q_{T2} , Q_{Tn1} і Q_{Tn2} .

Адекватність розробленої моделі топки НТКШ підтверджена експериментальними дослідженнями перехідних процесів в умовах шахтного автономного повітряпідігрівача шахти 4-21 ГП «Шахтоуправління «Південнодонбаське» №1» з використанням методів математичної статистики, теорії планування і обробки результатів експериментів.

Отримані результати дали можливість обґрунтувати динамічні характеристики об'єкта управління з наступними характеристиками вугілля:

- робочі (які використовуються для проведення теплотехнічних розрахунків установки) $A=40\%$, $W=6,5\%$, $d_{mo}=6\text{мм}$;
- гранично допустимі за умовами спалювання в НТКШ, для нижчих показників якості $A_{\max}=80\%$, $W_{\max}=9\%$, $d_{mo}=1\text{мм}$, для вищих – $A_{\min}=20\%$, $W_{\min}=4\%$, $d_{mo}=13\text{мм}$.

Отримані передавальні функції топки НТКШ при змінних параметрах твердого палива і режимі рекуперації димових газів дозволили подати котельну установку як багатовимірний багатозв'язковий об'єкт. Проведено обґрунтування та вибрано передавальні функції

повітряпідігрівача, газоходів, виконавчих механізмів.

В третьому розділі виконано аналіз динамічних характеристик і синтезу системи управління тепловою продуктивністю котлоагрегата НТКШ. Узагальнена структурна схема системи управління повітряпідігрівачем (рис. 2) включає внутрішній $W_{p2}(p)$ і зовнішній $W_{p1}(p)$ регулятори, з'єднані послідовно. Для зовнішнього і внутрішнього регуляторів задаючими діями є відповідно температура повітря T_{pv}^{zad} , що надходить в стовбур, і необхідний об'єм теплоносія – газоповітряної суміші (ГПС) V_{sm}^{zad} . Блоки $W_{os1}(p)$ і $W_{os2}(p)$ характеризують динамічні властивості засобів виміру.

Задача синтезу каскаду управління повітряпідігрівачем $W_z(p)$ зводиться до забезпечення подачі необхідного об'єму ГПС при стійкій роботі котлоагрегату. Часткове збереження існуючої структури управління у вигляді автономних контурів для підтримки висоти НТКШ і регулювання продуктивності димососа і вентилятора розбавляючого повітря обґрунтоване постійністю задаючих дій і можливістю стійкого регулювання одним ПІД-регулятором в кожному контурі, оскільки можливі збурюючі дії (V_{tt} , T_v , V_{ks}) мають значно більшу інерційність, ніж керуючі.

При заданні необхідного об'єму теплоносія V_{sm}^{zad} переміщенням робочої точки уздовж ламаної ABCD (рис. 3) по настроювальних характеристиках топки НТКШ регулюється теплова продуктивність котлоагрегату. Ділянка АВ

Рис. 2. Узагальнена структурна схема системи управління повітряпідігрівачем

Рис. 3. Настроювальні характеристики топки НТКШ

визначається межею існування НТКШ, запас температури на ділянці ВС до верхнього кордону $T_{ks}^{\max}$ враховує технологічні особливості котлоагрегата. Підвищена величина T_{ks}

забезпечує з тим самим об'ємом теплоносія (криві V_{sm1} і V_{sm2}) знижений об'єм через НТКШ ГПС, що продувається. Це покращує економічні та екологічні показники всієї установки. Ділянка CD також розташована на природній межі існування НТКШ і характеризує передаварійний стан котлоагрегату.

При управлінні тепловою продуктивністю топки НТКШ вектор переходу з робочої точки R_1 в точку R_2 представлений сумою двох векторів зі зміною подачі дуттьової суміші і твердого палива:

$$\overline{R_1 R_2} = \overline{R_1 V} + \overline{R_1 T} \quad (6)$$

Під час управління підтримується баланс теплових напорів потоків, що поступають в топковий простір і покидають його (і, як наслідок, постійна температура шару), із забезпеченням потрібних коефіцієнта надлишку повітря на виході з топки α і об'ємної витрати ГПС.

Оскільки величина T_{pv} регулюється лише зміною об'єму теплоносія, є раціональним як мету управління тепловою продуктивністю топки НТКШ використовувати залежність:

$$J = \int_0^{\infty} |V_{sm} - V_{sm}^{zad}| dt \rightarrow \min \quad (7)$$

з технологічними обмеженнями:

$$V^{\min} \leq V_{smo} + V_{vd} \leq V^{\max}; \quad (8)$$

$$T_{ks}^{\min} \leq T_{ks} \leq T_{ks}^{\max}; \quad (9)$$

$$\alpha \geq \alpha_{\min}. \quad (10)$$

Для оцінки динамічних характеристик системи керування котлоагрегатом на підставі отриманих в розділі 2 передавальних функцій елементів технологічного об'єкту розроблено структурну схему (рис. 4).

Модифікована структура багатовимірної дворівневої ієрархічної системи управління котлоагрегатом наведена на рис. 5. Координуючий блок Н перетворює апробований

ПІД-закон управління змінними V_i відповідно до регульованих співвідношень, що забезпечують мінімізацію нев'язок управляючих дій Y_i в перехідних режимах. Координатор верхнього рівня (ВУ) за задаючими діями $\overline{\psi}$ і поточному стані котлоагрегату $\overline{X}$ формує завдання U_i для локальних регуляторів ПІД, кожен з яких стабілізує змінну V_i .

Синтез системи управління котлоагрегатом зводиться до вирішення наступних задач:
- вибір вимірюваних величин;

- вибір задаючих дій u_i ;

Рис. 4. Спрощена структура технологічного об'єкту

- отримання математичних залежностей, що визначають зв'язок між V_{sm}^{zad} і задаючими діями u_i ;

- налаштування параметрів ПД-регуляторів;

- визначення конфігурації і параметрів координуючого блоку Н.

На підставі модифікованої структури системи (рис. 5) і технологічних особливостей котлоагрегату (рис. 3) синтезовано структуру каскаду управління $W_z(p)$ (рис. 2).

Регулятор ПД1 подачею твердого палива забезпечує необхідний тепловий напір Q_{tt} , величина якого визначається положенням робочої точки (рис 3). Це дозволяє виключити з контура управління з найбільш нестабільними параметрами одну з двох аперіодичних ланок.

Оцінка поточного значення Q_{tt} здійснюється за непрямыми показниками з використанням температурних датчиків в газоходах (T_{sm} , T_{smo} , T_v) з меншою інерційністю.

Рис. 5. Модифікована багатовимірна ієрархічна система управління

Для спрощення викладень і зручності використання табличних даних всі об'ємні витрати під час синтезу і моделювання системи управління колоагрегатом вважаються приведеними до 0^0C . Сума внесеної та видаляємої газоподібними реагентами кількості тепла визначається на основі інформації від технологічних датчиків:

$$Q_{sm} = V_{vr} \cdot (I_v(T_{sm}) - I_v(T_v)) + (V_{sm} - V_{vr}) \cdot I_{dg}(T_{sm}) - \\ - V_{vd} \cdot I_v(T_v) - V_{smo} \cdot \left(\frac{V_{vr}}{V_{sm}} \cdot I_v(T_{sm}) + \frac{V_{sm} - V_{vr}}{V_{sm}} \cdot I_{dg}(T_{sm}) \right) \quad (11)$$

При будь-яких змінах Q_{tt} відбувається нагрів матеріалу НТКШ і витічних з топки реагентів в частках, пропорційних добутку маси НТКШ і, відповідно, витрати газоподібних реагентів на їх теплоємність:

$$Q_{tt} = Q_{sm} + \frac{dQ_{sm}}{dt} \cdot \frac{M_{ks} \cdot c_{ks}}{V_{vr} \cdot c_v + (V_{sm} - V_{vr}) \cdot c_{dg}}, \quad (12)$$

де c_{dg} – теплоємність димових газів. Розрахункові величини V_{vr} , V_{vd} записуються з індексом P . Настроювальне значення Q_{tt}^{zad} визначається для стаціонарного режиму роботи котлоагрегата ($dQ_{sm}/dt = 0$) відповідно до виразу (7) і обмежень (8 і 9) для заданих значень витрати і температури ГПС:

$$Q_{tt}^{zad} = V_{vr}^P \cdot (I_v(T_{sm}^{zad}) - I_v(T_v)) + \\ + (V_{sm}^{zad} - V_{vr}^P) \cdot I_{dg}(T_{sm}^{zad}) - V_{vd} \cdot I_v(T_v) - \\ - V_{smo}^P \cdot \left(\frac{V_{vr}^P}{V_{sm}^{zad}} \cdot I_v(T_{smo}) + \frac{V_{sm}^{zad} - V_{vr}^P}{V_{sm}^{zad}} \cdot I_{dg}(T_{smo}) \right) \quad (13)$$

Обмеження (10) визначає співвідношення витрати дугтьового повітря до відпрацьованої суміші:

$$\left(V_{vd}^P + V_{smo}^P \cdot \frac{V_{vr}^P}{V_{sm}^{zad}} \right) \cdot \frac{1}{v_v} = \frac{Q_{tt}^{zad}}{Q_n^{min}} \cdot \alpha, \quad (14)$$

Зміна об'єму ГПС при згоранні твердого палива становить:

$$V_{sm}^{zad} - V_{vr}^P = \left(V_{vd}^P + V_{smo}^P \cdot \frac{V_{vr}^P}{V_{sm}^{zad}} \right) \cdot \frac{vg}{v_v} + V_{smo}^P \cdot \frac{V_{sm}^{zad} - V_{vr}^P}{V_{sm}^{zad}}. \quad (17)$$

Додатковою умовою управління є знаходження робочої точки на ламаній ABCD (рис.

3). Для ділянки BC з температурою НТКШ T_{ks}^P :

Рис. 6. Структурна схема автоматичного керування котлоагрегатом

$$Q_{tt}^{zad} = \frac{V_{vr}^p \cdot (I_v(T_{sm}^{zad}) - I_{dg}(T_{sm}^{zad}) - I_v(T_{smo}) + I_{dg}(T_{smo})) + V_{sm}^{zad} \cdot (I_{dg}(T_{sm}^{zad}) - I_{dg}(T_{smo}))}{1 + \frac{\alpha}{Q_n^{\min}(V_{sm}^{zad} - V_{vr}^p)} \cdot \left(V_{vr}^p \cdot (I_v(T_v) \cdot (vg - vv)) + vg \cdot (I_{dg}(T_{smo}) - I_v(T_{smo})) + V_{sm}^{zad} \cdot (vv \cdot I_v(T_v) - vg \cdot I_{dg}(T_{smo})) \right)}, \quad (16)$$

а для ділянки АВ (CD) відповідно:

$$Q_{tt}^{zad} = \frac{V_{sm}^{zad} \cdot \left(I_v(T_{sm}^{zad}) - I_v(T_v) + \frac{I_v(T_v) - I_v(T_{smo})}{\alpha} \right) + V^{\min(\max)} \cdot (I_{dg}(T_{sm}^{zad}) - I_v(T_{sm}^{zad}) - I_{dg}(T_{smo}) + I_v(T_{smo}))}{1 + \frac{1}{Q_n^{\min}} \cdot \left(\alpha \cdot (vg - vv) \cdot (I_v(T_{sm}^{zad}) - I_v(T_v) - I_{dg}(T_{sm}^{zad})) + \frac{vv \cdot V_{sm}^{zad}}{V^{\min(\max)}} \cdot (I_v(T_v) - I_v(T_{smo})) + vv \cdot \alpha \cdot (I_{dg}(T_{smo}) - I_v(T_{smo})) \right)}.$$

Для виконання обмеження (8) в якості задаючих дії регуляторів ПД2 і ПД3 (рис. 6) запропоновано використовувати температуру НТКШ T_{ks}^p . На ділянці характеристики ВС (рис. 3) стабілізація T_{ks} здійснюється обома регуляторами, а в разі переходу на ділянку АВ

задаючою дією для регулятора ПД2 буде поточне значення T_{ks} , що спільно з виключенням із закону регулювання інтегруючої складової забезпечує постійну величину v_2 . Відповідно, при знаходженні робочої точки на ділянці CD задаючою дією вже для регулятора ПД3 є поточне значення T_{ks} . Виконання умови (8) забезпечується блокуванням ланцюгів управління виконавчих механізмів IM2 і IM3 на збільшення (зменшення) продуктивності на ділянках CD (AB). З урахуванням того, що змінна v_1 є ведучою величиною, однозначно залежною від V_{sm}^{zad} , координація здійснюється лише для управляючих дій, y_2 і y_3 . Відповідно в координуючій матриці коефіцієнт $H_{11}=1$, а величини H_{21} , H_{31} , H_{12} і H_{13} дорівнюють нулю. Коефіцієнти H_{22} і H_{33} визначаються умовою (10):

$$H_{22} = \frac{V_{vd}^p}{V_{vd} + V_{smo}} = \frac{\frac{Q_{tt} \cdot \alpha \cdot vv}{Q_n^{\min}} - V_{smo} \cdot \frac{V_{vr}}{V_{sm}}}{V_{vd} + V_{smo}}; \quad (18)$$

$$H_{33} = \frac{V_{smo}^p}{V_{vd} + V_{smo}} = \frac{\left(\frac{Q_{tt} \cdot \alpha \cdot vv}{Q_n^{\min}} - V_{vd} \right) \cdot \frac{V_{sm}}{V_{vr}}}{V_{vd} + V_{smo}}. \quad (19)$$

Змінна структура коефіцієнтів H_{32} і H_{23} визначається положенням робочої точки і напрямом її переміщення. На ділянці BC координація управляючих дій y_2 і y_3 забезпечується коефіцієнтами H_{22} і H_{33} , що дозволяє зрівняти H_{32} і H_{23} до нуля. На ділянці CD (AB) ведучою величиною стає y_2 (y_3), з відповідним корегуванням:

$$H_{32} = \begin{cases} 0 & \text{для } AB, BC \\ -\frac{K_{ns}}{v_2} \cdot \left(V_{vd} - v_2 \cdot \frac{\frac{Q_{tt} \cdot \alpha \cdot vv}{Q_n^{\min}} - V_{smo} \cdot \frac{V_{vr}}{V_{sm}}}{V_{vd} + V_{smo}} \right) & \text{для } CD \end{cases}, \quad (20)$$

$$H_{23} = \begin{cases} 0 & \text{для } BC, \\ & CD \\ -\frac{K_{ns}}{v_3} \cdot \left(V_{smo} - v_3 \cdot \frac{\left(\frac{Q_{tt} \cdot \alpha \cdot vv}{Q_n^{\min}} - V_{vd} \right) \cdot \frac{V_{sm}}{V_{vr}}}{V_{vd} + V_{smo}} \right) & \text{для } AB \end{cases}, \quad (21)$$

де K_{ns} – коефіцієнт, що враховує невідповідність характеристик при одночасній роботі в мережі двох дуттьових машин.

При дослідженні (рис. 7) роботи існуючої та розробленої систем керування котлоагрегатом на найнесприятливішій ділянці CD отримано перехідні характеристики (криві 1,2,3 і 4,5 відповідно) за температурою НТКШ при граничних параметрах твердого палива. Крива 6 характеризує характер перехідного процесу при зміні сорту твердого палива. Аналіз результатів моделювання показує значне поліпшення показників якості перехідних процесів за всіма регульованими координатами.

Застосування алгоритму координуючого управління дозволило виключити перерегулювання і отримати по всіх координатах виходу монотонні перехідні процеси. При зміні сорту твердого палива вихідна САУ котлоагрегату втрачає стійкість, в той час, як розроблена – зберігає працездатність за наявності коливальних процесів.

Виходячи з аналізу технологічних особливостей топки НТКШ, обґрунтовано доцільність використання координуючого алгоритму керування. В результаті вирішення задачі синтезу отримано алгоритм керування зі зворотним зв'язком за станом об'єкта.

Розроблено структуру дворівневої системи автоматичного керування, сформульовано завдання управління об'єктом як сукупністю підсистем. Обґрунтовано порядок розрахунку задаючих дій верхнього рівня і коефіцієнтів координуючої матриці.

Для оцінки показників якості в замкнутій системі управління розроблено алгоритм і програму досліджень, що реалізовані у пакеті MATLAB.

Рис. 7. Порівняльне моделювання роботи системи керування котлоагрегатом

Виконано моделювання динамічних процесів у замкнутій системі управління з використанням запропонованої методики синтезу і результатів досліджень. Застосування алгоритму координуючого управління дозволяє істотно поліпшити показники якості по керованих координатах у порівнянні з локальними системами керування котлоагрегатом. Реалізація управління рекуперацією відпрацьованої газоповітряної суміші дозволяє

запобігати виникненню аварійних ситуацій при змінах параметрів твердого палива або зміні його сортаменту.

Четвертий розділ «Практична реалізація системи автоматичного управління топкою НТКШ» присвячено практичній реалізації системи автоматичного управління топкою НТКШ.

Система автоматичного управління технологічною установкою «котел-калорифер» повинна мати наступні функції:

- забезпечувати запуск, зупинку і вивід в «гарячий резерв» котлоагрегата;
- виконувати вимір і підтримку в заданих межах основних технологічних параметрів –

$T_{ks}, T_{sm}, T_{smo}, T_v, V_{sm}, V_{vd}, V_{smo}$ і V_{vr} ;

- реалізовувати узгодження вхідних і вихідних сигналів засобів виміру і контролю, системи управління і виконавчих механізмів;

- унеможливити згасання і шлакування топки.

Враховуючи те, що все устаткування (виконавчі механізми, електропривод, вимірювальні засоби, система управління і робоче місце оператора) розташовується в порівняно компактному приміщенні 12х15х14 м, за винятком датчика температури повітря, що надходить в стовбур, доцільне застосування централізованої системи управління. Перераховані особливості обумовлюють вибір структури системи управління технологічним об'єктом, наведеної на рис. 8.

Рис. 8. Структура системи управління котлоагрегатом

Вся інформація надходить в систему управління через блоки узгодження вихідних сигналів від технологічних датчиків за струмом і напругою БСТ і БСН відповідно. У блоці верхнього рівня управління БВУУ здійснюється розмноження інформаційних сигналів, вироблення дій, що управляють, і координація вихідних сигналів частини локальних ПІД-регуляторів (блок ПІДк). Автономні регулятори – блок ПІД – забезпечують управління димососом і розбавляючим вентилятором. Управління виконавчими механізмами здійснюється за допомогою блоку БУВМ.

Як БВУУ застосовується РС-контролер visiCON I-7188 – пристрій, що працює під управлінням компактного процесорного модуля з низьким енергоспоживанням, сумісного за архітектурою з комп'ютером IBM PC на базі процесора 386SX-40. Це дає можливість використання існуючих операційних систем для платформи IBM PC/AT (DOS, Windows, Linux, QNX). Написання, налагодження і компіляція програмного забезпечення для РС-контролера visiCON виконується на персональному PC/AT сумісному комп'ютері за допомогою мови програмування C++.

Як зовнішні пристрої використовуються модулі збору даних сімейства I-7000. Це дає можливість збільшити загальну кількість каналів цифрового і аналогового вводу/виводу, а також додати функціональні можливості, які відсутні в стандартних моделях контролерів.

Для узгодження БВУУ з виконавчими механізмами запропонований модуль TCON-DAS I-7024, призначений для використання в розподілених системах управління, контролю і автоматизації, для вводу/виведення дискретних сигналів і виведення аналогових сигналів.

Для узгодження БВУУ із засобами виміру запропонований модуль Tcon-ADC I-7017, призначений для використання в розподілених системах управління, контролю і автоматизації, для введення аналогових і вводу/виведення дискретних сигналів. Виведення даних робиться через послідовний порт RS485 в напівдуплексному режимі, швидкість обміну встановлюється в межах від 300 до 115200 бод, обмін даними реалізується в ASCII кодах.

В якості локальних ПІД-регуляторів замість Р-25 запропоновано прилади ТРМ101, призначені для виміру фізичного параметра контрольованого об'єкту, відображення виміряного параметра на вбудованому цифровому індикаторі, а також для формування сигналів управління вбудованими вихідними пристроями, які здійснюють регулювання вимірюваного параметра.

Блок управління електроприводом БУЕП-1, виконаний на основі мікроконтролерів, призначений для регулювання ступеня відкриття спрямовуючих апаратів, забезпечених одно- і трифазними виконавчими електроприводними механізмами.

Технічна реалізація системи управління установкою «котел-калорифер» виконана з врахуванням технологічних особливостей об'єкта управління. Запропонована структура дозволяє здійснювати індивідуальне налагодження локальних регуляторів і управління за автономними контурами при виході з ладу блоку верхнього рівня управління. Вибір комплексу технічних засобів для реалізації системи автоматичного управління здійснений з урахуванням забезпечення сумісності вхідних і вихідних характеристик окремих елементів різних фірм-виробників. Розроблене програмне забезпечення дозволяє реалізовувати запропонований алгоритм управління.

ВИСНОВКИ. У дисертаційній роботі подано нове рішення актуальної наукової задачі, що полягає в синтезі системи автоматичного управління топкою НТКШ шахтного автономного газоповітряного повітряпідігрівача, що дозволяє підвищити ефективність технологічного процесу за рахунок зниження непродуктивних витрат часу, питомої витрати твердого палива, аварійності устаткування.

Основні наукові висновки і результати роботи полягають в наступному:

1. Одним з основних факторів, що впливають на ефективність роботи топки НТКШ, є значне коливання характеристик твердого палива. Встановлено, що робота в даних умовах супроводжується зниженням ККД топки і підвищенням вірогідності виникнення аварійних ситуацій. Ефективним напрямом для усунення цих недоліків є синтез системи автоматичного управління, адаптованої для топки НТКШ.

2. Аналіз існуючих засобів автоматизації котельних установок показав, що вони не дозволяють вирішити завдання забезпечення стабільної роботи топки на всьому діапазоні зміни теплової продуктивності. З цієї причини, на практиці котельна установка працює зі зниженням ККД, що призводить до періодичного її згасання або шлакування. Відновлення роботи котлоагрегату після аварійної зупинки вимагає навичок і професіоналізму обслуговуючого персоналу і пов'язане зі значними витратами робочого часу.

3. Обґрунтовано і розроблено структуру математичної моделі процесу отримання теплоносія в топці НТКШ, що відрізняється від відомих тим, що топковий простір представлений у вигляді ряду взаємозв'язаних комірок з послідовним і паралельним переміщенням твердих часток. Це дозволяє отримувати перехідні характеристики топки при варіюванні параметрів палива без зміни структури моделі. Адекватність математичної моделі доведено із застосуванням критерію Фішера на основі використання експериментальних даних. Розроблено програмний комплекс і методику моделювання, що дозволяють досліджувати динамічні процеси в котельній установці за різними каналами управління і збурень, а також виконати формалізацію математичної моделі для задач автоматичного управління. Котельна установка представлена як багатовимірний багатозв'язковий об'єкт у вигляді передавальної матриці, що дозволяє здійснювати аналіз динамічних характеристик

топки киплячого шару.

4. Обґрунтовано доцільність використання координуючого методу при синтезі алгоритму керування топкою НТКШ зі зворотним зв'язком за станом об'єкта. Розроблено структуру дворівневої системи автоматичного керування, сформульовано завдання управління об'єктом як сукупністю підсистем на основі регульованих співвідношень. Вперше розроблено спосіб реалізації системи автоматичного управління об'єктами даного класу, що є подальшим розвитком методики побудови координуючих систем управління. Для запобігання аварійним ситуаціям при змінах параметрів твердого палива або зміні його сортності обґрунтовано порядок розрахунку задаючих дій верхнього рівня і коефіцієнтів координуючої матриці в управлінні рекуперацією відпрацьованої газоповітряної суміші.

5. Виконане моделювання динамічних процесів у замкнутій системі управління з використанням запропонованої методики синтезу показало істотне поліпшення показників якості за керованими координатами по відношенню до локальних систем керування котлоагрегатом зі зниженням витрат твердого палива до 12%.

6. Обґрунтовано принцип функціонування і структурна схема системи автоматичного управління котлоагрегатом. Технічна реалізація системи управління установкою «котел-калорифер» виконана з урахуванням технологічних особливостей об'єкту управління з використанням сучасної апаратної бази.

7. Виконане техніко-економічне обґрунтування ефективності розробленої системи управління котлоагрегатом НТКШ для умов шахтного автономного повітряпідігрівача шахти 4-21 ГП «Шахтоуправління «Південнодонбаське» №1» підтвердило доцільність проведених досліджень. Річний економічний ефект склав більше 80 тис. грн. зі строком окупаємості менше 18 місяців.

8. Результати теоретичних досліджень дисертаційної роботи використано при проведенні держтеми № Н-21-2000 «Дослідження шахтних теплоенергетичних процесів і створення систем управління» Н-20-05 «Розробка системи автоматичного управління комплексом теплопостачання з котлоагрегатами низькотемпературного киплячого шару в умовах змінної витрати теплоносія», а також застосовано у начальному процесі кафедри «Гірнична електротехніка і автоматика ім. Р.М. Лейбова» за курсами «Технологічні вимірювання та прилади в гірничій промисловості», «Технічні засоби автоматизації» та «Автоматизація виробничих процесів».

9. Результати наукових та практичних досліджень дисертаційної роботи використано при проведенні монтажно-налагоджувальних та модернізаційних робіт Донецьким спецналагоджувальним управлінням «Теплоенергоавтоматика» та Державною акціонерною компанією «Донбасвуглеавтоматика», а також прийнято до використання Державним підприємством «ИНСТИТУТ «УКРНДІПРОЕКТ»» при виконанні НДДКР і проектів будівництва нових та модернізації діючих шахт.

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в наступних виданнях:

1. Гавриленко Б. В. Повышение эффективности работы шахтных котельных установок с топками кипящего слоя / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Известия горного института. - 2000. - № 2. – С. 104-107.

2. Гавриленко Б. В. Получение параметров кипящего слоя при регулировании тепловой производительности топки / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-електромеханічна". Випуск 27. - Донецьк: ДонГТУ, 2001. – С. 106 – 108.

3. Гавриленко Б. В. Математическая модель топки кипящего слоя шахтного автономного воздухоподогревателя в нестационарных условиях / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Проблемы эксплуатации оборудования шахтных установок: Збірник наукових праць. – Донецьк: ВАТ «НДІГМ імені М.М. Федорова», 2005. – С. 297 – 304.

4. Гавриленко Б. В. Совершенствование системы автоматизированного управления топкой низкотемпературного кипящего слоя / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-електромеханічна". Випуск 104. - Донецьк: ДонНТУ, 2006. – С. 36 – 41.
5. Гавриленко Б. В. Синтез системы управления тепловой производительностью котлоагрегата низкотемпературного кипящего слоя / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: "Гірничо-електромеханічна". Випуск №14(127). - Донецьк: ДонНТУ, 2007. – С. 52 – 60.
6. Неежмаков С. В. Исследование математической модели топки кипящего слоя шахтного автономного воздухоподогревателя / С. В. Неежмаков // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. - Вип. 8. Т. 10. - Мелітополь: ТДАТУ, 2008. - С. 173 – 180.
7. Гавриленко Б. В. Управление производительностью топки кипящего слоя в условиях рекуперации теплоносителя / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць. II Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів і студентів в м. Донецьку 25-16 квітня 2002 р. – С. 39 – 41.
8. Гавриленко Б. В. Регулирование тепловой производительности котлоагрегата с топкой кипящего слоя в условиях рециркуляции дымовых газов / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Матеріали Міжнародної конференції з управління «Автоматика 2002», 16-20 вересня 2002 р., м. Донецьк, Україна: в 2-х т. – Донецьк, 2002. – том 1. – С. 190.
9. Гавриленко Б. В. Критерии управления тепловой производительностью котлоагрегата с топкой кипящего слоя при рециркуляции дымовых газов / Б. В. Гавриленко, С. В. Неежмаков // Международная молодежная научная конференция «Севергеозкотех-2004». Ч. 2.: Материалы конференции. 17-19 марта 2004. – Ухта: УГТУ, 2005.– С. 83 – 85.
10. Неежмаков С. В. Динамические характеристики средств контроля температуры кипящего слоя / С. В. Неежмаков, Б. В. Гавриленко // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць. IV Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів і студентів в м. Донецьку 11-14 травня 2004 р. – С. 402 – 405.
11. Неежмаков С. В. Моделирование процесса сжигания твердого топлива в кипящем слое в нестационарных условиях / С. В. Неежмаков, Б. В. Гавриленко // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих. Збірник наукових праць. V Міжнародна науково-технічна конференція аспірантів і студентів в м. Донецьку 16-19 травня 2005 р. – С. 29 – 32.

Особистий внесок здобувача в публікаціях: [1] – запропонована структура системи управління котлоагрегатом НТКШ із застосуванням мікропроцесорної техніки; [2] – розроблено метод отримання параметрів киплячого шару за непрямыми показниками; [3] – виконано математичне описання для моделі НТКШ та отримані передаточні функції за основними управляючими діями; [4] – дослідженнями обґрунтовано необхідність удосконалення автоматичного управління топкою НТКШ та розроблено модель системи управління з сумісною зміною подачі твердого палива та повітря; [5] – Виконано синтез та дослідження системи управління тепловою продуктивністю котлоагрегату НТКШ із застосуванням координуючого методу; [7] – обґрунтовано технологічні обмеження для управління топкою НТКШ за умов рециркуляції димових газів; [8] – обґрунтовано доцільність здійснення рециркуляції димових газів для управління тепловою продуктивністю топки НТКШ; [9] – сформульовані критерії управління тепловою продуктивністю котлоагрегата з НТКШ; [10] – виконано обґрунтування необхідності спостереження за станом киплячого шару за непрямыми показниками та розроблено математичну модель для

порівняльного аналізу результатів прямих та непрямих спостережень; [11] – розроблено структуру комірки топкового простору та досліджено її параметри.

АНОТАЦІЯ

Несжмаков Сергій Володимирович. Система автоматичного управління котлоагрегатом низькотемпературного киплячого шару шахтного автономного повітряпідігрівача. - Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 - «Автоматизація процесів керування». – ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Донецьк, 2009.

У дисертаційній роботі запропоновано нове вирішення актуального наукового завдання зі створення системи автоматичного управління тепловою продуктивністю котлоагрегату НТКШ шахтного автономного повітряпідігрівача. Обґрунтовано й розроблено структуру математичної моделі процесу одержання теплоносія в топленні НТКШ, що відрізняється від відомих тим, що топковий простір представлений у вигляді ряду взаємозалежних комірок з послідовним і паралельним переміщенням часток, що дозволяє одержувати перехідні характеристики топлення при варіюванні параметрів палива без зміни структури моделі. Котельна установка представлена як багатомірний багатозв'язковий об'єкт у вигляді передатної матриці, що дозволяє здійснювати аналіз динамічних характеристик топлення киплячого шару.

Використано координуючий метод при синтезі алгоритму управління топленням НТКШ зі зворотним зв'язком по стані об'єкта. Розроблено структуру дворівневої системи автоматичного управління, сформульовано завдання управління об'єктом як сукупністю підсистем на основі регульованих співвідношень. Обґрунтовано порядок розрахунку задаючих впливів, верхнього рівня й коефіцієнтів координуючої матриці при управлінні рекуперацією відпрацьованої суміші для запобігання виникнення аварійних ситуацій при змінах параметрів твердого палива або зміні його сортності. Обґрунтовано принцип функціонування й структурна схема системи автоматичного управління котлоагрегатом.

АННОТАЦИЯ

Неежмаков Сергей Владимирович. Система автоматического управления котлоагрегатом низкотемпературного кипящего слоя шахтного автономного воздухоподогревателя. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - «Автоматизация процессов управления». - ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Донецк, 2009.

В диссертационной работе предложено новое решение актуальной научной задачи по созданию системы автоматического управления тепловой производительностью котлоагрегата НТКС шахтного автономного воздухоподогревателя. Обоснована и разработана структура математической модели процесса получения теплоносителя в топке НТКС, отличающаяся от известных тем, что топочное пространство представлено в виде ряда взаимосвязанных ячеек с последовательным и параллельным перемещением частиц, что позволяет получать переходные характеристики топки при варьировании параметров топлива без изменения структуры модели. Котельная установка представлена как многомерный многосвязный объект в виде передаточной матрицы, позволяющей осуществлять анализ динамических характеристик топки кипящего слоя.

Использован координирующий метод при синтезе алгоритма управления топкой НТКС с обратной связью по состоянию объекта. Разработана структура двухуровневой

системы автоматического управления, сформулирована задача управления объектом как совокупностью подсистем на основе регулируемых соотношений. Обоснован порядок расчета задающих воздействий верхнего уровня и коэффициентов координирующей матрицы при управлении рекуперацией отработанной смеси для предотвращения возникновения аварийных ситуаций при изменениях параметров твердого топлива или смене его сортности. Обоснованы принцип функционирования и структурная схема системы автоматического управления котлоагрегатом.

ABSTRACT

Neezhmakov Sergey Vladimirovich. The automatic control system of the boiler of low-temperature fluid bed of the mine self-contained preheater of air. – Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of Candidate of Technical Sciences on a speciality 05.13.07 «Automation of control processes». - State high education institution «Donetsk National Technical University», Donetsk, 2009.

In dissertational work the new solution of an actual scientific problem on making an automatic control system by thermal efficiency of boiler with LTFB of the mine self-contained preheater of air is offered. The structure of a mathematical model of process of deriving of the heat-transfer medium in furnace with LTFB is justified and designed. It is distinguished from known ones, that the furnace space represented as lines of interlinked meshes with serial and parallel conveyance of particles that allows to receive transient characteristics of a furnace at variation of parameters of fuel without structural change of a model. Boiler plant represented as multivariate multilinked object as the transmitting matrix, permitting to realize the analysis of dynamic characteristics of a furnace of fluid bed.

At synthesis of the control algorithm by furnace with LTFB with a feed-back on state of object the coordinating method is used. The structure of a two-level automatic control system designed, the problem of control by object as an aggregate of subsystems on the basis of adjustable correlations is formulated. The procedure of calculation of assigning top level actions and coefficients of an coordinating matrix at control of recuperation of a waste mixture for prevention of appearance of crashes at modifications of parameters of solid fuel or change of its dirt, is justified. The principle of functioning and the structure chart of an automatic control system of the boiler are grounded.