

УДК 669.162.2:681.5.042

Полищук А.А., Симкин А.И., Койфман А.А., Юзвенко С.В.

ПОДСИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ БЛОКОМ ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ АСУТП ВЫПЛАВКИ ЧУГУНА В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

В данной статье описана работа подсистемы автоматического управления блоком ВН доменной печи. Проведён анализ существующих на данный момент решений. Описан алгоритм работы подсистемы, его входные и выходные данные.

Подсистема разделена на модули и состоит из главного модуля, в котором реализован алгоритм выбора режима работы ВН и подмодулей, ответственных за реализацию различных режимов работы ВН.

В модуле, в котором заложен алгоритм нагрева ВН, реализован алгоритм минимального расхода высококалорийной добавки для достижения оптимального времени нагрева ВН.

Ключевые слова: Автоматическая система управления, блок воздухонагревателей, доменный воздухонагреватель, соотношение топливо/воздух, дутье, температура купола, высококалорийная добавка.

Постановка проблемы. На данный момент металлургическая отрасль составляет серьёзную долю от доходов государства, её развитию и модернизации уделяется много внимания. Но кроме технической модернизации необходимо разрабатывать и внедрять новые, более совершенные и экономичные системы управления для снижения себестоимости и повышения качества продукции.

Анализ последних исследований и публикаций.

Тема разработки систем автоматического управления блоком воздухонагревателей на данный момент в достаточной степени не раскрыта.

В работе [1] Андреев С.М. описывает алгоритм стабилизации температуры купола воздухонагревателя посредством изменения расхода воздуха на сжигание при неизменном расходе топлива. Это позволяет достичь меньшего времени нагрева, чем при изменении расхода топлива.

Романенко В. И. в работе [2] описывает метод оптимизации теплового режима при помощи расчёта общего количества тепла всех воздухонагревателей.

Трофимов В.Б. в статье [3] описал реализацию интеллектуальной системы управления блоком воздухонагревателей с применением нейросетевых технологий. Модель, разработанная в ходе данной работы, доказала свою адекватность при проверке путём пересчётного моделирования. Однако как недостаток можно выделить сложность реализации данного метода, а также то, что данная система реализована только для воздухонагревателей Калугина.

Достоверно описать процессы сжигания топлива и нагрева насадки в доменном ВН достаточно сложно. Для упрощения задачи зарубежные авторы разработали экспертные системы, берущие за основу нечёткую логику [4,5].

Авторы работы [6] решили задачу прогнозирования температуры насадки посредством трёхслойной нейронной сети. При помощи введения обратных связей повышена точность прогнозирования. Как недостаток этой модели можно обозначить высокую сложность вычислений при обучении нейронной сети, но это частично решается при помощи использования нечётких множеств.

В современных работах [7,8] достаточно много говорится о рассмотрении системы ситуационного управления как сети, основанной на нечёткой логике. При управлении процессом, основанном на ситуационном подходе, существует проблема распознавания существующей ситуации и выбора алгоритма управления.

Принцип перехода между ситуациями по набору определённых признаков описан в работе [8]. В ней система является нечёткой сетью, по вершинам которой определяется текущая ситуация.

В работе [9] представлен способ увеличения эффективности управления группой кауперов, основанный на установке дополнительных датчиков и формировании на основании поступающей информации базы знаний, используемой для работы модели прогнозирования продолжительности периода дутья.

На данный момент есть много работ по этой тематике, но они достаточно сложны в реализации, имеют большую вычислительную сложность и, в некоторых случаях, требуют модернизации существующего агрегата. В рамках данной работы предложена система, не требовательная по вычислительной сложности и не требующая значительной модернизации оборудования, предназначенная для внедрения на уже существующие агрегаты.

Цель статьи. Создание и разработка структуры, критериев и программной реализации системы управления блоком воздухонагревателей для получения максимально высокой температуры дутья при минимальных затратах топлива.

Изложение основного материала.

Для удобства изложения материала, обозначим воздухонагреватель как ВН.

Для эффективного управления блоком ВН разработана система управления, позволяющая минимизировать потери теплоносителя и, как следствие, повысить эффективность.

Примем температуру окружающей среды 20°C и то, что перекидка клапанов всегда завершается успешно. Также в данной работе мы будем пользоваться математической моделью ВН для прогнозирования времени нагрева и охлаждения последнего. Данная модель реализована отдельно и в рамках данной статьи не рассматривается.

На вход системы подаются следующие данные, единые для всей системы:

- температура дутья блока ВН текущая $t_{\text{д}}^{\text{бл}}$ и заданная $t_{\text{дзад}}^{\text{бл}}$;
- расход холодного воздуха на подмешивание текущий $F_{\text{хв}}^{\text{бл}}$ и заданный $F_{\text{хвзад}}^{\text{бл}}$;
- расход горячего дутья на выходе из блока текущий $F_{\text{д}}$ и заданный $F_{\text{дзад}}$;
- калорийность высокотемпературной добавки $Q_{\text{доб}}$.

Также на вход системы подаются параметры, которые могут изменяться в зависимости от ВН:

- текущий режим работы каждого ВН;
- расход воздуха на горение текущий $F_{\text{вг}}$ и заданный $F_{\text{вгзад}}$;
- расход топлива текущий $F_{\text{т}}$ и заданный $F_{\text{тзад}}$;
- расход высококалорийной добавки текущий $F_{\text{д}}$ и заданный $F_{\text{дзад}}$;
- температура купола текущая $t_{\text{к}}$ и заданная $t_{\text{кзад}}$;
- температура дыма текущая $t_{\text{д}}$ и заданная $t_{\text{дзад}}$;
- калорийность топлива текущая $Q_{\text{т}}$ и заданная $Q_{\text{тзад}}$;
- состояние ВН;
- наличие пламени для каждого ВН.

Выходными параметрами данной системы являются:

- управляющие воздействия на исполнительные механизмы;
- изменение заданных значений для локальных систем регулирования

- сигналізація аварійних ситуацій;
- різні графіки і звіти.

Система автоматизації для зручності розробки розділена на модулі:

- основний модуль, який визначає режими роботи для кожного ВН і задані значення локальних систем управління;
- модулі, завданням яких є реалізація одного з режимів роботи ВН (нагрів, дутьє, відділення);
- модуль для розрахунку передбачуваного часу нагріву і охолодження ВН (в межах даної статті не розглядається);
- модуль для реалізації алгоритму перекидки клапанів (в межах даної статті не розглядається).

Алгоритм роботи основного модуля зображено на рисунках 1 і 2.

На вхід програми поступають дані про стан агрегату, показання датчиків і пр. Детальний перелік вхідних даних наведено в початку статті.

Потім починається виконання циклу, в якому обробляються всі ВН, що входять до складу блоку. В циклі для кожного ВН перевіряється, в якому режимі він в даний момент знаходиться і, залежно від цього, здійснюється управління цим ВН. Усього передбачено 4 режими:

- нагрів (в ВН споживається паливо, нагрівається насадка);
- дутьє (через насадку пропускається холодний повітря, нагрівається при цьому);
- відділення (нагрітий ВН відокремлений від системи і очікує постановки на дутьє);
- ремонт (ВН відключений від системи і не бере участю в процесі).

В залежності від складності завдання управління, окремі частини програми виведені в окремі модулі. Перелік таких модулів наведено в початку статті.

Далі в програмі здійснюється перевірка поточного режиму, в якому знаходиться ВН.

Якщо ВН знаходиться в режимі дутьє, перевіряється досягла ли температура дутьє на виході ВН $t_{д}^{бл}$ заданої величини $t_{дзад}^{бл}$. Якщо ні, ВН продовжує працювати в режимі дутьє.

Якщо температура дутьє на виході ВН опустилася до заданої (холодне повітря більше не підмешується), здійснюється пошук наступного справного ВН і переведення його в режим дутьє. Це необхідно для виключення з алгоритму агрегатів, що знаходяться в ремонті.

Потім здійснюється розрахунок передбачуваного часу нагріву поточного ВН і визначення моменту часу, до якого він повинен бути нагріт. Цей момент часу розраховується виходячи з прогнозу часу остигання ВН, що знаходяться в черзі перед поточним. На основі цих величин розраховується час включення на нагрів поточного ВН $\tau_{пi}$.

Дана підсистема реалізована в формі моделі і в даній статті не розглядається.

Якщо момент часу, в який потрібно перевести знайдений ВН на нагрів $\tau_{пi}$ вже настав, здійснюється переведення знайденого ВН в режим нагріву. Якщо цей момент ще не настав, знайдений ВН переводиться в режим відділення.

Якщо ВН знаходиться в режимі нагріву, перевіряється температура диму $t_{дi}$ на виході цього повітрянагрівача. Якщо вона досягла заданої максимальної величини $t_{дiзад}$, здійснюється переведення даного ВН в режим відділення. Це необхідно з метою запобігання збільшенню зносу і внаслідок цього порушення конструкції основи ВН.

Якщо температура диму на виході ВН не досягла максимального значення, обробляє підсистема нагріву ВН. Блок-схема і опис даної підсистеми наведені нижче.

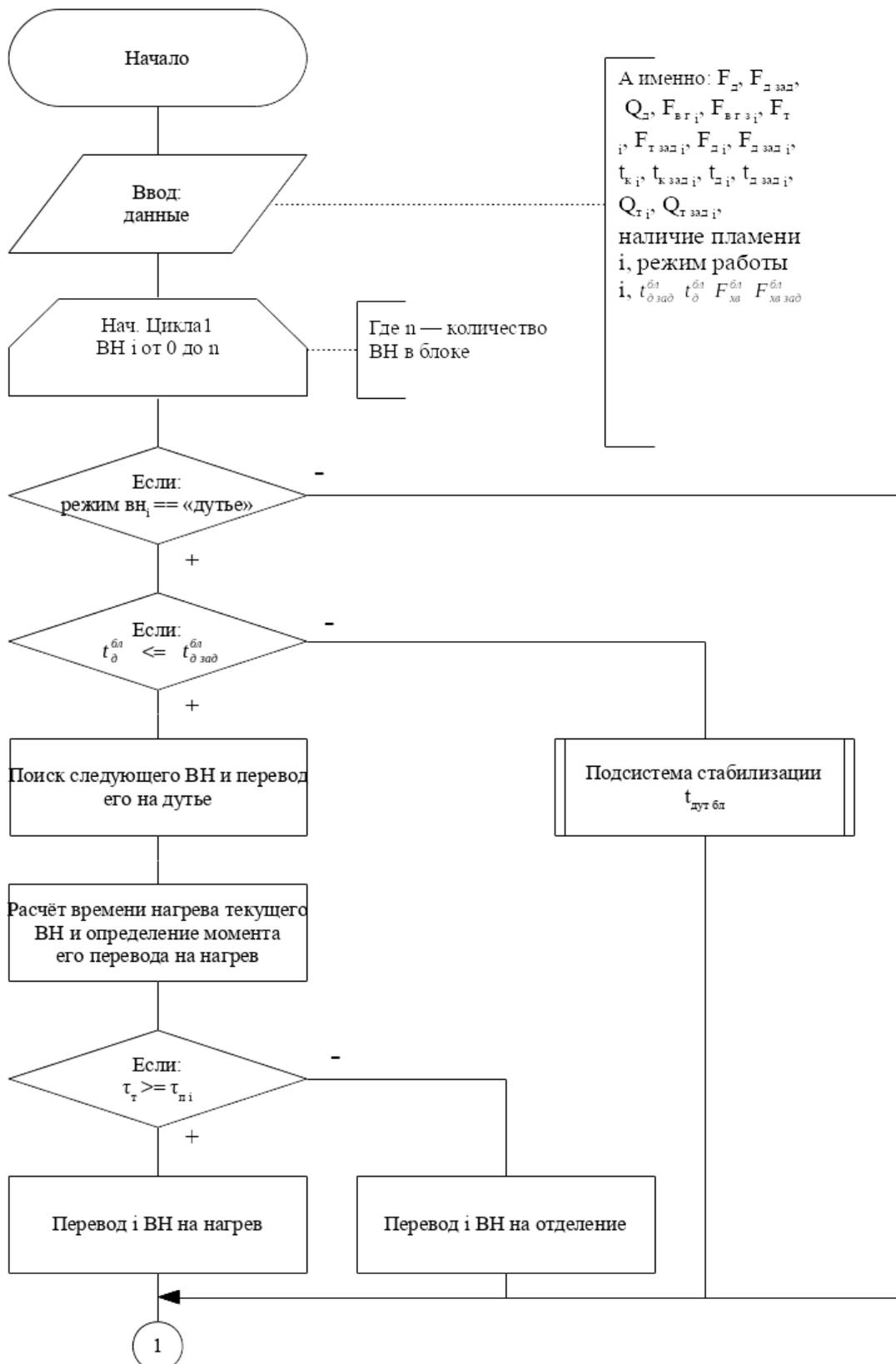


Рис 1 — Блок-схема алгоритма управления блоком ВН (начало).

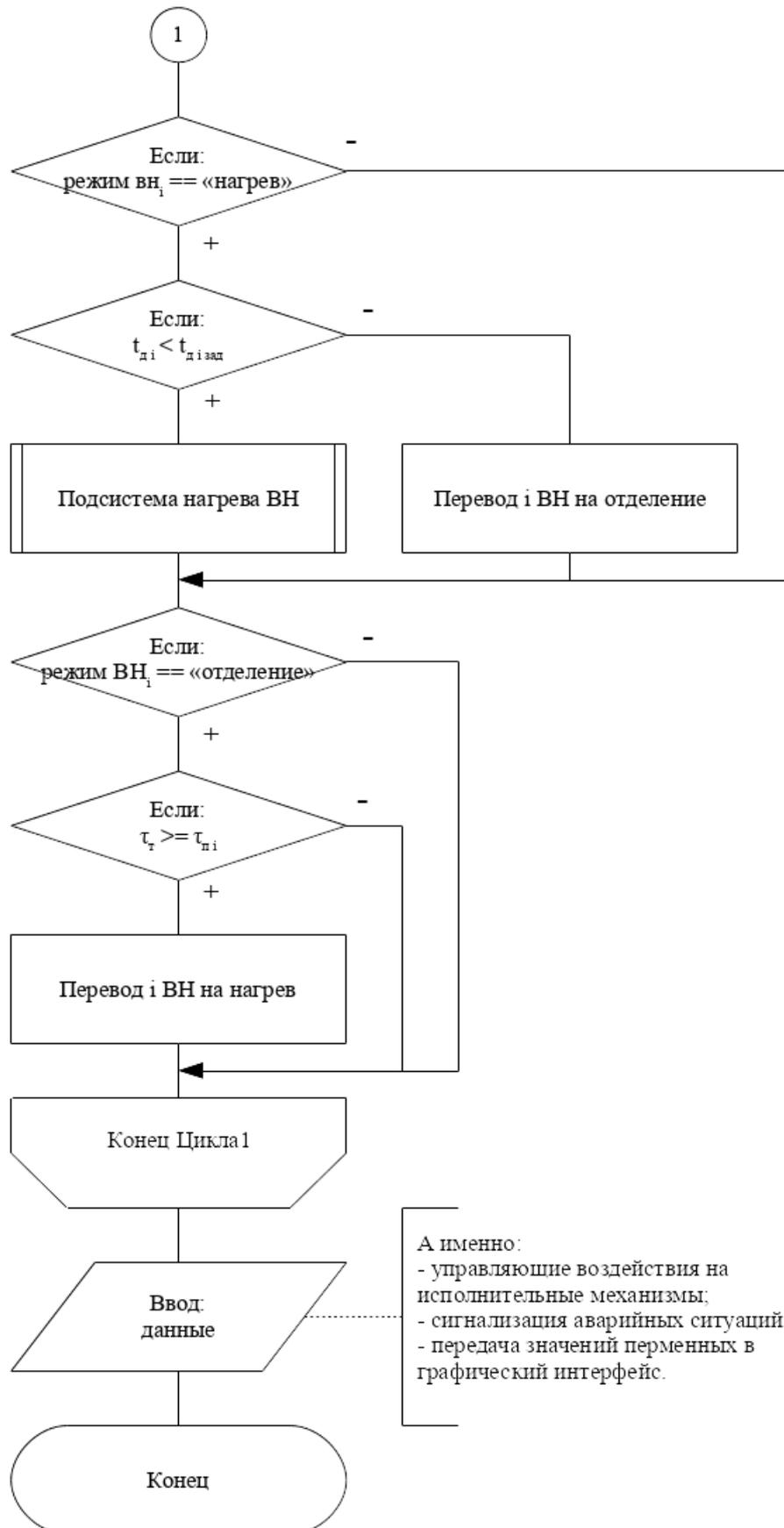


Рис 2 — Блок-схема алгоритма управления блоком ВН (конец).

Если ВН находится в режиме отделения, производится проверка того, наступило ли уже время перевода ВН на нагрев $\tau_{\text{пн}}$. Если это время наступило, ВН переводится в режим нагрева. Если нет, ничего не происходит.

Для ВН, находящихся на ремонте не предусмотрено отдельных проверок, но т. к. весь управляющий код уже заключён в соответствующие проверки, данные ВН просто пропускаются. Для того, чтобы не ставить их на нагрев предусмотрена подсистема поиска исправного ВН.

После окончания цикла, осуществляющего перебор ВН, оператору выдаются рекомендации по управлению блоком, и о текущем состоянии агрегата, информация о выработанных управляющих воздействиях записывается в базу данных и сами управляющие воздействия подаются на исполнительные механизмы.

Алгоритм работы модуля, реализующего нагрев ВН, изображён на рисунках 3, 4.

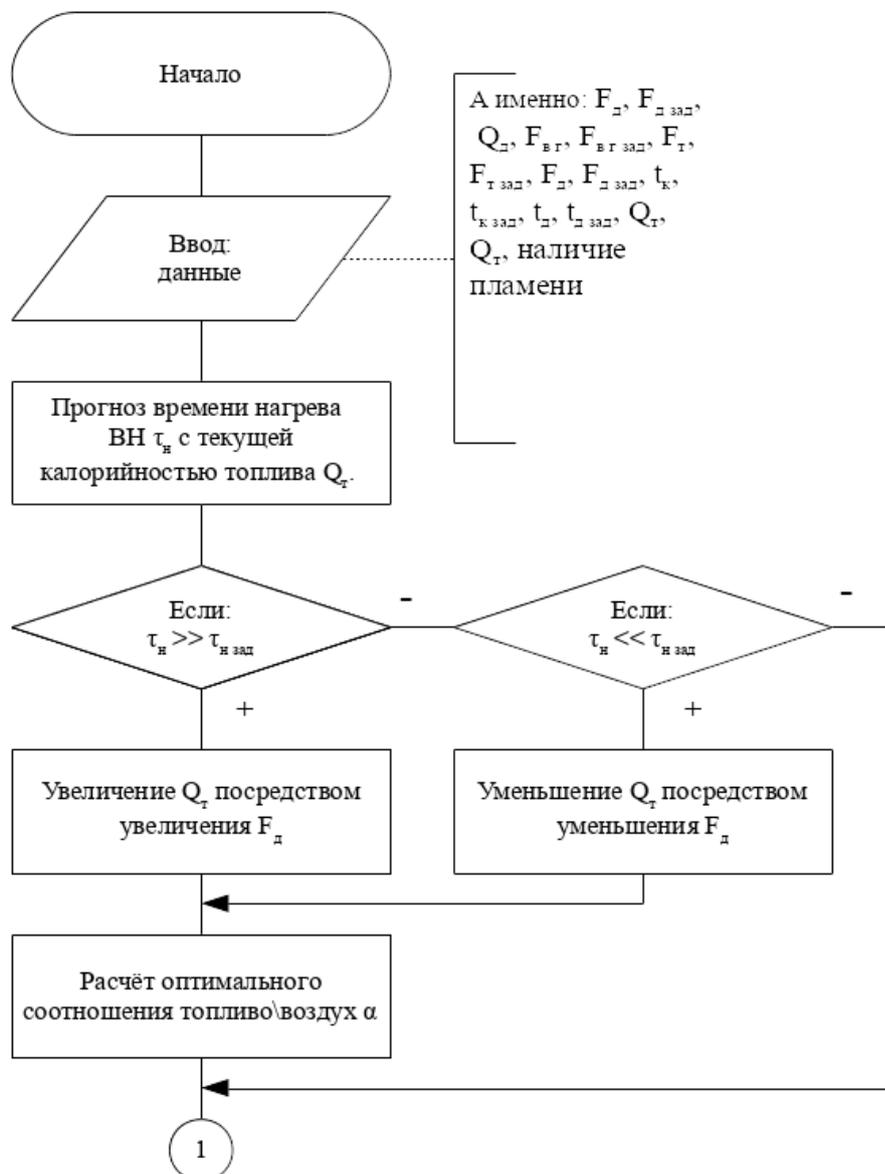


Рис 3 — Блок-схема алгоритма управления нагревом ВН (начало).

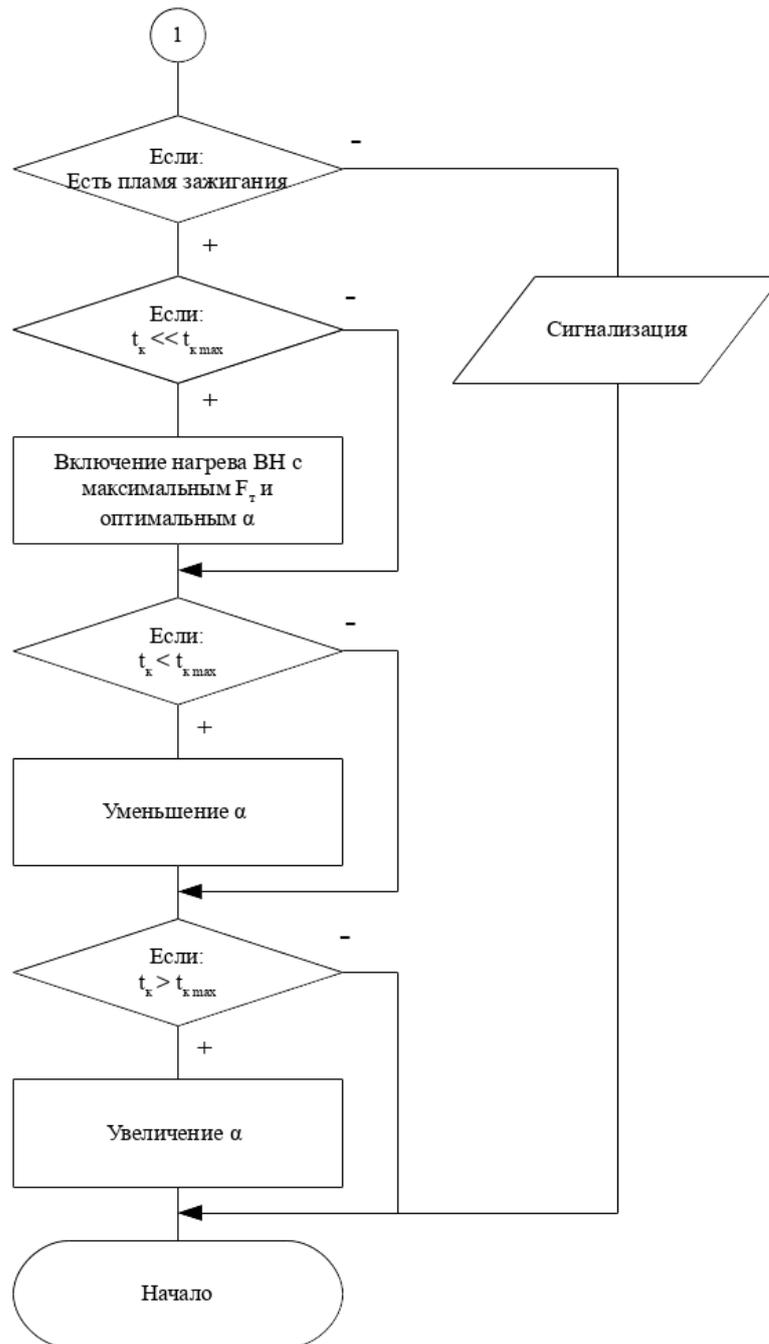


Рис 4 — Блок-схема алгоритма управления нагревом ВН (конец).

На вход программы поступают данные о состоянии агрегата, показания датчиков и информация из базы данных.

Затем производится расчёт длительности нагрева ВН τ_n при текущей калорийности топлива Q_T . Если прогнозируемая длительность нагрева τ_n сильно больше заданного $\tau_{зад}$, калорийность топлива Q_T повышается путём увеличения расхода высоко калорийной добавки F_d .

Если прогнозируемая длительность нагрева τ_n сильно меньше заданного $\tau_{зад}$, калорийность топлива Q_T повышается путём увеличения расхода высоко калорийной добавки F_d .

Далее проверяется наличие пламени на горелке. Если пламени нет, производится сигнализация об отсутствии пламени.

Если пламя есть, производится проверка текущей температуры купола ВН t_k . Если она сильно меньше заданной t_{kmax} , соотношение топливо\воздух α принимается оптимальным, а расход топлива F_T максимально возможным.

Если температура купола t_k меньше заданной t_{kmax} , соотношение топливо-воздух α уменьшается.

Если температура купола t_k больше заданной t_{kmax} , соотношение топливо-воздух α увеличивается.

Если температура купола t_k равна заданной t_{kmax} , соотношение топливо-воздух α остаётся неизменным.

Далее производится расчёт оптимального соотношения топливо\воздух α с учётом изменения калорийности топлива на предыдущем этапе.

Для проверки работы системы была разработана программа, включающая модель блока ВН и систему управления, работающую на данной модели.

Внешний вид данной программы представлен на рисунке 5.

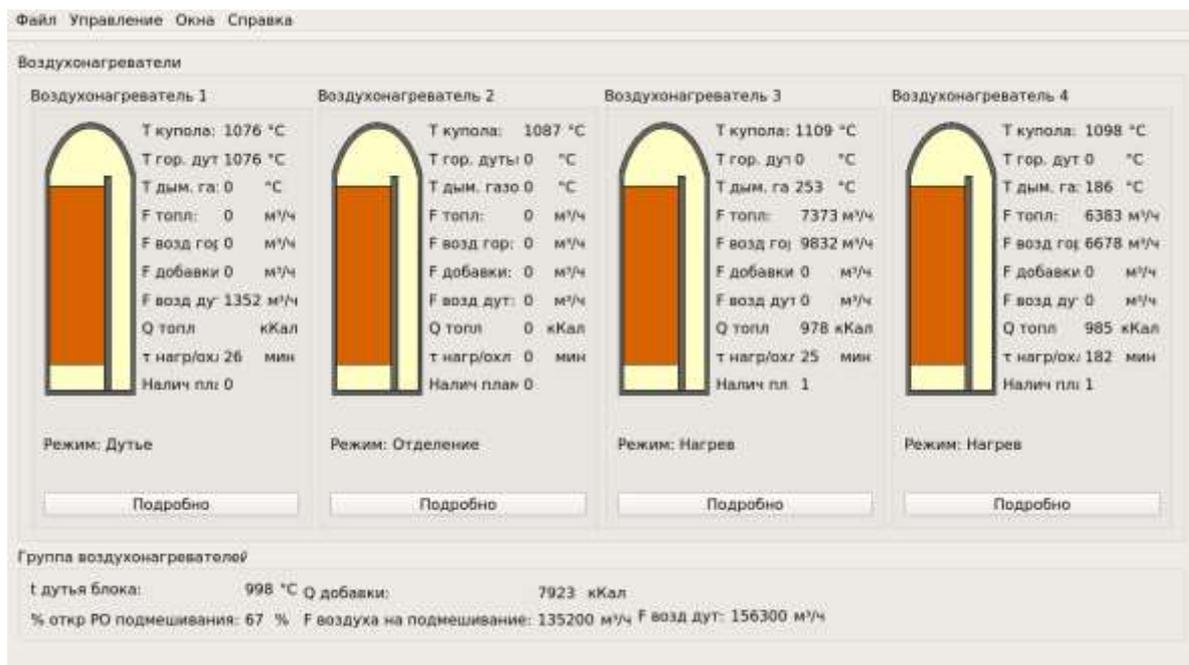


Рис 5 — Интерфейс программы, реализующей алгоритм управления блоком ВН.

На главном окне программы видно текущее состояние блока ВН. По нажатию на кнопку «Подробнее» под воздухонагревателем можно узнать и задать более подробную информацию о нём, а именно состояние ВН, его размеры, параметры, которые не поместились на основной экран и заданные значения параметров для ручного режима и т.д.

Проверка системы на данной программе подтвердила её работоспособность и достаточную эффективность.

В результате данной работы был разработан достаточно простой алгоритм управления группой ВН, не требующий больших вычислительных мощностей и значительной модернизации технологических агрегатов. Также разработана программа, позволяющая проверить работу данной системы на математической модели блока ВН.

ВЫВОДЫ

Проведён анализ существующих работ в данном направлении.

Разработан алгоритм, реализующий с помощью прогнозирования времени нагрева/остывания насадки управление работой блоком ВН, позволяющий уменьшить простой нагретых ВН, т. е. потери тепла.

Реализована программа, позволяющая применить данную систему управления к математической модели блока ВН.

Список использованных источников:

1. Андреев С.М. Оптимизация режима нагрева воздухонагревателей доменных печей / С.М. Андреев, Б.Н. Парсункин // Известия вузов. Черная металлургия. – 2004. – № 7. – С. 33 – 37.
2. Трофимов В.Б. О разработке интеллектуальной автоматизированной системы управления тепловым режимом воздухонагревателя Калугина на основе распознавания состояний объекта / В.Б. Трофимов, А.И. Суродин // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве (ТИМ-2015). Сб. докл. – Екатеринбург, 2015. – С. 432 – 436.
3. Романенко В. И., Марченко А. И., Позинцев И. М. и др. К вопросу оптимизации теплового режима работы воздухонагревателей доменных печей // Металлургическая и горнорудная промышленность. 2009. № 3. С. 58 – 60.
4. Huang Zhaojun, Bai Fengshuang, Zhuang Bin et al., Flow Set and Control Expert System of Hot Stoves for Blast Furnace, Metallurgical Automation, no. 5, 2002, pp. 38-40.
5. Ma Zhuwu, Lou Shengqiang, Li Gang et al., The Intelligence Burning Control of the Hot Stove of Lianyuan Iron & Steel Group Co., Metallurgical Automation, no. 4, 2002, pp. 11-15.
6. Yaowu Tang Hot blast stove temperature control system based on neural network predictive control / Yaowu Tang, Xiang Liu // Applied Mechanics and Materials. – 2015. – Vol. 709, – pp. 281-284.
7. Яковлев С.А. Обобщенная модель системы ситуационного интеллектуально-агентного моделирования / С.А. Яковлев, А.А. Суконщиков // Информационно-управляющие системы. – 2010. – № 2. – С. 9 – 14.
8. Вовк Л.А. Моделирование переходов между эталонными ситуациями в сложных системах в условиях неопределенности / Л.А. Вовк, С.П. Гинис // Известия Южного федерального университета. Технические науки. – 2013. № 2. С. 116–122.
9. Патент України 98080, МПК С21В 9/14 G05В 15/00. Система автоматичного регулювання температури гарячого дуття / Койфман О.О., Кравченко В.П., Сімкін О.І., Кобиш О.І. – № 201106165 ; заявл. 17.05.11 ; опубл. 10.04.12, Бюл. № 7.

Поліщук А.О., Симкин А.І., Койфман О.О., Юзвенко С.В.

ПІДСИСТЕМА УПРАВЛІННЯ БЛОКОМ ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ АСУТП ВИПЛАВКИ ЧАВУНУ В ДОМЕННІЙ ПЕЧІ

У даній статті описана робота підсистеми автоматичного управління блоком повітрянагрівачів доменної печі. Проведено аналіз існуючих на даний момент рішень. Описано алгоритм роботи підсистеми, його вхідні і вихідні дані.

Підсистема розділена на модулі і складається з головного модуля, в якому реалізований алгоритм вибору режиму роботи повітрянагрівачів, модуля для розрахунку тривалості нагрівання та охолодження нагрівача і підмодулів, відповідальних за реалізацію різних режимів роботи повітрянагрівача. Також в окремий модуль винесена підсистема перекидання клапанів між режимами.

Модуль прогнозування нагріву і охолодження повітрянагрівача і модуль перекидання клапанів реалізовані окремо і в рамках даної статті їх структура не описується.

У модулі, в якому закладений алгоритм нагріву повітрянагрівача, реалізований алгоритм мінімальної витрати висококалорійної добавки для досягнення оптимального часу нагріву повітрянагрівача.

Для цього виконується розрахунок прогнозованого часу нагріву повітрянагрівача при поточній калорійності палива. Якщо час нагрівання повітрянагрівача менше заданого, можна зменшити витрату висококалорійної добавки. Якщо повітрянагрівач при поточній калорійності палива нагріється із запізненням, витрата висококалорійної добавки збільшується.

Питання автоматизації доменних кауперів широко висвітлений в сучасних роботах, але останні вимагають або модернізації існуючих агрегатів або досить великих обчислювальних ресурсів.

В даній статті запропонована досить проста система управління, яка може бути впроваджена на існуючих агрегатах без їх суттєвої модернізації і не вимагає великого обсягу обчислень для своєї роботи. При цьому вона забезпечує достатній ефект.

Ключові слова: *автоматична система управління, блок повітрянагрівачів, доменний повітрянагрівач, співвідношення паливо/повітря, дуття, температура купола, висококалорійна добавка.*

Polishchuk A.A., Simkin A.I., Koifman A.A., Yuzvenko S.V.

SUBSYSTEM OF CONTROL UNIT OF AIR HEATERS OF APCS OF SMELTING OF CAST IRON IN A BLAST FURNACE

This article describes the operation of the automatic control unit of a blast furnace air heater unit. The analysis of the solutions currently existing. The subsystem operation algorithm, its input and output data are described.

The subsystem is divided into modules and consists of the main module, which implements an algorithm for choosing the operating mode of the air heaters, a module for calculating the duration of heating and cooling of the air heater and the submodules responsible for the implementation of various operating modes of the air heater. Also, in a separate module, the valve transfer subsystem between the modes is taken out.

The module for predicting the heating and cooling of the air heater and the valve transfer module are implemented separately and their structure is not described in the framework of this article.

The module, in which the algorithm for heating the air heater is laid down, implements the algorithm for the minimum consumption of high-calorie additives to achieve the optimal heating time for the air heater.

For this, the calculation of the predicted heating time of the air heater at the current calorific value of the fuel is performed. If the heating time of the heater is less than the set, you can reduce the consumption of high-calorie additives. If the heater at the current caloric value of the fuel heats up late, the consumption of high-calorie additives increases.

The issue of automation of domain coolers is widely covered in modern works, but the latter require either modernization of existing units or sufficiently large computing resources.

This article proposes a fairly simple control system that can be implemented on existing units without significant modernization and does not require a large amount of computation for its work. At the same time, it provides a sufficient effect.

Keywords: *automatic control system, air heater block, blast furnace heater, fuel / air ratio, blast, dome temperature, high-calorie additive.*

Прийнято

Рекомендовано

УДК 004.42

Тузенко О. О., Міроненко Д. С., Базилев Д. І.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ЗАМОВЛЕНЬ ПО МАЙСТРАМ В ЦЕНТРИ З РЕМОНТУ ТА ОБСЛУГОВУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ

Проведено аналіз предметної області, який показав, що розподіл завдань по майстрам в центрі сервісного обслуговування зводиться до вирішення завдання багатокритеріальної оптимізації. Визначено, що ступень придатності майстра до виконання завдання залежить від: тривалості циклу ремонту обладнання, завантаженості майстра, доходу сервісного центру від виконання замовлення, кваліфікація майстра.

Розроблено математичну модель у вигляді системи нерівностей, яку пропонується вирішити за допомогою системи нечіткого виводу алгоритмом Мамдані. Наведено алгоритм нечіткого виводу. На виході моделі ми отримуємо показник «Ступінь придатності майстра до виконання завдання». Для визначення якого були обчислені кількісні та якісні показники та їх математичне обґрунтування.

Розроблена модель дозволяє враховувати як чіткі чисельні показники так і нечіткі поняття і знання (асоціативні поняття людини - лінгвістичні терміни), оперувати цими знаннями і робити нечіткі висновки. Отримана модель може бути використана в різноманітних програмних системах прийняття рішень при незначному доопрацюванні.

При порівнянні характеристик часу виконання основних робіт можливо побачити, що деякі роботи змінили час суттєво («розподіл замовлень», «формування наряд завдань», «заміна запчастини»), а деякі зовсім не змінилися («замовлення запчастини») це можна пояснити, так що від майстрів не залежить час виконання цієї роботи, вона залежить від відділу постачання. Впровадження моделі дозволить зменшити загальний час виконання ремонтних робіт на 140 хвилин, що дорівнює 2 години 20 хвилин при обробці одного замовлення, загальну завантаженість майстра знизити на 24%. Порівняльна