

В.У. Ігнаткін, М.І. Горбійчук, В.С. Дудніков,
О.П. Юшкевич, В.Т. Болонний, В.А. Тіхонов

**АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА РЕГУЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ
ПАРАМЕТРІВ ПЕЧЕЙ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ КОРДА
З ОПТИМІЗАЦІЄЮ СПІВВІДНОШЕННЯ «ГАЗ-ПОВІТРЯ»
ЗА ВИЗНАЧЕНИМ ЗНАЧЕННЯМ**

Анотація. Приведена система автоматизації, яка дозволяє управляти автономним використанням газу зі збереженням якості технологічного процесу.

Наведений алгоритм, відповідні йому програми та технічні засоби системи автоматизації здійснюють регулювання витрат повітря при різних значеннях кількості палива, тобто газу. Коефіцієнт співвідношення «газ-повітря» визначається експериментально за даними аналізу відхідних газів для конкретного типу печі.

Алгоритм регулювання реалізується за допомогою мікропроцесорного контролера, і включає: регулювання за ПІД – законом (пропорційно-інтегрально-диференціальним); процедуру лінеаризації, яка обробляє вхідні значення витрат газу і повітря та зменшує похибки вимірювань датчиків витрат, особливо у початковій частині робочого діапазону; кусково-лінійну апроксимацію, яка дозволяє: аналітично представити задані залежності співвідношень, гнучко настроювати та змінювати параметри контурів регулювання, що адаптує систему управління до конкретних виробничих умов.

Контролери можуть налаштовуватися як на нижньому рівні розподіленої АСУ ТП та зв'язуватися з засобами верхнього рівня через канал цифрового послідовного зв'язку, так і використовуватись в якості автономного пристрою.

Показання вимірюваних та розрахованих параметрів відповідних фізичних величин лічильник відображає на матричному табло своєї лицевої панелі.

До лічильників підключається комп'ютер з принтером, які розташовані на щитовій цеху. Розроблені програми, які реалізують алгоритми управління, написані на мові Delphi 3.0 з використанням засобів BDE (BorlandDatabaseEngine).

Розроблені також технологічні програми і комплект документації для експлуатації системи.

Система орієнтована на щодобову роботу спільно з вимірювальними приладами лічильників. Показання приладів знімаються з проміжками від однієї до ста двадцяти хвилин, в залежності від заданих уставок, які водяться на лицевій панелі. Інформація від лічильників зберігається у базі даних «Infoterm.db», а також у архівній базі даних «Archive.db».

Причому база даних «Infoterm.db» звільняється від даних кожну добу перед пуском програм системи.

Технологічна програма для лічильників теплової енергії зроблена на підставі попередніх розрахунків вимірювальних діафрагм з заводу-виробника з додержанням метрологічних і технологічних умов (метрологічна атестація та інше).

При необхідності робиться налаштування програмного забезпечення.

Ключові слова: теплові параметри, алгоритм, система регулювання, кусково-лінійна апроксимація, співвідношення «газ-повітря».

Метою роботи було удосконалення системи автоматичного управління тепловими параметрами печей термічної обробки корду каландрового цеху підприємства при регулюванні співвідношення «паливо-повітря».

1 Загальні відомості про алгоритми та способи регулювання співвідношення «паливо-повітря» в нагрівальних печах. Одним з напрямлень підвищення ефективності роботи термічних печей є модернізація систем управління їх тепловим режимом. Актуальність цієї задачі обумовлена необхідністю удосконалення керування піччю при значних витратах паливно-енергетичних ресурсів в технологічному процесі термообробки матеріалу.

Перспективною є заміна морально та фізично застарілої апаратури керування на підставі контролерів, які виконані на мікропроцесорній елементній базі, спеціалізованій для вирішення задач автоматичного регулювання та дозволяють вести локальне, каскадне, програмне супервізорне, багатозв'язне, екстремальне регулювання, а також управління об'єктами зі змінною структурою.

Для цього було застосовано алгоритмічні блоки контролеру Реміконт, які формують пропорційно-інтегрально-диференційний закон регулювання, виконують статичні і динамічні перетворення змінних, та обробляють і формують дискретні сигнали, і тим самим виконують операції у керуючій логіці [1].

Контролери можуть налаштовуватися як на нижньому рівні розподіленої АСУ ТП та зв'язуватися з засобами верхнього рівня через канал цифрового послідовного зв'язку, так і використовуватися в якості автономного пристрою [2].

Контролер налаштовується на рішення необхідної задачі безпосередньо на об'єкті за допомогою спеціалізованої панелі керування. У процесі налаштування наладчик призначає алгоритми керування, конфігурацію керуючого контуру, параметри статичного та динамічного налаштування, а також встановлює сигнали завдання на режимі керування. Запрограмовані параметри зберігаються при відключенні живлення.

Структура алгоритмічних блоків контролеру Реміконт дозволяє вирішувати всі задачі, які обчислюються за допомогою традиційних аналогових приладів. Крім того, блоки можуть формувати, програмно змінювані у часі сигнали, операції керованої логіки, каскадного та супервізорного керування.

Найбільш ефективно використання такої структури контролерів у випадках, коли заздалегідь незрозуміло, якій схемі регулювання віддати перевагу та мається вірогідність того, що після промислового пуску система буде змінюватися й доповнюватися. Коректування структури керуючих контурів може бути виконане безпосередньо на промисловому об'єкті швидко та без яких-небудь витрат. В умовах нестаціонарних процесів забезпечується включення та відключення окремих контурів, автоматичне перемикання керуючої структури, автоматичні зміни параметрів налаштування для адаптації системи регулювання до динаміки технологічного процесу, який змінюється.

Як показує досвід, використання існуючих алгоритмів керування тепловим режимом, за рідким виключенням, не дає помітної ефективності від впровадження нової елементної бази електронних пристроїв. Значне покращення показників роботи можна досягти лише при більш досконалому програмному забезпеченні контролерів, які найбільш повно враховують особливості теплових режимів конкретного термічного агрегату.

2 Аналіз існуючих алгоритмів керування спалюванням палива. У полум'яних печах регулювання процесу горіння відбувається зазвичай по відношенню фактичного співвідношення «газ-повітря» до заданого [3].

Алгоритмом регулювання співвідношення «паливо-повітря» [4] передбачається зміна витрат газу та повітря по зонам багатозонної печі. При цьому по ходу димових газів, після першої зони визначається співвідношення витрат повітря та палива в кожній послідовній зоні по сумі витрат в даній зоні та попередніх їй зонах. Далі розраховуються зміни витрат повітря по відношенню вказаного співвідношення від заданого значення.

При різних коефіцієнтах витрат повітря по зонах печі кількість повітря, яке подається на спалювання в дану зону, істотно залежить від теплової потужності попередніх зон та заданих коефіцієнтів витрат повітря в цих зонах. Коливання теплової потужності зон при роботі системи керування тепловим режимом в них приводить до значних відхилень витрат повітря при спалюванні від стехіометричного співвідношення. Це погіршує організацію спалювання палива в зонах та знижує коефіцієнт корисного використання енергії палива. Зменшення фактичного коефіцієнту витрат повітря α нижче стехіометричного

призводить до недопалу. При $\alpha < 0,6$ утворюється кіптявий факел, що різко погіршує умови теплообміну. Значне перевищення коефіцієнту витрат палива над стехіометричним крім погіршення паливо-використання, несе небезпеку зриву та погасання факелу горілок, що створює аварійні ситуації.

Спробою локалізувати процес спалювання палива, яке подається в зони, межами цих зон, виключення недопалу й порушень стабільності факелу являється алгоритм, запропонований в [5]. Він передбачає виконання наступних операцій. Зональним системам регулювання співвідношення – встановлюють задані відношення витрат повітря та палива $\alpha_{1}^{3n}, \alpha_{2}^{3n}, \dots, \alpha_{i-1}^{3n}, \alpha_i^{3n}$. Виконують неперервне вимірювання витрат газу та повітря, яке подається в кожну зону, оцінюють витрати повітря та палива, які подаються в послідовну зону. Оцінюють витрати повітря та палива в кожній зоні з урахуванням їх подачі в попередні зони та першу. Визначають знак та величину відношень отриманих відхилень від заданих значень для кожної з зон печі. Після чого регулюють подачу повітря в зони до усунення цих відхилень та досягають відповідності між заданими і фактичними відношеннями витрат повітря й палива. Таким чином, визначають ряд співвідношень витрат повітря та палива по подачі на горіння в зонах 1, 2, ..., $i-1$: $\alpha_1^n, \alpha_2^n, \dots, \alpha_{i-1}^n, \alpha_i^n$. При збільшенні теплової потужності попередньої зони відносно даної в умовах $\alpha_{i-1}^{3n} > \alpha_i^{3n}$ питомі витрати повітря в даній зоні збільшуються.

При підвищенні відношення витрат повітря та палива до граничного (максимально допустимого) збільшують задане співвідношення в суміжній попередній зоні α_{i-1}^{3n} . При цьому перерозподілі сумарних витрат повітря між даною та суміжною попередніми зонами здійснюють збільшення витрат повітря в суміжну попередню зону (зону з меншим α^3). В зоні з більшим α^3 , тобто в даній, зменшують витрати повітря на ту ж величину. Зміна подачі повітря в попередню та зниження в дану зони продовжується до встановлення фактичного співвідношення витрат повітря та палива. При цьому горіння в даній зоні йде на рівні гранично допустимого α_{imax} .

При подальшому збільшенні співвідношення теплових потужностей попередньої V_{i-1} та даної V_i зон α_i^n підтримується на рівні $\alpha_{\text{imax}}^{\text{попер}}$ за рахунок подальшого збільшення питомих витрат повітря у суміжну попередню зону. Зі зміною теплових навантажень зон печі у сторону зменшення співвідношення V_{i-1}/V_i величина корекції α_{i-1}^3 зменшується. Корекція зупиняється в момент зменшення фактичного співвідношення витрат повітря та палива на пальники даної зони нижче гранично допустимого $\alpha_{\text{imax}}^{\text{попер}}$.

В зонах, де має місце $\alpha_{i-1}^{3n} > \alpha_{i-1}^{3n}$, при відносному збільшенні теплової потужності попередньої зони системою автоматики здійснюється зниження питомих витрат повітря на пальники даної зони. При його зменшенні до граничного (мінімально допустимого α_{imin}^{nonep}) задане співвідношення α_{i-1}^{3n} у суміжній попередній зоні зменшують. На однакову величину зменшують витрати повітря у попередню зону та збільшують в дану до забезпечення умови $\alpha_i^n = \alpha_{imin}$. Стабілізація α_i^n на цьому рівні в умовах подальшого збільшення V_{i-1}/V_i здійснюється аналогічно.

При зменшенні теплової потужності попередньої зони або збільшенні подачі палива в дану, питомі витрати повітря в попередню зону збільшують до перевищення співвідношення витрат повітря та палива на пальники даної зони α_i^n . Величини α_{imin}^{nonep} , у подальшому корекції не підлягають. У попередній зоні підтримують величину α_{i-1}^3 відповідно з початково заданим значенням.

Формалізований алгоритм керування для i -тої, тобто даної, зони та попередньої ($i-1$)-ої можна представити наступним чином: якщо в попередню зону не потрапляє недопалене паливо або надлишкове повітря з інших зон, то зв'язок між кількостями повітря в цих зонах можна представити в вигляді

$$V_{i-1} = V_i - A \cdot \alpha_i^3 - A \cdot L_0, \quad (1)$$

$$V_i = (V_l + V_{i-1}) \cdot \alpha_i^3 \cdot L_0 - V_{i-1} = L_0 \cdot [V_l \cdot \alpha_i^3 - V_i - A \cdot (\alpha_i^3 - \alpha_{i-1}^3)], \quad (2)$$

де A – об'єм палива, в даних умовах $A=1 \text{ м}^3$;

V – витрати палива;

L_0 – теоретичні витрати повітря на 1 м^3 палива.

Коефіцієнт витрат повітря на паління даної зони можна представити

$$\alpha_i^n = V_l/V_i \cdot L_0 = \alpha_i^3 + V_i - 1/V_i \cdot (\alpha_i^3 - \alpha_{i-1}^3) \quad (3)$$

при цьому повинно виконуватись умова

$$\alpha_{imin}^{nonep} \leq \alpha_i^n \leq \alpha_{imax}^{nonep}. \quad (4)$$

Величина α_i^3 визначає кінцеву кількість спалювання палива в двох зонах та повинна підтримуватися на заданому рівні (зазвичай $\alpha_{i-1}^{3n} = 1$ в останній зоні по ходу дима).

Зрив факела можливий, якщо $\alpha_{i-1}^{3n} > \alpha_{i-1}^{3n}$, тому скоректована величина α_{i-1}^3 повинна підтримуватись на рівні

$$\alpha_{i-1}^3 \geq \alpha_i^3 - (\alpha_{imax}^{nonep} - \alpha_{i-1}^{3n}) \cdot V_i/V_{i-1}. \quad (5)$$

У період корекції фактичне α_{i-1}^3 перевищує установлене початкове α_{i-1}^{3n} . Момент початку та кінця корекції відповідає рівності $\alpha_{i-1}^3 = \alpha_{i-1}^{3n}$. Таким чином, корекція відбувається при співвідношенні витрат палива

$$V_{i-1}/V_i \geq (\alpha_{imax}^{nonep} - \alpha_{i-1}^{3n})/(\alpha_i^{3n} - \alpha_{i-1}^{3n}). \quad (6)$$

Зменшення α_i^n до α_{imin}^{nonep} можливе у випадках $\alpha_i^{3n} < \alpha_{i-1}^{3n}$, тому для $(i-1)$ -ої зони при регулюванні спалювання повинна відбутися умова

$$\alpha_{imin}^{nonep} \leq \alpha_i^{3n} + (V_{i-1})/V_i \cdot (\alpha_i^{3n} - \alpha_{i-1}^{3n}) \quad (7)$$

або

$$\alpha_{i-1}^{3n} \leq \alpha_i^{3n} + V_i/V_{i-1} \cdot (\alpha_i^{3n} - \alpha_{imin}^{nonep}). \quad (8)$$

Вимірювання $i-1$ відносно початкового заданого у цій ситуації відбувається при співвідношенні витрат палива

$$V_{i-1}/V_i \geq (\alpha_i^{3n} - \alpha_{imin}^{nonep})/(\alpha_{i-1}^{3n} - \alpha_i^{3n}), \quad (9)$$

причому початку та припиненню корекції відповідає знак рівності в цьому виразу.

Величина граничних співвідношень повітря та палива при подачі залежить від умов спалювання палива в печі, типу використаних пальників, виду палива, діапазону коливань робочого тиску газу та повітря, тощо.

Тому рекомендується визначити їх експериментально.

Загальним недоліком перерахованих алгоритмів керування являється те, що якість спалювання повітря лімітується похибками витратомірів палива та повітря, які різко зростають при низьких витратах компонентів. Крім того, тут не можуть бути враховані можливі підсмоктування повітря через нещільності печі.

В системі регулювання спалювання палива [5] здійснюється корекція заданого коефіцієнту витрат окислювачу за кількістю кисню в продуктах згорання, що уходять. Однак, діапазон змінення витрат кисню в зоні регулювання визначається робочими характеристиками пальників та співвідношенням теплової потужності цієї зони й решти зон печі, тому ця система має граничні можливості по керуванню.

Крім того, змінюючи згідно цього алгоритму коефіцієнт витрат окислювачу в одній зоні можна стабілізувати концентрацію кисню в продуктах спалювання, таким чином уникнути неекономічної теплової роботи зон печі в цілому.

Наведений [6] алгоритм використовує послідовну корекцію по зонам за вмістом кисню. У ньому використовується необхідний по технології розподіл по зонам та шаг змінення. Регулювання витрат окиснювача з корекцією його по складу диму, що виходить, проводиться послідовно по зонах печі змінюванням коефіцієнту витрат окиснювача. При надлишку окислювача в продуктах спалювання, що відходять, коефіцієнт витрат зменшується в напрямку руху продуктів спалювання, а при недоліку – збільшується в зворотному напрямку.

При цьому коефіцієнт витрат окиснювача змінюється циклічно в діапазоні 0,7...1,4, з послідовним зменшенням шагу від зони до зони, в межах 0,2...0,05 у кожному циклі.

Однак змінення коефіцієнтів витрат окиснювача по зонам таке, що після зняття збурення на об'єкт, коефіцієнти витрат окиснювача по зонам не відновлюються на своєму колишньому рівні.

В останніх по ходу диму зонах ці коефіцієнти змішуються в сторону збільшення відносно технологічно заданих, а у перших - в сторону зменшення. Достатньо 2...3 коливань витрат або підсмоктувачів повітря, складу палива або продуктивності печі, щоб коефіцієнти витрат окиснювача на останніх по ходу диму зонах досягли граничного значення 1,4, а перших - 0,7. У подальшому спалювання палива в цих зонах відбувається при вказаних граничних коефіцієнтах або значеннях, близьких до них. Це не раціонально, так як призводить до різкого зниження калориметричної температури паління палива в зонах, продуктивності печі, необхідності підвищення теплової потужності та перевитрат палива.

В алгоритмі [7] для зменшення відхилень коефіцієнтів витрат повітря по зонам печі від заданих та підтримки технологічного розподілу кисневого потенціалу по довжині печі, крім перерахованих вище операцій, визначають фактичні коефіцієнти витрат окислювачу на кожну зону, їх відхилення від заданих значень та середньозважене по витратах палива відхилення, а потім здійснюють корекцію заданих значень коефіцієнтів витрат окиснювача по всім зонам на величину середньозваженого відхилення.

Указаний алгоритм відрізняється специфічністю використання. Доцільність його використання обмежена, в основному, багатозонними печами з протиточним рухом продуктів паління та термообробляемого матеріалу.

Запропоновано алгоритм корекції співвідношення витрат повітря та палива, з використанням магнітного газоаналізатору [8]. Однак цінність алгоритму, як і тих, що використовують інформацію про склад продуктів паління, зводиться на «ні» із-за великого часу запізнювання датчика (зазвичай 40...50 с).

Деякі алгоритми керування спалюванням палива використовують непрямі параметри для формування корекції. Згідно алгоритму [9] безперервно здійснюється вимірювання температури робочого простору печі та визначається розрахункова температура поверхні матеріалу, який нагрівається. Далі визначається перепад між ними, і середньоінтегральна температура матеріалу. Ця інформація використовується для корекції співвідношення «паливо-повітря».

Низька ефективність цього алгоритму визначається низькою надійністю розрахункових моделей, які використовуються для визначення температури поверхні нагріваного матеріалу та розподілу її по перетину. Використання прямого заміру температури поверхні матеріалу в процесі нагрівання для корекції співвідношення «паливо-повітря» в [10] також не може дати позитивного результату, так як похибки показань пірометра із-за зміни ступеню чорноти поверхні матеріалу, кута візування, випромінювання середі поміж пірометром та матеріалом дуже великий. Спробою оптимізації процесу спалювання являється використання двоконтурної системи керування, в яку входять регулятори співвідношення витрат палива та повітря у пальниках та їх оптимізатори, які автоматично управляють регуляторами, завдаючи співвідношення витрат по температурі факелу [11]. Температуру факелу вимірюють через стінку печі. Вона служить показником умов спалювання палива: оптимальному режиму паління відповідає максимальна температура факелу. Контур оптимізації повинен міняти завдання на відповідність «паливо-повітря» до досягнення максимальної температури, працюючи у пошуковому режимі.

Головним недоліком цього алгоритму керування, який не дозволяє йому знайти використання у промисловості, являється значний вплив продуктивності пальника на показання пірометра. При підвищенні витрат палива зона максимального тепловиділення факелу віддаляється від пальника, а при зменшенні – зміщується до нього. Поле візування пірометра в цей час залишається фіксованим. Пов'язані з цим зміни показників пірометра досягають значної величини та інформація від цього знецінюється.

У теперішній час виконуються пошукові роботи по розробці безінерційних датчиків контролю якості спалювання палива, які дозволили б здійснити оперативне керування процесом. Найбільш перспективним з них являється метод контролю електропровідності полум'я [12]. Однак до рішення проблеми стійкості електродів, підвищення стабільності показань датчика та випуску серійного зразка не доцільно рекомендувати його для промислового використання в системі керування.

Як показує аналіз відомих алгоритмів, а також накопичений досвід втілення та експлуатації систем автоматичного керування спалюванням палива на базі мікропроцесорних контролерів [13], дуже ефективно для реалізації алгоритму, використання таблиць апроксимації для обчислення витрат окислювачу, які отримуються експериментальним шляхом на конкретному об'єкті.

3 Алгоритм регулювання витрат повітря по заданому коефіцієнту співвідношення «паливо-повітря». Алгоритм здійснює регулювання витрат палива для оптимального режиму роботи печі термообробки корда каландрового цеху при будь-яких значеннях витрат палива.

Необхідна для роботи кількість повітря визначається виразом

$$G_6 = K_1 \cdot G_2, \quad (10)$$

де G_6 – витрати палива, м³/год;

G_2 – витрати газу, м³/год;

K_1 – коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт K_1 визначає задане співвідношення, необхідне для оптимальної роботи печі. Цей коефіцієнт визначається експериментальним шляхом для кожної нагрівальної печі, по даним аналізу відходячих газів.

Вхідними величинами алгоритму являються витрати газу і повітря та таблиця апроксимації співвідношення паливо-повітря, яка складена на основі газового аналізу. За безперервно вимірюваною величиною витрат газу і з допомогою таблиць апроксимації визначається необхідна величина повітря, що подається. Отримане таким чином значення витрат повітря подається на регулятор витрат повітря в якості величини завдання, на другий вхід регулятора подається вимірюване значення витрат повітря. Таким чином здійснюється стабілізація кількості повітря, яке необхідне для оптимальної температури нагрівального колодязю.

Структурна схема алгоритму регулювання витрат повітря по заданому коефіцієнту співвідношення приведена на рис.1. Алгоритм розроблений для реалізації з використанням мікропроцесорного контролеру типу Реміконт Р-130.

Функціональні можливості даного мікропроцесорного пристрою дозволяють реалізувати розроблений алгоритм з максимальною виробничою ефективністю. Реміконт у своєму складі має алгоритмічні блоки регуляторів, що реалізують ПІД-закон регулювання, блоки лінеаризації, які дозволяють лінеаризувати вхідне значення витрат газу та палива, що значно зменшує похибки вимірювання витрат, особливо в початковій частині робочого діагнозу датчиків витрат. Блок кусочно-лінійної апроксимації дозволяє здійснити реалізацію заданої залежності співвідношення. Гнучкість та можливість налаштування та вимірювання параметрів контурів регулювання дозволить адаптувати систему керування до конкретних виробничих умов.

Регулююча модель Реміконту модифікації 15 дозволяє реалізувати цей алгоритм на 4 печах обробки корду каландрового цеху заводу «Білоцерковщина».

Робочою документацією передбачена установка на існуючих трубопроводах пару, що забезпечують теплом ділянку 40” обчислювально вимірювального комплексу каландрового цеху від загальноцехових колекторів, лічильників теплової енергії СПТ 90.

Об’єм автоматизації представлений на кресленні 111-АТХ.С3.

У робочій документації використані прилади, які серійно виготовляються промисловістю України.

Для трубопроводів пару лічильник теплової енергії СПТ 90 на основі вимірної діаграмами маси, яка протікає в трубопроводах, температури пару (вимірної термоперетворювачами опору) та тиску (вимірюного датчиком тиску) розраховується потрібна кількість тепла.

Показання вимірних та розрахованих параметрів у відповідних фізичних величинах лічильник відображає на матричному табло лицьової панелі. Табло має одинадцять позицій та можливість відображати цифри, букви та символи. Показання складаються з умовного позначення та значення параметру. Вивід показань здійснюється за викликом оператора з клавіатури лицьової панелі у режимі одиночного параметру або прокручування меню, яке включає групи параметрів. Номенклатура параметрів містить групу призначених та групу тільки виводимих, які відповідають результатам вимірювань.

Введення лічильників дозволяє здійснити архівування по значенням вихідних та облікових параметрів: добовим, декадним, місячним.

Алгоритми перетворювань (розрахунків) реалізуються резидентним програмним забезпеченням лічильника та повністю (без будь-яких скорочень, спрощень, апроксимацій і т.п.) відповідають діючим нормативним документам, які регламентують вимірювання витрат теплоносіїв, обліку та використання теплової енергії. Значення теплофізичних характеристик теплоносіїв (щільність, ентальпія, в’язкість, показник адіабати) визначається лічильником згідно офіційним даним державної служби стандартних довідникових даних (ДСТДД) у робочих умовах: 160-400 °С та 0,4-10,00 МПа – для пару. Тут тиск – абсолютний.

Схема автоматизації представлена на рисунку 2 та специфікація до нього – у таблиці.

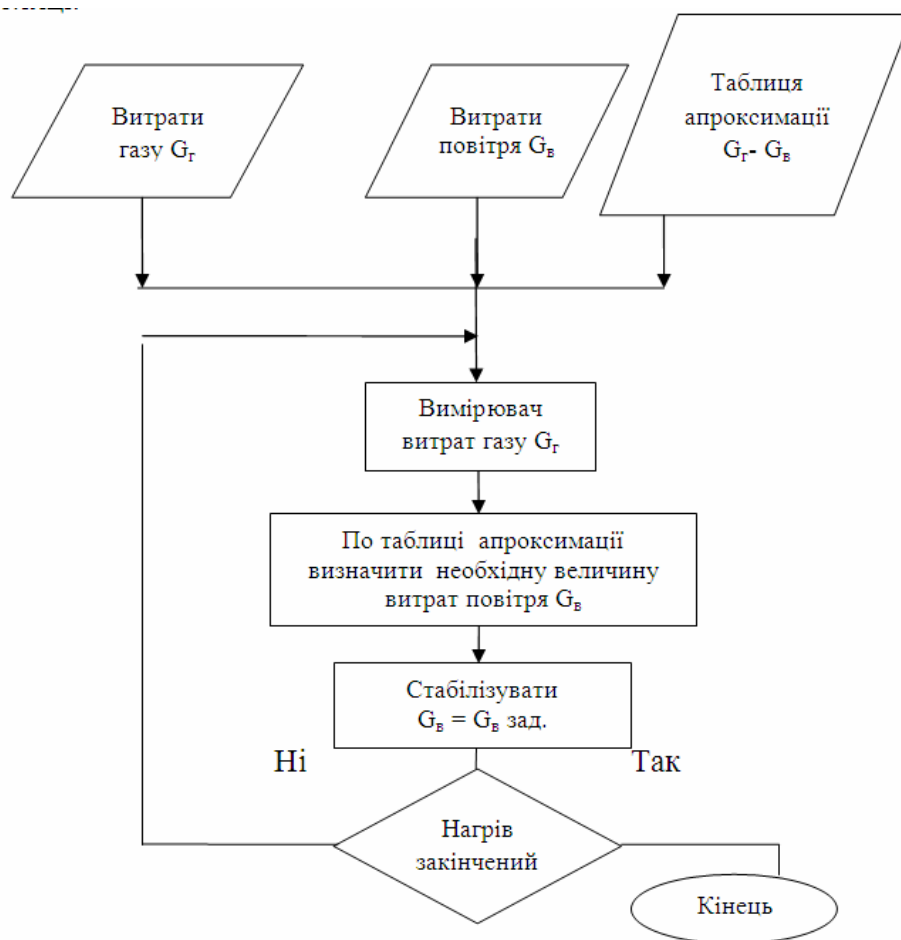


Рисунок 1 – Структурна схема алгоритму

Лічильник забезпечує підвищення точності, розширення діапазону вимірювань витрат теплоносія (перемикання з дифманометру на дифманометр здійснюється автоматично) з допустимою нормованою похибкою та підвищенням достовірності обліку витрачених теплоносіїв та теплової енергії.

Лічильник належить повірці при випуску з виробництва та при експлуатації. Рекомендований міжповірочний інтервал – 1 рік.

Лічильник призначений для безперервної роботи при штатному електроживленні напругою 220В частотою 50Гц. У випадку перерв у електроживленні сумарної тривалістю до 3 діб лічильник забезпечує відновлення бази даних та ведення обліку часу перерв живлення.

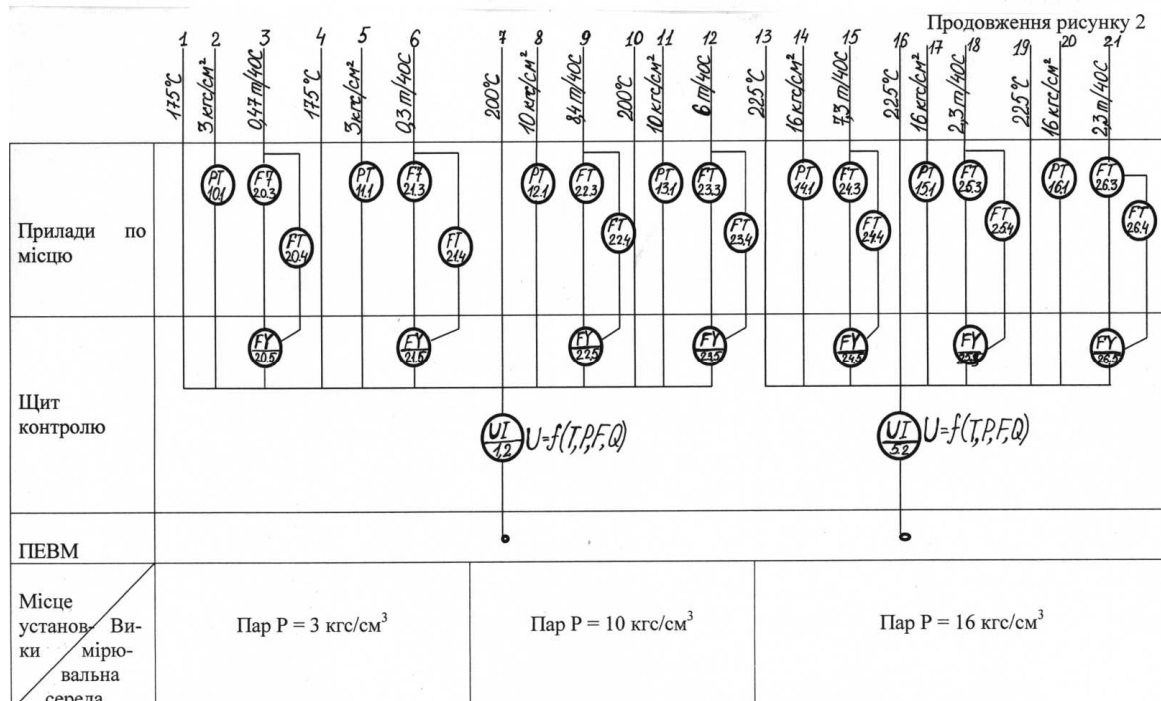
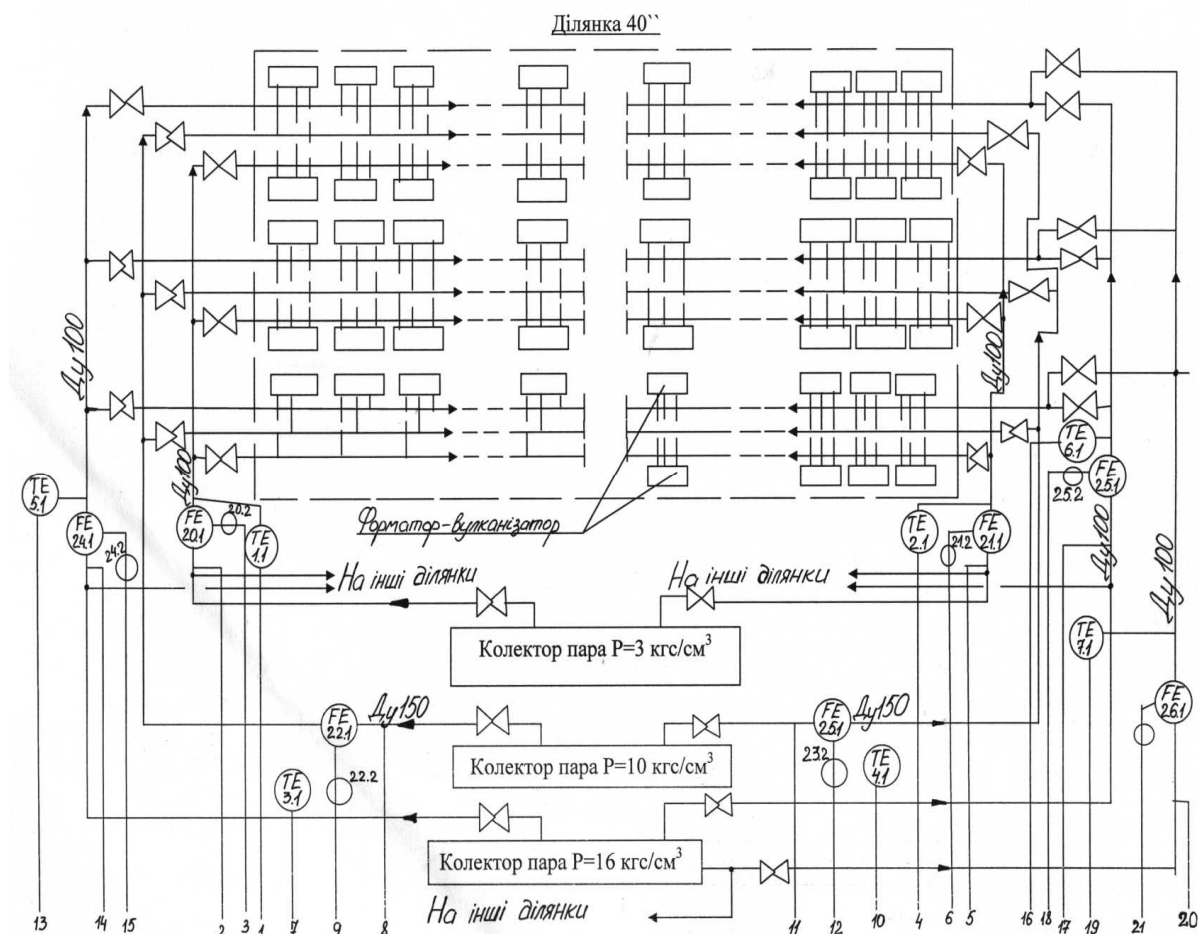


Рисунок 2 – Схема автоматизації

Лічильник має розвинену систему діагностики нештатної ситуації в складових частинах та вхідних і вихідних ланцюгах. Результати діагностики відображаються на табло лицьової панелі і передаються у зовнішній ланцюг.

Лічильник має можливість захисту від несанкціонованого втручання у роботу шляхом пломбування органів відключення електроживлення, вимірювання даних, зупинки підрахунку, підключення ланцюгів датчиків та доступу до внутрішніх частин.

Лічильник СПТ 90 розміщений на щиті контролю, який розташований в щитовій енергоустановок.

До лічильника СПТ 90 підключений комп'ютер з принтером, які розміщені в щитовій. Таким чином відбувається документування на паперовому носії результатів вимірювань, в тому числі їх архівних значень, облікових та контрольованих параметрів. Так що відсутня необхідність наявності дублюючої системи контролю на базі самодрукуючих реєструючих приладів для будь-якої групи обліку споживання теплової енергії.

Специфікація до схеми, яка зображена на рисунку 2.

Таблиця

Позначення	Найменування	Кількість	Примітка
1.17.1	Термоперетворювач опору ТСП-1088	7	
1.2, 5.2	Лічильник теплової енергії СПТ-90	2	
10.116.1	Датчик надлишкового тиску МІДА-ДІ-01П	7	
20.1, 21.1, 24.126.1	Діафрагма ДКС-10-100	5	
22.1 23.1	Діафрагма ДКС-10-150	2	
20.2 26.2	Сосуд зрівняльний конденсаційний СКМ	14	
20.3 26.3 20.4 26.4	Манометр диференційний мембранний взаємозаміняємий ДМ-3583М	14	Комплект перетворювачів вимірювальної різниці тиску ДМТ-3583М
20.5 , 21.5	Блок перетворювання та лінеаризації БПЛ	7	

СПТ 90 надає можливість швидкого змінення номенклатури документованих параметрів – виключення та/або додавання по мірі необхідності у форматі печаті – від всіх до одного. В умовах експлуатації також легко змінити періодичність роздрукування кожного документованого параметру. Видача повідомлень на принтер може (по вибору користувача) наступати по кожній з подій: змінення значення оперативного параметру, закінчення календарного часу та календарних діб, закінчення короткострокового та довгострокового інтервалів архівування, по виклику оператора.

Апаратура КІП розміщена на щиті, виготовлення якого передбачено на контактній ділянці. Електроживлення 220В приладів, розміщених на щиті контролю передбачено від існуючих підведень електроживлення. Споживана потужність 550 ВА.

Висновки.

1. Запропоновано підхід та метод економних витрат газу в технологічному процесі термічної обробки корду, які полягають у регулюванні співвідношення «газ-повітря», в залежності від коливань теплотворної здатності, витрат та тиску.

2. Розроблена автоматизована система регулювання теплових параметрів 4-х печей термообробки корда з оптимізацією співвідношення «газ-повітря» при визначеному значенні [14-20].

3. Розроблені програми та комплект документації для експлуатації автоматизованої системи [14].

Наукова новизна: одержано метод визначення коефіцієнту співвідношення «газ-повітря» за даними аналізу відхідних газів, з урахуванням особливостей конкретного підприємства.

ЛІТЕРАТУРА

1. Контролер регулирующий микропроцессорный Ремиконт Р-110; Р-112; Р-120; Р-122: Техническое описание 2ЯА.399.540 ТО; контролер регулирующий микропроцессорный Ремиконт Р-130, Техническое описание.
2. Како Н., Ямане Я. Датчики и микро-ЭВМ: пер. с япон. – Л.: Энергоатомиздат, Ленинг. отд-ние, 1986. – 120 с.: ил.
3. Каганов В.Ю., Блинов О.М., Белецкий А.М. Автоматизация управления металлургическими процессами. – М.: Металлургия, 1974. – С.319.
4. Авторское свидетельство № 918690 СССР, МКИ F23N1/02, 1982.
5. Авторское свидетельство № 1746143 СССР, МКИ F23N1/02, 1992
6. Авторское свидетельство № 933756 СССР, МКИ С 21D 11/00, 1982.

7. Авторское свидетельство № 1746142 СССР, МКИ F23N1/02, 1992.
8. Коперович А.П. Краткий справочник по автоматическому регулированию в черной металлургии. – М.: Металлургия, 1963. – С.374.
9. Авторское свидетельство № 543692 СССР, МКИ С 21D 11/00, 1977.
10. Авторское свидетельство № 382710 СССР, МКИ С 21D11/00, 1973.
11. Отчет о НИР «Разработка и внедрение экспериментального образца системы контроля и управления газовой смеси для отопления печей стана 1680 комбината «Запорожсталь». НИР ТА – 399 – 92. ИЧМ АН Украины, г. Днепропетровск, 1993.
12. Отчет о НИР «Внедрение системы управления технологией нагрева слитков цеха блюминга меткомбината «Криворожсталь» с применением микропроцессорной техники «Ремиконт-130». Заключительный отчет ТА 265.90 ИЧМ АН Украины, г. Днепропетровск, 1991 г.
13. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского контроля и учета параметров энергоносителей по цехам шинного завода на пультовой энергоустановке цеха ВИК. Рабочая документация. Основной комплект рабочих чертежей и прилагаемые документы. 111–АТХ. УОМПУ. г. Днепропетровск, г. Белая Церковь, 1996.
14. Автоматизированная система оперативно-диспетчерского контроля и учета параметров энергоносителей по цехам шинного завода на пультовой энергоустановке цеха ВИК. Программное обеспечение системы учета потребления тепловых энергоресурсов участком 40. 111 – АТХ. УО МПА. г. Днепропетровск, г. Белая Церковь, 1996.
15. Тонкошкур О.С., Ігнаткін В.У., Гомілко І.В. Цифрові пристрої та мікропроцесори. Навч. пос. – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2008. – 208 с.
16. Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. – М.: Высшая школа, 2005 г. – 768 с.
17. Ігнаткін В.У. Особливості аналізу динамічної похибки в процесі оцінювання метрологічної надійності засобів вимірювальної техніки //Метрологія та прилади. – 2019, №2. – С. 36-42.
18. Ігнаткін В.У. та інші. Математичне забезпечення технічних засобів вимірювання і контролю. Монографія за редакцією проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші. – М. Кам'янське: ДДТУ, 2019. – 340 с.
19. Ігнаткін В.У. та інші. Оцінка надійності і роботоспроможності електронних пристроїв та систем. Навч. посібник за ред. проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші. – М. Кам'янське: ДДТУ, 2018. – 239 с.
20. Ігнаткін В.У. та інші. Метрологічне забезпечення якості продукції. Монографія за редакцією проф. В.У. Ігнаткіна// В.У. Ігнаткін та інші: Запоріжжя, ЗНТУ, 2017. – 202 с.

REFERENCES

1. Regulating microprocessor controller Remikont R-110; P-112; P-120; R-122: Technical description 2YA.399.540 TO; microprocessor-based regulating controller Remikont R-130, Technical description.
2. Kako N., Yamane J. Sensors and micro-computers: trans. from japan. - L.: Energoatomizdat, Lening. department, 1986. - 120 p. : ill.
3. Kaganov V.Yu., Blinov O.M., Beletskiy A.M. Automation of control of metallurgical processes. - M.: Metallurgy, 1974. -- S.319.
4. Copyright certificate No. 918690 USSR, MKI F23N1 / 02, 1982.
5. Copyright certificate No. 1746143 USSR, MKI F23N1 / 02, 1992. 6. Copyright certificate No. 933756 USSR, MKI C 21D 11 / 00.1982.
7. Copyright certificate No. 1746142 of the USSR, MKI F23N1 / 02.1992.
8. Koperovich A.P. A quick reference guide to automatic regulation in the iron and steel industry. - M.: Metallurgy, 1963. -- S. 374.
9. Copyright certificate No. 543692 USSR, MKI C 21D 11 / 00.1977.
10. Copyright certificate No. 382710 USSR, MKI C 21D11 / 00.1973.
11. Research report "Development and implementation of an experimental model of a gas mixture monitoring and control system for heating furnaces of mill 1680 at the Zaporizhstal plant." R&D TA - 399 - 92. IChM Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1993.
12. Research report "Implementation of the control system for the heating technology of ingots in the blooming shop of the Krivorozhstal steel plant" using the "Remikont-130" microprocessor technology. Final report TA 265.90 IChM Academy of Sciences of Ukraine, Dnepropetrovsk, 1991.
13. Automated system of operational dispatch control and metering of energy parameters in the shops of the tire plant at the control room of the power plants of the VIK shop. Working documentation. The main set of working drawings and attached documents. 111 – ATX. UOMPU. Dnepropetrovsk, Belaya Tserkov, 1996.
14. Automated system of operational dispatch control and metering of energy parameters in the shops of the tire plant at the control room power plant of the VIK shop. Software for the system of accounting for the consumption of thermal energy resources in section 40. 111 - ATX. UO MPA. Dnepropetrovsk, Belaya Tserkov, 1996.
15. Tonkoshkur O.S., Ignatkin V.U., Gomilko I.V. Digital attachments and microprocessors. Navch. pos. - Dniprodzerzhynsk: DDTU, 2008. -- 208 p.
16. Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. Information technology of technological process control systems. - M.: Higher school, 2005. - 768 p.
17. Ignatkin V.U. Particularities of the analysis of dynamical failure in the process of assessing metrological hopes in terms of dynamic technology // Metrology and attachments. - 2019, no. 2. - S. 36-42.

18. Ignatkin V.U. that inshi. Mathematical safety of technical means of monitoring and control. Monograph edited by prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi. - M. Kam'yanske: DDTU, 2019 .-- 340 p.
19. Ignatkin V.U. that inshi. Assessment of reliability and robotic capability of electronic attachments of systems. Navch. posibnik for ed. prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi. - M. Kam'yanske: DDTU, 2018 .-- 239 p.
20. Ignatkin V.U. that inshi. Metrological safety of product quality. Monograph edited by prof. V.U. Ignatkina // V.U. Ignatkin and inshi: Zaporozhye, ZNTU, 2017 .-- 202 p.

Received 01.04.2022.

Accepted 04.04.2022.

***Automated control system for thermal parameters of cord heat treatment furnaces
with optimization of the "gas-air" ratio by a certain value***

The system of automation which allows to control autonomous use of gas with preservation of quality of technological process is resulted.

The given algorithm, corresponding programs, technical means of automation system carry out regulation of air expenses at any values of quantity of fuel (gas). The gas-to-air ratio is determined experimentally from the analysis of exhaust gases for a specific type of furnace.

The control algorithm is implemented using a microprocessor controller, and includes: PID control - law (proportional-integral-differential), linearization, which processes the input values of gas and air and reduces measurement errors of flow sensors and especially in the initial part of the sensor range; piecewise linear approximation, which allows: to implement the specified dependence of the ratios, flexibility and the ability to adjust and change the parameters of the control circuits, which adapts the control system to specific production conditions.

The controllers can be configured both at the lower level of the distributed ACS TP and communicate with the upper level through the digital serial communication channel, and used as a stand-alone device.

The meter of the measured and calculated parameters of the corresponding physical quantities displays them on the matrix board of its front panel.

A computer with a printer located on the panel shop is connected to the meters. Developed programs that implement control algorithms written in Delphi 3.0 using BDE (BorlandData-baseEngine).

Technological programs and a set of documentation for the operation of the system have also been developed.

The system is focused on daily work in conjunction with meter gauges. Instrument readings are taken at intervals of one to one hundred and twenty minutes, depending on the settings made on the front panel. Information from the meters is stored in the database "Infoterm.db", as well as in the archival database "Archive.db". Moreover, the database "Infoterm.db" is released from the data every day before the launch of system programs.

The technological program for heat meters is made on the basis of preliminary calculations of measuring diaphragms from the manufacturer with observance of metrological and technological conditions (metrological certification, etc.).

If necessary, the software is configured.

Ігнаткін Валерій Устинович – д.т.н., професор, професор кафедри автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Горбійчук Михайло Іванович – д.т.н., професор, зав. кафедрою автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, Україна.

Дудніков Володимир Степанович – к.т.н., доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Юшкевич Олег Павлович – к.т.н., доцент кафедри мехатроніки Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара.

Болонний Василь Тарасович – к.т.н., доцент, заступник директора з навчальної роботи Дрогобицького фахового коледжу нафти та газу.

Тіхонов Василь Андрійович – директор Дніпровського фахового коледжу радіоелектроніки.

Ignatkin Valeri Ustinovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Gorbiychuk Mykhailo Ivanovych – Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of the Department of Automation and Integrated Computer Technologies at Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ukraine.

Dudnikov Volodymyr Stepanovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.

Yushkevich Oleh Pavlovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor of the department of mechatronics at Oles Honchar Dnipro National University.

Bolonny Vasily Tarasovych – Candidate of Engineering Sciences (PhD in engineering sciences), associate professor, Deputy Director for Academic Affairs of.

Tikhonov Vasyl Andriyovych - Director of the Dnieper Professional College of Radio Electronics.