

УДК 669.162.23:004:658.011.56

Койфман О. О., Горобченко М. О., Клімов Є. Г., Доля Д. Т.

ЗАСТОСУВАННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ АРХІВНОЇ БАЗИ ДАНИХ АСУТП В УПРАВЛІННІ БЛОКОМ ДОМЕННИХ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ

Огляд наукових публікацій за останні кілька десятиліть, що стосуються автоматизації роботи доменних повітрянагрівачів, показує, що однією з основних тенденцій у розвитку систем управління є використання інтелектуального аналізу даних з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами.

Більшість блоків повітрянагрівачів обладнані системами автоматичного управління, в яких значення технологічних параметрів записуються в поточну базу даних, а далі - в архівну, що дає можливість для вивчення стану повітрянагрівача під час зміни режимів його роботи.

При управлінні нагріванням насадки повітрянагрівача не враховується його тепловий стан при різній тривалості перемикання і втрати тепла в навколишнє середовище.

Розроблено програму для вилучення з архівної бази даних значень параметрів технологічного процесу нагріву доменного дуття про стан повітрянагрівача під час перемикань. Зроблено аналіз зміни температури куполу і низу насадки під час перемикання повітрянагрівача і вплив перемикань на температуру дуття. Перемикання з дуття на нагрів мають однаковий характер для всіх повітрянагрівачів блоку, тривають в середньому 5 хв, при цьому температура куполу знижується на 15 - 20 °С. Перемикання з нагріву на дуття мають однаковий характер, при цьому для двох повітрянагрівачів тривають 8 хв, а для одного - 14 хв, температура куполу знижується на 20 - 25 °С.

Розроблено програму розрахунку втрат теплоти під час перемикання повітрянагрівачів з режиму на режим.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування нагріванням доменного дуття з використанням підсистеми інтелектуального аналізу даних, яка на підставі поточної технологічної інформації відстежує зміну режимів роботи повітрянагрівачів, аналізує стан повітрянагрівачів під час перемикань, порівнює з архівною інформацією та вносить коригування в режими роботи блоку повітрянагрівачів.

Ключові слова: *Інтелектуальний аналіз даних, повітрянагрівач, перемикання, втрати тепла, алгоритм, система автоматизації, програма.*

Постановка проблеми.

Рівний хід доменної плавки в великій мірі залежить від стабільних температури і тиску доменного дуття. Стабілізація тиску і витрати дуття забезпечується на турбоповітродувних установках. Нагрівання ж дуття проводиться в блоці повітрянагрівачів, при цьому коливання температури дуття залежить від моменту і тривалості перемикання доменних повітрянагрівачів з режиму нагріву насадки на режим нагріву дуття і навпаки.

У свою чергу скорочення тривалості перемикань дозволяє підвищити температуру дуття і знизити втрати теплоти з повітрянагрівача в навколишнє середовище.

При регулюванні нагріву насадки повітрянагрівача не враховуються його тепловий стан при різній тривалості перемикання і втрати тепла в навколишнє середовище.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Для нагріву гарячого дуття, що подається в доменну піч, застосовується блок повітрянагрівачів, що складається з 3-4 регенераторів, що працюють в наступних технологічних режимах: нагрів насадки, нагрів дуття, відділення та тяга. У зв'язку з тим, що регенератори представляють собою агрегати періодичної дії, перемикання з режиму на режим може тривати 15-20 хв і безпосередньо впливає на температуру дуття. У той же час скорочення часу перемикання дозволяє підвищити температуру гарячого дуття на 10-25 ° С [1, 2].

Огляд наукових публікацій за останні кілька десятиліть [3], що стосується автоматизації роботи доменних повітрянагрівачів, показує, що однією з основних тенденцій у розвитку систем управління є використання інтелектуального аналізу даних з метою виявлення нових залежностей між технологічними параметрами.

Пропонується безліч підходів для оптимізації режимів роботи блоку повітрянагрівачів з метою підвищення температури гарячого дуття [4-6], але не акцентується увага на дослідженні стану насадки під час перемикань: як змінюються температура купола і піднасадочного пристрою, які втрати теплоти?

Більшість блоків повітрянагрівачів оснащені системами автоматичного регулювання температури купола, співвідношення «паливо-повітря», стабілізації температури гарячого дуття [7], але в більшості випадків перемикання режимів проводиться газівниками дистанційно за допомогою відповідних перемикачів на пульті управління. Також значення технологічних параметрів записуються в поточну базу даних, а далі - в архівну, що дає можливість для вивчення стану повітрянагрівача під час зміни режимів його роботи.

Мета дослідження.

Застосування інтелектуального аналізу архівної інформації про стан повітрянагрівача в періоди його перемикання з режиму на режим на підставі інтелектуального аналізу архівної бази даних, що містить значення температури купола, температури відхідних з насадки продуктів згоряння, температури гарячого дуття, режимів роботи повітрянагрівача, в системах автоматичного управління повітрянагрівачами.

Основний матеріал дослідження.

Для дослідження стану повітрянагрівачів авторами були розширені можливості раніше розробленого програмного забезпечення, призначеного для обробки архівної бази даних системи автоматичного управління блоком доменних повітрянагрівачів [8].

Значення основних технологічних параметрів повітрянагрівачів вилучаються з архівних баз даних автоматизованої системи управління. Програма (рис. 1) має можливість працювати з двома типами баз даних формату .dbf. У файл першого типу за добу кожні 10 секунд записується 175 значень технологічних параметрів чотирьох повітрянагрівачів блоку. У одному файлі подано понад 1,5 мільйона записів. Дані зберігаються у доволі незручному вигляді – в стовпчик. Файл другого типу, так звана «широка база», має вже декілька десятків стовпчиків з даними, що значною мірою спрощує роботу з ним, але період запису даних – 20 секунд.

Складність обробки інформації полягає в тому, що в базах даних різного типу через недосконалість контрольно-вимірювальних приладів, встановлених на повітрянагрівачі, за один і той самий проміжок часу наявні не всі параметри, а інші параметри записуються з періодом, який не співпадає з періодом запису в іншій базі даних, тому для обробки настільки великого та складного за сприйняттям об'єму інформації було вирішено створити

спеціалізований програмний засіб, який повинен відкривати обидві бази даних, вилучати з них необхідні дані, екстраполювати значення записів з однієї бази даних для синхронізації проміжків часу із записами іншої бази даних, у результаті на основі отриманого масиву даних можна судити про параметри та режим роботи повітрянагрівача (рис. 1).

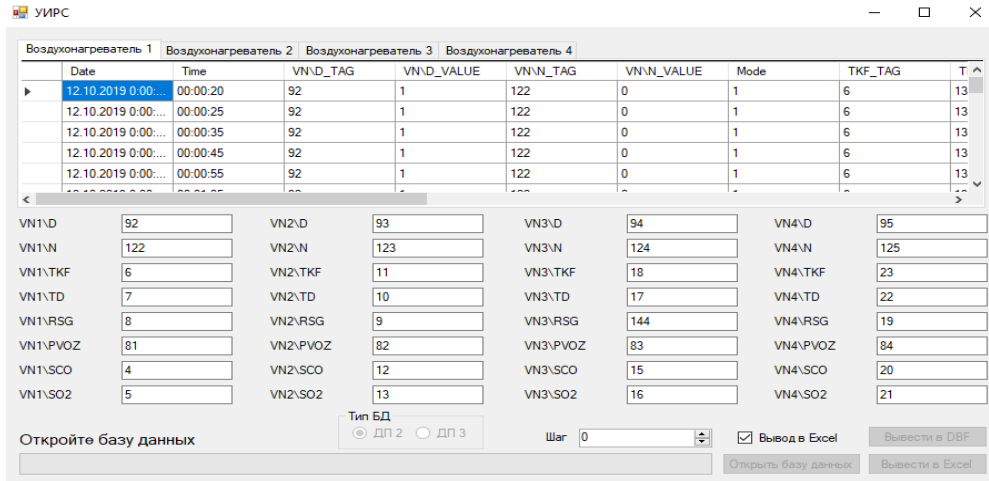


Рисунок 1 – Розроблене програмне забезпечення

Реалізацію програми було вирішено виконувати в сучасному середовищі програмування IDE MS Visual Studio 2019 на об'єктно-орієнтованій мові програмування C# (C Sharp), яка доволі проста, але з великою кількістю зручних можливостей та розширень для найрізноманітніших задач. Програма підключається до каталогу, у якому зберігаються файли бази даних, вилучає з неї потрібну інформацію та подає її в зручному для сприйняття вигляді в нову за структурою базу даних або у файл формату MS Excel для подальшої статистичної обробки.

При розробці програми в якості провайдера для підключення до бази даних та вилучення з неї необхідних записів було використано систему управління базами даних Microsoft Visual FoxPro - середу розробки систем баз даних, яка включає об'єктно-орієнтовані реляційну СУБД та мову програмування для розробки додатків баз даних і систему побудови звітів [9].

Для створення файлу Excel та виведення у нього результатів обробки баз даних було використано ClosedXML – бібліотеку для читання, обробки та запису файлів Excel [10]. Вона має величезний набір потужних функцій для створення та обробки файлів Excel, тому з її допомогою робота з файлами через код програми майже не відрізняється від роботи у програмі Microsoft Excel.

За закладеним в програму алгоритмом інформація з бази даних розподіляється по файлах формату .xlsx, кожен з яких містить інформацію про повітрянагрівачі блоку, відповідну режиму нагріву насадки, режиму нагріву дуття і перемикання з режиму на режим. В якості досліджуваних параметрів, що характеризують тепловий стан насадки повітрянагрівача, були обрані значення температури купола і піднасадочного пристрою, а також, температура гарячого дуття. На рис. 2 представлені графіки зміни температури купола повітрянагрівача № 1 в період перемикання з режиму дуття на нагрів (рис. 1, а, в) і з режиму нагрів на дуття (рис. 1, б, г).

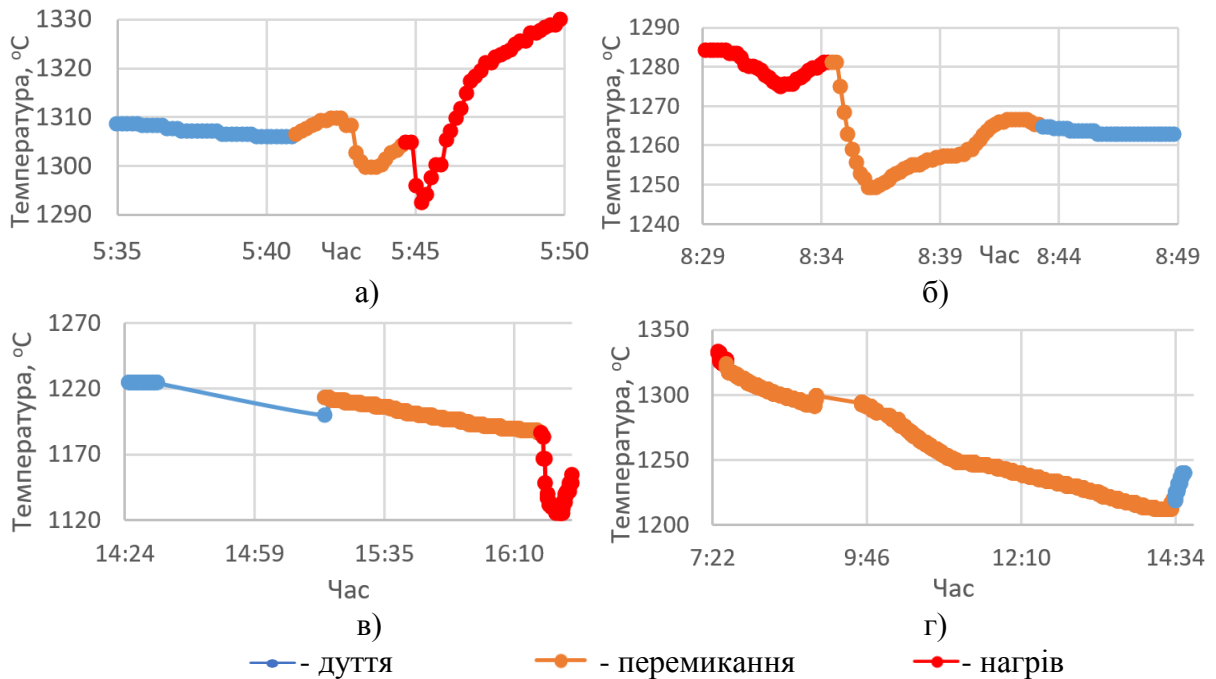


Рисунок 2 – Зміна температури куполу в періоди перемикання з дугтя на нагрів (а, в) і перемикання з нагріву на дугтя (б, г)

При обробці бази даних була виявлена складність в точній ідентифікації перемикань: крім типових перемикань (рис. 2, а, б), які відповідають правильній послідовності дій газівника при перемиканні, присутні нетипові перемикання (рис. 2, в, г). Наприклад, спостерігається відсутність записів значень температури куполу в базу даних протягом 50 хв (рис. 2, в), або знаходження повітрянагрівача в режимі відділення (рис. 2, в і г).

Аналіз декількох місяців роботи блоку з трьох повітрянагрівачів дозволив визначити наступне: перемикання з дугтя на нагрів мають однаковий характер для всіх повітрянагрівачів блоку, тривають в середньому 5 хв, при цьому температура купола знижується на 15 - 20 °С; перемикання з нагріву на дугтя мають однаковий характер, для двох повітрянагрівачів тривають 8 хв, а для одного - 14 хв, температура купола знижується на 20 - 25 °С; - при перемиканні температура дугтя коливається в межах 30-40 °С, в рідкісних випадках - до 50 °С.

Особливий інтерес представляє вплив перемикань режимів роботи повітрянагрівачів на температуру гарячого дугтя (рис. 3).

Досліджуваний блок (рис. 3) з чотирьох повітрянагрівачів перед перемиканнями знаходився в паралельному режимі роботи [11]: ПН1 і ПН4 працювали в режимі нагріву насадки, ПН2 і ПН3 - в режимі нагріву дугтя.

Інформаційні технології

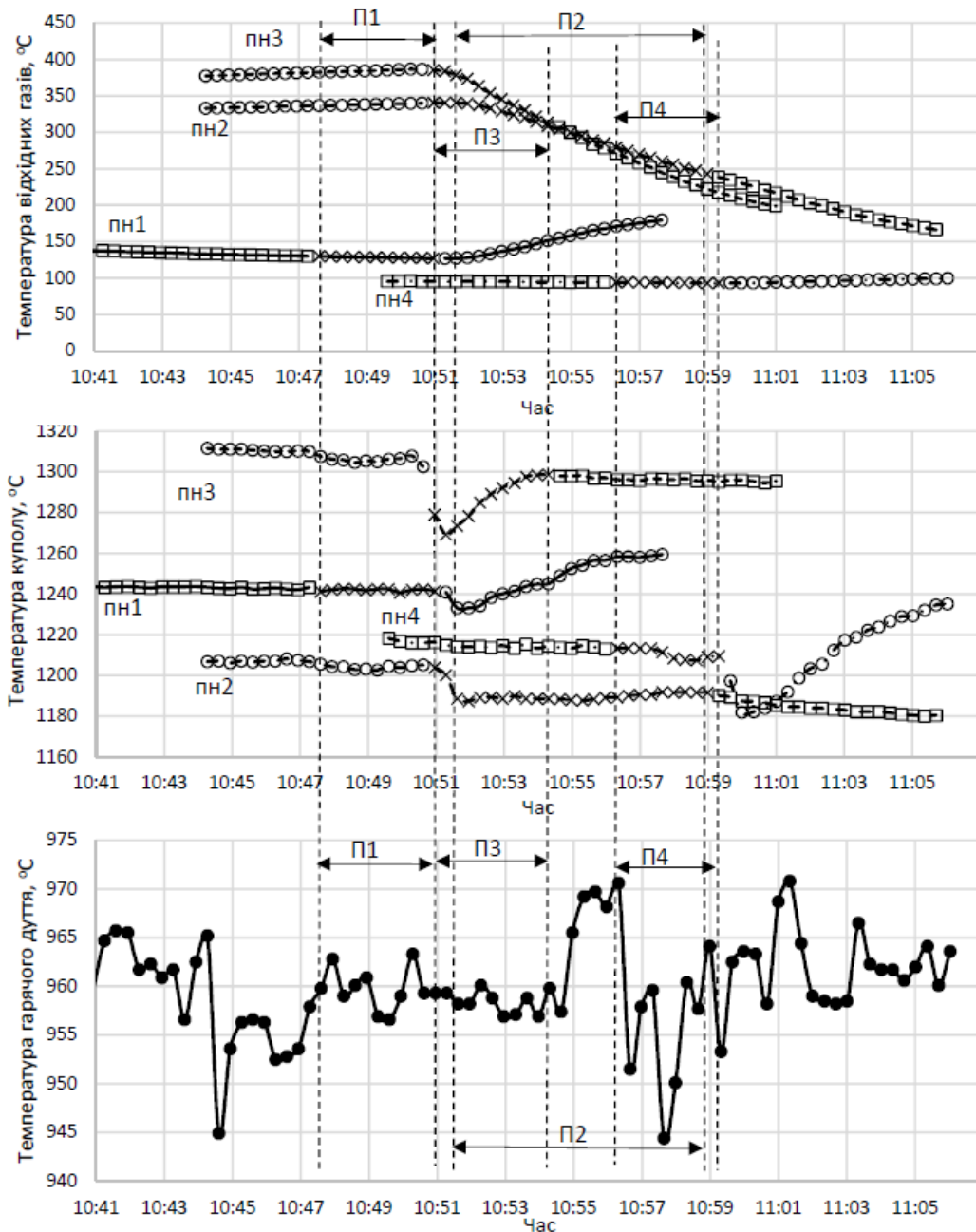


Рисунок 3 – Вплив перемикачів повітрянагрівачів на температуру гарячого дуття:
 —○— - ПН1 Нагрів; —×— - ПН1 Перемикання; —□— - ПН1 Дуття; --□-- - ПН2 Дуття; --×-- - ПН2 Перемикання; --○-- - ПН2 Нагрів;□..... - ПН3 Дуття;×..... - ПН3 Перемикання;○..... - ПН3 Нагрів; П1 - перемикання ПН1 з дуття на нагрів, П2 - перемикання ПН2 з нагріву на дуття, П3 - перемикання ПН3 з нагріву на дуття, П4 - перемикання ПН4 з дуття на нагрів

Розглянемо більш детально послідовність перемикачів (рис. 3):

- першим перемикається ПН1 в режим нагріву насадки - коливаний температури дуття не спостерігається;

- далі перемикаються ПН2 і ПН3 в режим нагріву дуття - спостерігається різкий стрибок температури дуття тривалістю 2 хв;
- останнім перемикається ПН4 на режим нагріву насадки - при цьому спостерігається різке падіння температури дуття на 35 °С;
- після закінчення перемикань спостерігається стабілізація температури гарячого дуття.

Стабілізація температури дуття під час перемикань є однією з найважливіших задач в автоматизації доменного виробництва на сьогоднішній день, тому що коливання температури дуття негативно впливають на хід доменної плавки [12], отже, інформація про характер коливання температури гарячого дуття повинна передаватися в систему автоматичного регулювання.

У той же час на підставі архівних даних визначалися втрати теплоти насадки і куполу в навколишнє середовище під час перемикань повітрянагрівачів (рис. 4) з використанням розробленого алгоритму [13]. Теплові втрати обчислюються через рівняння теплопередачі для багатошарових стінок циліндричної форми (стінки повітрянагрівачів) і кулястої (купол повітрянагрівача).

Програма розрахунку втрат теплоти ПН у навколишнє середовище

Циліндричні поверхні ПН		Купол ПН	
Час перемикання, с	600	Час перемикання, с	600
Висота циліндричної частини, м	40	Діаметр куполу, м	10,468
Зовнішній D циліндричної частини, м	10,468	Товщина кожуху, мм	65
Товщина кожуху, мм	65	Товщина футеровки (шамоту), мм	1019
Товщина футеровки (шамоту), мм	1019	T° куполу, °C	1350
Товщина насадки, мм	1000	T° навколишнього середовища, °C	20
T° верху насадки, °C	1350	Тепловіддача a1, Вт/(м²К)	10
T° низу насадки, °C	400	Теплопередача футеровки b2, Вт/(м²К)	0,04
T° навколишнього середовища, °C	20	Теплопередача кожуху b3, Вт/(м²К)	47
Тепловіддача a1, Вт/(м²К)	12		
Теплопередача насадки b1, Вт/(м²К)	0,04		
Теплопередача футеровки b2, Вт/(м²К)	0,04		
Теплопередача кожуху b3, Вт/(м²К)	47		
Розрахувати		Розрахувати	
Втрати теплоти, МДж		Втрати теплоти, МДж	
185,935712		4,20893	

Рисунок 4 – Програма розрахунку втрат при перемиканні

На підставі інформації (температури куполу і газів, що відходять, температури гарячого дуття, положеннях клапанів), отриманої з архівної бази даних, і результатів проведених досліджень авторами пропонується нова структура системи автоматичного управління повітрянагрівачами на базі підсистеми інтелектуального аналізу даних (рис. 5).

Поточні значення температур куполу (T_1), димових газів (T_2) і гарячого дуття (T_3), витрати (F) і тиску змішаного газу (P_1), тиск повітря горіння (P_2), інформація про положення клапанів зі схеми управління клапанами контролюються в локальній системі автоматичного регулювання (ЛСАР) і записуються в поточну і архівну бази даних.

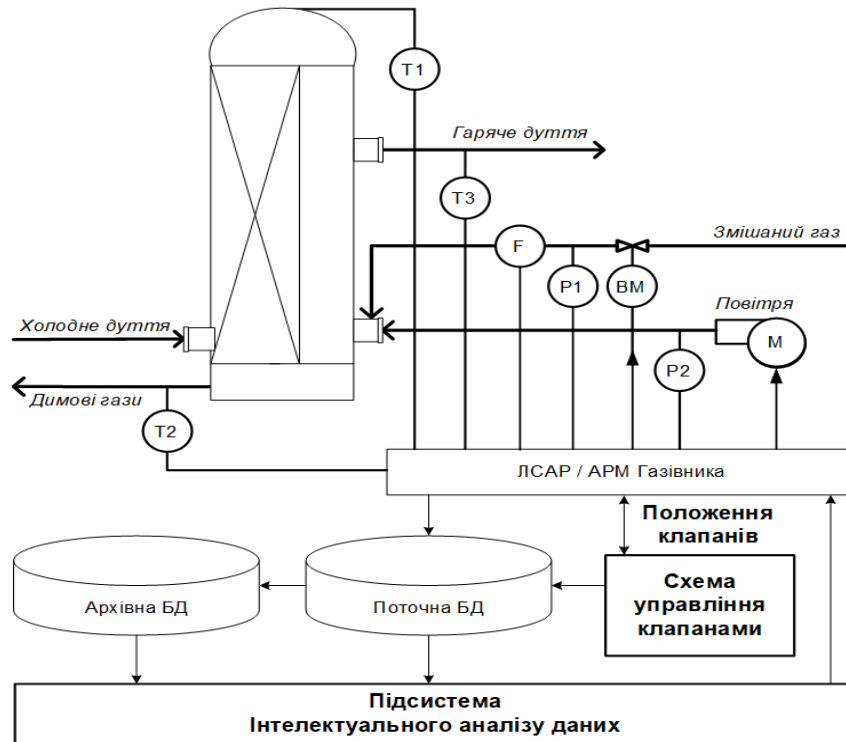


Рисунок 5 – Структура локальної системи автоматичного управління нагріву насадки доменного повітрянагрівача на базі підсистеми інтелектуального аналізу даних

Підсистема інтелектуального аналізу даних на підставі поточної технологічної інформації відстежує зміну режимів роботи повітрянагрівачів, аналізує стан повітрянагрівачів під час перемикань, порівнює з архівною інформацією та вносить коригування в режими роботи блоку повітрянагрівачів.

При виявленні збільшення тривалості перемикання повітрянагрівача на режим нагріву насадки (зниження температури купола і збільшення втрат теплоти в навколишнє середовище), що тягне за собою збільшення тривалості нагрівання, підсистемою інтелектуального аналізу даних в систему ЛСАР буде видано коригування заданої витрати змішаного газу, яка забезпечить досягнення заданої тривалості нагріву.

При наявності математичної моделі в системі управління на підставі інформації про перемикання та використання інтелектуального аналізу тривалості періодів нагріву насадки та нагріву дуття [14] з'являється можливість коригувати режимну карту блоку повітрянагрівачів за заданий проміжок часу роботи блоку повітрянагрівачів.

ВИСНОВКИ

Розроблено програму для вилучення необхідної інформації з архівної бази даних значень параметрів технологічного процесу нагріву доменного дуття.

Зроблено аналіз зміни температури купола і низу насадки під час перемикання повітрянагрівача з режиму на режим і вплив перемикачів на температуру дуття.

Розроблено програму розрахунку втрат теплоти під час перемикання повітрянагрівачів з режиму на режим.

Запропоновано структуру системи автоматичного керування нагріванням доменного дуття з використанням підсистеми інтелектуального аналізу даних.

Інтелектуальний аналіз бази даних, що містить поточну і архівну інформацію про технологічний процес нагрівання доменного дуття, можна використовувати в системах автоматичного регулювання. Наприклад, за отриманими характеристиками перемикачів можна вносити коригування в карту перемикачів; передавати отриману інформацію в математичні моделі в якості уточнених початкових значень для моделювання.

Перелік використаних джерел:

1. Койфман, О. О. Огляд сучасних систем управління блоком доменних повітрянагрівачів [Електронний ресурс] / О. О. Койфман, М. О. Горобченко, О. І. Сімкін // Перспективи розвитку сучасної науки і техніки : зб. тез доп. Всеукр. інтернет-конференції (Маріуполь, 20–21 лютого 2020 р.) / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – С. 16–19. – Режим доступу: <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/25262>

2. Грес, Л. П. Оптимизация периодов работы воздухонагревателей доменных печей / Л. П. Грес, А. Е. Миленина, Ю. М. Флейшман // Вестник Донбасской государственной машиностроительной академии. – 2008. – № 3Е (14). – С. 40–42.

3. Исследование влияния длительности паузы и периодов работы доменных воздухонагревателей на эффективность нагрева дутья / Л. П. Грес, Т. В. Самойленко, Ю. М. Флейшман, Н. И. Щурова // Металургійна теплотехніка : зб. наук праць / Нац. металургійна академія України. – Дніпропетровськ, 2008. – С. 118–128.

4. Тепловой расчет доменных воздухонагревателей для различных режимов их работы. Сообщ. 1 / В. М. Малкин, Б. Б. Вегнер, Ф. Р. Шкляр, В. Л. Советкин // Известия вузов. Черная металлургия. – 1982. – № 2. С. 94–96.

5. Соломенцев, С. Л. Рациональные типы насадок и доменных воздухонагревателей / С. Л. Соломенцев. – Липецк : ЛГТУ, 2001. – 432 с.

6. Койфман, А. А. Особенности определения параметров блока воздухонагревателей с нагревом насадки под давлением / А. А. Койфман, А. И. Симкин // Вісник Приазовського державного технічного університету : зб. наукових праць / ПДТУ. – Маріуполь, 2015. – Вип. 31. – С. 192–202. – (Серія : Технічні науки).

7. Глинков, Г. М. АСУТП в черной металлургии: учеб. для вузов. – 2-е изд. перераб. и доп. / Г. М. Глинков, М. А. Маковский. – М. : Металлургия, 1999. – 310 с.

8. Клімов, Є. Обробка архівної бази даних системи автоматичного управління [Електронний ресурс] / Є. Клімов // Наука – перші кроки : тези доп. XIV регіон. студент. наук.-техн. конф. (Маріуполь, 21–24 квітня 2020 р.) : в 4 т. / ДВНЗ «ПДТУ». – Маріуполь, 2020. – Т. 1. – С. 235–236. Режим доступу : <http://eir.pstu.edu/handle/123456789/28962>

9. Microsoft Visual FoxPro (VFP) [Електроний ресурс]. – Режим доступу: https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_FoxPro
10. ClosedXML [Електроний ресурс]. – Режим доступу: <https://github.com/ClosedXML/ClosedXML>
11. Доменные воздухонагреватели / Ф. Р. Шкляр [и др.]. – М. : Metallurgia, 1982. – 176 с.
12. Товаровский, И. Г. Доменная плавка. Эволюция, ход процессов, проблемы и перспективы / И. Г. Товаровский. – Днепропетровск: Пороги, 2003. – 596 с.
13. Комп'ютерна програма «Розрахунок втрат теплоти доменного повітря нагрівача у навколишнє середовище під час перемикання з режиму на режим» / О. О. Койфман, Д. Т. Доля. – Свідectво про реєстрацію авторського права на твір № 95897 від 07.02. 2020; заявл. 97409 от 04.02.2020, опубл. 31.03.2020, Бюл. № 57.
14. Koifman, A. Development and Software Implementation of the Hot Blast Stove Computer Model / A. \ Koifman, A. Simkin [Electronic resource] // Computer Modeling and Intelligent Systems (CMIS-2020) : Proceedings of the Third International Workshop (Zaporizhzhia, April 27 – May 1, 2020 y.). – Zaporizhzhia, 2020. – Vol. I–2608. – P. 102–117. – Mode of access: <http://ceur-ws.org/Vol-2608/paper9.pdf>

Койфман А. А., Горобченко М. А., Климов Е. Г., Доля Д. Т.

ПРИМЕНЕНИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА АРХИВНОЙ БАЗЫ ДАННЫХ АСУТП В УПРАВЛЕНИИ БЛОКОМ ДОМЕННЫХ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Обзор научных публикаций за последние несколько десятилетий, касающийся автоматизации работы доменных воздухонагревателей, показывает, что одной из основных тенденций в развитии систем управления является использование интеллектуального анализа данных с целью выявления новых зависимостей между технологическими параметрами.

Большинство блоков воздухонагревателей оснащены системами автоматического управления, в которых значения технологических параметров записываются в текущую базу данных, а далее – в архивную, что дает возможность для изучения состояния воздухонагревателя во время изменения режимов его работы.

При управлении нагревом насадки воздухонагревателя не учитывается его состояние при различных продолжительностях переключений между режимами и потери тепла в окружающую среду.

Разработана программа для извлечения информации из архивной базы данных значений параметров технологического процесса нагрева доменного дутья о состоянии воздухонагревателя во время переключений. Произведен анализ изменения температуры купола и низа насадки во время переключения и их влияние на температуру дутья. Переключения с дутья на нагрев имеют одинаковый характер для всех воздухонагревателей блока, продолжаются в среднем 5 мин, при этом температура купола снижается на 15 – 20 °С. Переключения с нагрева на дутье имеют одинаковый характер, при этом для двух воздухонагревателей длятся 8 мин, а для одного – 14 мин, температура купола снижается на 20 - 25 °С.

Разработана программа расчета потерь теплоты во время переключения воздухонагревателей с режима на режим.

Предложена структура системы автоматического управления нагревом доменного дутья с использованием подсистемы интеллектуального анализа данных, которая на основании текущей технологической информации отслеживает изменение режимов работы воздухонагревателя, анализирует состояние воздухонагревателей во время переключений, сравнивает с архивной информацией и вносит корректировки в режимы работы блока воздухонагревателей.

Ключевые слова: *Интеллектуальный анализ данных, воздухонагреватель, переключения, потери тепла, алгоритм, система автоматизации, программа.*

Koifman O. O., Horobchenko M. O., Klimov Ye. G., Dolya D. T.

APPLICATION OF THE ACS ARCHIVE DATABASE MINING IN MANAGING OF A HOT BLAST STOVES BLOCK

A review of scientific publications over the past few decades concerning the automation of the operation of hot-blast stoves shows that one of the main trends in the development of control systems is the use of data mining in order to identify new dependencies between technological parameters.

Most of the hot-blast stoves blocks are equipped with automatic control systems, in which the values of technological parameters are recorded in the current database, and then in the archive, which makes it possible to study the state of the hot-blast stove during changes in its operating modes.

In controlling the heating of the hot-blast stove checkerwork, its state is not taken into account at various durations of switching between modes and heat losses to the environment.

A program has been developed to retrieve information from the archive database about the state of the hot-blast stove during the switching. The analysis of the change in the temperature of the dome and the bottom of the checkerwork during the switching and their influence on the blast temperature has been carried out. The shifts from the on-gas mode to on-blast mode have the same nature for all hot-blast stoves of the block, and last 5 minutes on average, while the dome temperature decreases by 15-20°C. The shifts from the on-blast mode to on-gas mode have the same nature, and last 8 minutes for two hot-blast stoves, and 14 minutes for one, the dome temperature decreases by 20-25 °C.

A program for calculating heat losses during the switching of the hot-blast stoves from one mode to another mode has been developed.

The structure of the automatic control system for the blast-furnace air heating using a data mining subsystem has been proposed, which, based on the current technological information, monitors the change in the operating modes of the hot-blast stove, analyzes the state of the hot-blast stoves during the switching, compares it with the archived information and makes adjustments to the operating modes of the hot-blast stoves block.

Keywords: *Data mining, hot-blast stove, switching, heat losses, algorithm, automatic control systems, program.*

Рецензент: доц., канд. техн. наук, Черевко О. О.

Стаття надійшла 29.11.2020 р.