

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ДНІПРОВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

КОБИШ ОЛЕНА ІВАНІВНА

УДК 65.011.56(043.3)

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ  
ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ  
ЛОГІКИ**

Спеціальність 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування»

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2019

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизації і комп'ютерних технологій Державного вищого навчального закладу «Приазовський державний технічний університет» Міністерства освіти і науки України (м. Маріуполь).

**Науковий керівник:**

кандидат технічних наук, доцент

**Сімкін Олександр Ісакович**

Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет» (м. Маріуполь) Міністерства освіти і науки України,

завідувач кафедри автоматизації і комп'ютерних технологій.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Головко В'ячеслав Ілліч**, завідувач кафедри автоматизації виробничих процесів Національної металургійної академії України (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України;

кандидат технічних наук, доцент

**Герасіна Олександра Володимирівна**, доцент кафедри безпеки інформації та телекомунікацій НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) Міністерства освіти і науки України.

Захист дисертації відбудеться « 28 » лютого 2019 р. о 13 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.07 при Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19. тел.47-24-11.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» за адресою: 49005, м. Дніпро, пр. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий « 26 » січня 2019 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 08.080.07

доктор технічних наук, професор

В.І. Корнієнко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** У зв'язку з тим, що останнім часом отримала широкого поширення практика вдування в доменну піч пиловугільного палива як альтернативи коксу, загальна кількість і калорійність доменного газу, який використовується як основне паливо при нагріві доменних повітрянагрівачів, істотно знизилася. Для забезпечення безперервної подачі в доменну піч дуття заданої температури і заданого обсягу необхідно передавати насадці достатню кількість тепла під час нагріву насадки. З метою підвищення загальної теплоти згорання палива до доменного газу може бути додана висококалорійна складова, в ролі якої найбільш часто виступає природний чи коксовий газ. Тому доцільним стає керування нагрівом насадки повітрянагрівача таким чином, щоб мінімізувати загальні витрати на паливо та втрати тепла з газами, що покидають насадку, за час нагріву.

Питанням розробки технічного, алгоритмічного та програмного забезпечення автоматизованих систем керування процесом виплавки чавуну в доменній печі присвятили роботи українські та зарубіжні вчені: Смоляк В.О., Рамм О.Н., Похвиснев А.Н., Головка В.І., Трофимов В.Б., Jinsheng Sun. В процесі керування роботою групи повітрянагрівачів існує ймовірність виникнення виробничих ситуацій, при яких з'являється необхідність оперативного внесення коректив в алгоритм керування нагрівом насадки кожного повітрянагрівача групи. Прикладами таких ситуацій можуть бути недостатня поточна калорійність та недостатній поточний обсяг доменного газу, при цьому виникає необхідність застосування кількох сценаріїв керування нагрівом насадки, кожен з яких обумовлений певними особливостями роботи групи повітрянагрівачів.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** В основу дисертаційної роботи покладені матеріали, які узагальнюють дослідження автора в рамках реалізації науково-дослідної роботи спільно з ПАТ «МК» АЗОВСТАЛЬ» «Обстеження стану блоку повітрянагрівачів ДП 3 і оптимізація режимів його роботи», 2010-2012 (госпдоговір на НДР, договір № 07/014Д від 01.01.2010).

Дисертаційна робота виконана відповідно до досліджень за держбюджетними НДР: «Розробка математичних моделей технологічних процесів та використання нейротехнологій» (№ держреєстрації 0112U005766), «Системи автоматизованого управління технологічними процесами з використанням сучасних математичних методів» (№ держреєстрації 0113U006286), «Використання математичних моделей в системах управління різного ступеня складності» (№ держреєстрації 0114U4004910), «Сучасні методи та алгоритми побудови систем автоматизації технологічних процесів з використанням математичних моделей» (№ держреєстрації 0115U004951), у яких автор брав участь як виконавець.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності процесу стабілізації температури доменного дуття в умовах низької калорійності доменного газу шляхом розробки методу керування процесами нагріву насадки кожного повітрянагрівача групи і нагріву доменного дуття на основі оцінки тривалості поточного періоду роботи повітрянагрівачів і використання дерева прийняття рішень з урахуванням поточних значень параметрів доменного газу.

Для досягнення поставленої мети виникла необхідність вирішення наступних завдань:

- виконати аналіз технологічного процесу нагріву дуття і особливостей керування роботою групи доменних повітрянагрівачів для виявлення пріоритетних завдань автоматизації процесу керування групою повітрянагрівачів доменної печі в поточних виробничих умовах;

- побудувати математичні моделі нагріву та охолодження насадки та розробити програмне забезпечення підсистеми математичного моделювання роботи доменних повітрянагрівачів, яке виконує розрахунки теплового балансу насадки і горіння палива для оцінки параметрів газу-теплоносія при вході в насадку;

- розробити підсистему оцінки тривалості поточного періоду роботи доменного повітрянагрівача на основі ідентифікованої нечіткої бази знань з метою використання результатів роботи означеної підсистеми в процесі керування нагрівом насадки;

- розробити підсистему керування нагрівом насадки на основі ідентифікованих нечітких баз знань для розрахунку і видачі заданих значень в локальні системи автоматичного регулювання калорійності паливної суміші та витрати палива;

- реалізувати дерево прийняття рішень для оперативного вибору нечіткої бази знань керування нагрівом насадки в поточних умовах роботи групи повітрянагрівачів та оцінити якість функціонування системи ситуаційного керування з врахуванням витрати палива, відхилення в часі при зміні періодів роботи та втрати тепла з димовими газами.

**Об'єкт дослідження** – процес нагріву дуття в доменних повітрянагрівачах.

**Предмет дослідження** – автоматизована система керування процесом нагріву повітря в повітрянагрівачах доменної печі на основі нечітких баз знань.

**Методи досліджень.** У дисертаційній роботі використано чисельні методи рішення систем диференціальних рівнянь для математичного моделювання нагріву та охолодження насадки доменного повітрянагрівача, метод розрахунку горіння палива для визначення параметрів газу-теплоносія в процесі нагріву насадки, метод розрахунку теплового балансу регенеративного теплообмінника для оцінки адекватності математичних моделей нагріву та охолодження насадки, методи теорії автоматичного керування для стабілізації температури купола в процесі нагріву насадки, методи структурної та параметричної

ідентифікації нечітких баз знань на основі методів теорії нечітких множин для рішення задач оцінки тривалості режимів роботи доменного повітрянагрівача та керування режимом нагріву насадки, методи інтелектуального аналізу даних для екстракції асоціативних правил та побудови нечітких баз знань, методи умовної багатомірної оптимізації для налаштування нечітких моделей, методи багатокритеріальної оптимізації для керування роботою групи доменних повітрянагрівачів, методи прийняття рішень на основі бінарних дерев для визначення поточної ситуації.

**Наукові положення, що виносяться на захист.**

– оперативна оцінка тривалості поточного періоду роботи повітрянагрівача на основі нечіткої бази знань забезпечує зниження сумарної витрати висококалорійної добавки до палива.

– досягнення заданого режиму чергування періодів роботи повітрянагрівачів доменної печі здійснюється шляхом використання дерева прийняття рішень, заснованого на ідентифікованих нечітких базах знань, що дозволяє стабілізувати температуру доменного дуття в умовах низької калорійності та обсягу доменного газу.

**Наукова новизна отриманих результатів.**

1. Вперше запропоновано чисельні двомірні математичні моделі нагріву та охолодження насадки повітрянагрівача з дробленням часового кроку в залежності від швидкості руху газу-теплоносія як функції висоти насадки, що за рахунок визначення дійсного об'єму газу, який бере участь у теплообміні з насадкою, та зменшення розбіжності теплового балансу нагріву та охолодження насадки дозволяє керувати нагрівом насадки, враховуючи розподіл тепла за висотою насадки та товщиною її блоків.

2. Вперше запропоновано використання результатів оцінки тривалості режиму нагріву дуття при керуванні нагрівом насадки повітрянагрівача, що дозволяє досягти необхідних температур насадки на момент переведення повітрянагрівача в режим нагріву дуття.

3. На основі ситуаційного аналізу роботи групи повітрянагрівачів розроблена підсистема керування нагрівом насадки у складі АСКТП виплавки чавуну в доменній печі з використанням дерева прийняття рішень та нечітких баз знань, налаштованих за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації цільової функції, обраної за пріоритетною стратегією керування, що дозволяє оперативно корегувати задане значення в локальні системи регулювання.

4. Запропоновано нормалізований адитивний критерій оцінки якості функціонування системи ситуаційного керування роботою групи повітрянагрівачів, який враховує сумарні витрати на паливо, втрати тепла з димовими газами та своєчасність перемикання режимів роботи повітрянагрівачів, що дозволяє оцінювати якість роботи алгоритмів керування групою повітрянагрівачів з точки зору поточної виробничої ситуації.

**Обґрунтованість та достовірність наукових положень та результатів.**

Наукові положення і висновки дисертації обґрунтовані результатами перевірки

статистичної гіпотези про адекватність імітаційної моделі на основі даних, отриманих в процесі функціонування групи доменних повітрянагрівачів; достовірністю математичних моделей нагріву та охолодження насадки з розбіжністю теплового балансу не більше 2%; точністю моделі оцінки тривалості поточного періоду на основі нечіткої бази знань з помилкою ідентифікації не більше 5%; результатами оцінки якості керування групою повітрянагрівачів доменної печі зі зниженням витрати висококалорійної добавки до палива на 1000-2500 м<sup>3</sup> за період нагріву насадки повітрянагрівача.

**Практичне значення одержаних результатів.** Запропоновано алгоритм керування роботою групи доменних повітрянагрівачів на основі дерева прийняття рішень та теорії нечітких множин з розробкою відповідного програмного забезпечення, функціонування якого у складі АСКТП виплавки чавуну в доменній печі дозволить підвищити ефективність стабілізації температури доменного дуття.

Результати дисертаційної роботи розглянуті технічними радами ТОВ «ГІПРОМЕЗ» та ТОВ НПП «Азовчерметавтоматика» на предмет використання в межах реконструкції системи автоматизації групи доменних повітрянагрівачів в комплексі доменних печей ПАТ «МК «АЗОВСТАЛЬ». Результати досліджень використовуються в навчальному процесі ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» на кафедрах «Металургія чавуну» і «Автоматизація і комп'ютерні технології» при підготовці бакалаврів та магістрів за спеціальностями 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 136 «Металургія».

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційних досліджень доповідалися та обговорювалися на: XII Міжнародній науково-технічній конференції аспірантів та студентів «Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих» (м. Донецьк, 2012), Міжнародних науково-технічних конференціях «Університетська наука» (м. Маріуполь, 2012, 2014-2016), Міжнародній науково-практичній конференції «Автоматизація і комп'ютерні технології» (м. Маріуполь, 2012), Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми енергоресурсозбереження в промисловому регіоні. Наука і практика» (м. Маріуполь, 2015), Сьомій Всеукраїнській науково-технічній конференції студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна 2016» (м. Дніпропетровськ, 2016), III Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2016» (м. Київ, 2016), Міжнародних науково-технічних Internet-конференціях «Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами» (м. Київ, 2016, 2017).

**Публікації.** За результатами наукових досліджень опубліковано 23 роботи, з них: 5 у фахових виданнях, 1 стаття в журналі, включеному до науко-

метричної бази Scopus, 1 стаття в журналі, включеному до науко-метричної бази Index Copernicus, 1 патент, 15 тез доповідей на конференціях.

**Особистий внесок автора.** Всі наукові положення та результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно. Автором запропоновані математичні моделі нагріву та охолодження насадки доменного повітрянагрівача з дробленням часового кроку, виконано структурну та параметричну ідентифікацію нечітких баз знань оцінки тривалості поточного режиму та керування нагрівом насадки, сформовано структуру дерева прийняття рішень, на основі чого розроблено програмне забезпечення системи ситуаційного керування роботою групи повітрянагрівачів.

**Структура і обсяг дисертаційної роботи.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів і висновків, викладених на 169 сторінках машинописного тексту, ілюстрованого 35 рисунками. Робота містить 7 таблиць, список використаної літератури із 120 найменувань на 11 сторінках і 8 додатків.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність роботи, сформульовані мета і задачі досліджень, наведений зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Викладені новизна та практична цінність, наведено відомості про рівень апробації одержаних результатів досліджень та кількість публікацій за тематикою дисертаційної роботи. Зазначений особистий внесок здобувача.

**Перший розділ** охоплює питання опису конструктивних особливостей доменного повітрянагрівача (ПН) як регенеративного теплообмінника, розгляд технологічних операцій режиму нагріву насадки та режиму нагріву дуття, а також аналіз режимів роботи групи ПН. У розділі проаналізовано існуючі підходи до математичного моделювання нагріву та охолодження насадки, запропоновано здійснювати дроблення часового відрізка розрахунків моделі для кожного шару за висотою насадки в залежності від швидкості газу-теплоносія як параметра, яким визначається дійсний обсяг газу, що бере участь у теплообміні з відповідним шаром насадки за фіксований проміжок часу.

В результаті аналізу існуючих систем керування режимом нагріву насадки ПН виявлено, що єдиним каналом керуючих впливів є зміна параметрів газу-теплоносія, що надходить до насадки, а саме температури та витрати. Основними виявленими недоліками існуючих систем автоматичного керування нагрівом насадки ПН є неспроможність врахування наявного часу на нагрів насадки, а також відсутність можливості оперативної зміни алгоритму керування при зміні поточних виробничих умов функціонування групи ПН. Також у розділі розглянуто сучасні методи оцінки тривалості режиму нагріву дуття та виявлено доцільність розробки підсистеми оцінки тривалості поточного режиму на основі теорії нечітких множин. В результаті обґрунтування рішень вищевказаних питань у першому розділі сформульовані мета і завдання дослідження.

У другому розділі розроблено математичну модель роботи ПН з урахуванням залежностей, що характеризують фізичні процеси регенеративного теплообміну, та досліджено збіжність теплового балансу роботи ПН. Вихідними даними розрахунку горіння палива є: вид та теплота згорання палива, а також температури підігріву повітря і газу. В результаті розрахунку горіння палива визначаються температура, обсяг та склад продуктів згорання, які надходять до насадки ПН. Математично процес теплообміну між газом-теплоносієм та насадкою являє собою систему рівнянь вигляду:

$$\left\{ \begin{array}{l} c_2 V_2 \frac{dT_2}{d\tau} = -\alpha F_1 (T_2 - T_1), \\ c_1 \rho V_1 \frac{dT_1}{d\tau} = \alpha F_1 (T_2 - T_1) + \frac{\chi_1}{\delta} (T_2 - T_1) F_2, \\ \vdots \\ c_i \rho V_i \frac{dT_i}{d\tau} = \frac{\chi_i}{\delta} F_i (T_{i-1} - T_i) + \frac{\chi_i}{\delta} (T_{i+1} - T_i) F_{i+1}, \\ \vdots \\ c_n \rho V_n \frac{dT_n}{d\tau} = \frac{\chi_n}{\delta} F_n (T_{n-1} - T_n), \end{array} \right. \quad (1)$$

де  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі газу,  $\frac{Вт}{м^2 \cdot К}$ ,  $V_2$  - об'єм газу,  $м^3$ ,  $V_i$  - об'єм  $i$ -того шару насадки за товщиною,  $м^3$ ,  $\rho$  - щільність насадки,  $\frac{кг}{м^3}$ ,  $c_2$  - теплоємність газу,  $\frac{Дж}{м^3 \cdot К}$ ,  $c_i$  - теплоємність  $i$ -того шару насадки за товщиною,  $\frac{Дж}{м^3 \cdot К}$ ,  $\chi_i$  - коефіцієнт теплопровідності  $i$ -того шару насадки за товщиною,  $\frac{Вт}{м \cdot К}$ ,  $\delta$  - крок за товщиною насадки,  $м$ ,  $T_2$  - температура газу,  $^{\circ}С$ ,  $T_i$  - температура  $i$ -того шару насадки за товщиною,  $^{\circ}С$ ,  $F_i$  - поверхня теплообміну  $i$ -того шару насадки за товщиною,  $м^2$ ;

Висота насадки ПН розбивається на певну кількість ділянок, для кожної з яких вирішується система рівнянь (1). Перше рівняння в системі (1) описує теплообмін між газом-теплоносієм і поверхнею насадки. Друге рівняння в системі є описує баланс тепла для поверхні насадки. Наступні рівняння характеризують баланс тепла для кожного  $i$ -того шару за товщиною насадки.

Для визначення дійсного об'єму газу, який бере участь у теплообміні, виникає потреба урахування швидкості руху газу-теплоносія, яка змінюється за висотою насадки, що обумовлено охолодженням газу. Швидкість газу, який проходить через канал насадки ПН, приведена до нормальних умов,



визначається за рівнянням:

$$w = \frac{F_{2.к.}}{S_к} \frac{(T_2 + 273) 0,1013}{273 P_2}, \quad (2)$$

де  $F_{2.к.}$  - витрата газу-теплоносія через один канал насадки,  $\frac{м^3}{с}$ ,  
 $S_2$  - площа каналу насадки,  $м^2$ ,  $P_2$  - тиск продуктів згорання,  $кПа$ ,  
 273 - температура продуктів згорання при нормальних умовах,  $К$ , 0,1013 - тиск продуктів згорання за нормальних умов,  $кПа$ .

Кількість шарів за висотою насадки, які проходить газ за одиницю часу  $\Delta\tau$  розраховується наступним чином:

$$n = \frac{w\Delta\tau}{\Delta h}, \quad (3)$$

де  $\Delta h$  - висота шару насадки, для якого вирішується задача теплообміну,  $м$ .

Зважаючи на рівняння (3), доцільно змінити часовий крок  $\Delta\tau$  до значення, відповідного часу перебування певного об'єму газу-теплоносія в просторі каналу поточного шару насадки, обмеженого висотою  $\Delta h$ :

$$\Delta\tau_i = \frac{\Delta\tau_i}{n} \quad (4)$$

Тоді об'єм газу-теплоносія, який бере участь у теплообміні, знаходиться за рівнянням:

$$V_2 = F_{2.к.}\Delta\tau_i \quad (5)$$

Температура димових газів на вході в насадку визначається з розрахунку горіння палива. Нагрів насадки відбувається до моменту досягнення температури низу насадки  $400\text{ }^\circ\text{C}$ . Результати математичного моделювання нагріву насадки представлені на рис. 1.

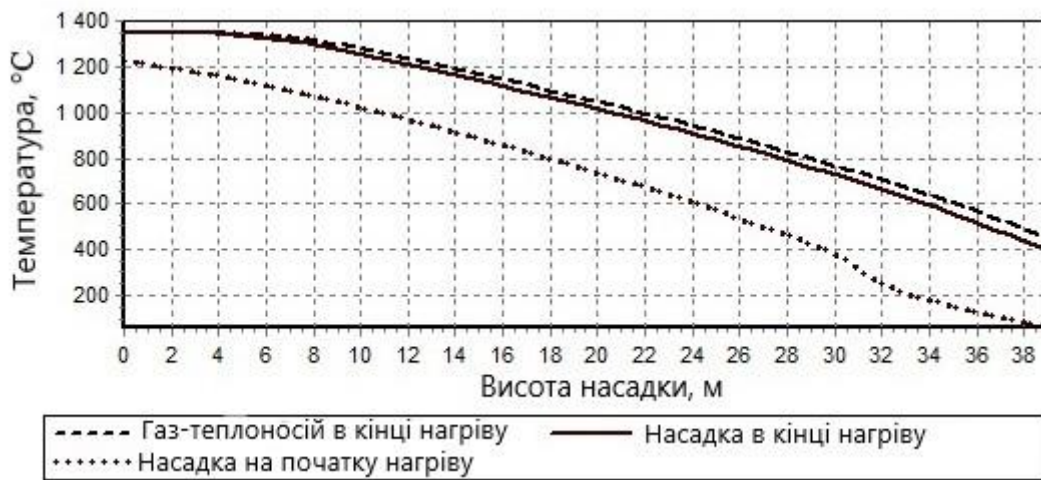


Рис.1 – Розподіл температури за висотою насадки в результаті математичного моделювання

Розбіжність теплового балансу математичних моделей процесів теплообміну між газом-теплоносієм та насадкою не перебільшує 2%. Гіпотезу

про адекватність моделі перевірено на основі статистичних критеріїв Стьюдента та Фішера.

**Третій розділ** присвячений розробці підсистеми керування нагрівом насадки ПН та підсистеми оцінки тривалості періоду нагріву дуття. Задача оцінки тривалості періоду нагріву дуття найбільш актуальна в умовах підвищеної температури дуття, що обумовлено зменшенням доступного часу нагріву насадки. При реалізації підсистем керування і оцінки на основі нечітких баз знань вирішено задачі структурної та параметричної ідентифікації. Структурно нечітка база знань представлена набором правил виду «якщо-то», екстракцію яких з експериментальних даних здійснено за допомогою методу Аргіорі. Нечітка база знань заснована на оцінці залежності тривалості періоду нагріву дуття від поточної температури гарячого повітря на виході з насадки і витрати холодного повітря на змішання. Кожному правилу відповідає ваговий коефіцієнт, значення якого знаходиться в діапазоні  $[0; 1]$ . При розробці нечіткої моделі досліджено два варіанти визначення функцій приналежності: Гауссова та дзвоноподібна, які описують нормальний розподіл модельованої величини.

Параметрична ідентифікація полягає в пошуку таких параметрів нечіткої моделі оцінки тривалості режиму, при яких результат моделювання найбільш близький до бажаного. Для підсистеми оцінки тривалості режиму здійснюється настройка нечітких баз знань, що представляє собою задачу оптимізації:

$$R = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (y_i - f(\bar{x}_i, \bar{w}, \bar{c}, \bar{b}))^2} \rightarrow \min \quad (6)$$

де  $M$  – кількість пар даних «входи-вихід»  $(\bar{x}_i, y_i)$  в навчальній вибірці експериментальних даних,  $\bar{w}$  – вектор вагових коефіцієнтів, які приймають значення з діапазону  $[0, 1]$ ,  $\bar{b}, \bar{c}$  – параметри функцій приналежності.

Для вирішення задачі (6) використано метод сполучених градієнтів з формулою Полака-Ріб'єра. Результати роботи підсистеми оцінки тривалості періоду нагріву дуття представлені на рис. 2.

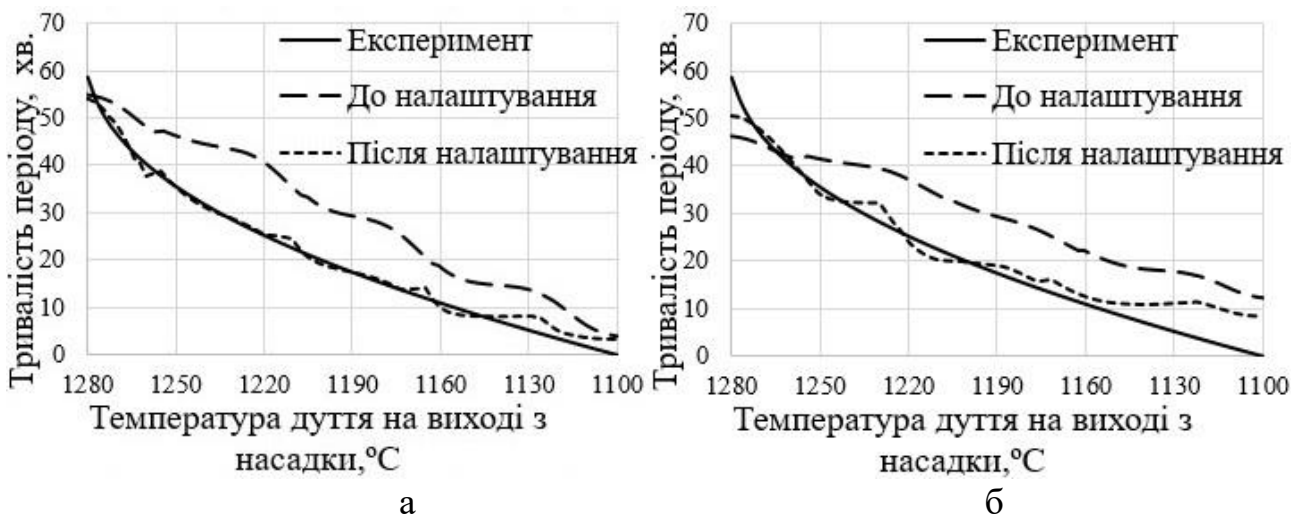


Рис. 2 – Результати роботи нечіткої моделі оцінки тривалості періоду нагріву дуття: а – для Гауссової ФП, б – для дзвоноподібної ФП.

При нагріві насадки ПН змішаним газом змінювати загальну теплоту згорання палива можливо шляхом зміни витрати однієї зі складових: доменного газу або висококалорійної добавки. Найбільш економічно прийнятним є поступове зменшення витрати дороговартісної висококалорійної добавки в процесі нагріву насадки. Витрата природного газу, необхідна для підтримки заданої калорійності суміші, розраховується наступним чином:

$$F_{n.z.}(\tau) = F_{cm}(\tau) \frac{Q_{cm}(\tau) - Q_{d.z.}(\tau)}{Q_{n.z.} - Q_{d.z.}(\tau)}, \quad (7)$$

де  $Q_{d.z.}(\tau)$  – теплота згорання доменного газу, ккал/м<sup>3</sup>,  $Q_{n.z.}$  – теплота згорання природного газу, ккал/м<sup>3</sup>,  $F_{d.z.}(\tau)$  – витрата доменного газу, м<sup>3</sup>/с,  $F_{n.z.}(\tau)$  – витрата природного газу, м<sup>3</sup>/с.

Вибір вихідного параметра нечіткої моделі керування залежить від способу опалення ПН. При використанні висококалорійної добавки доцільно змінювати загальну калорійність суміші шляхом зміни витрати природного газу. При опаленні ПН тільки доменним газом вихідним параметром нечіткої моделі керування нагрівом насадки є поточна витрата палива.

Налаштування нечіткої моделі керування нагрівом насадки представляє собою задачу багатокритеріальної оптимізації:

$$R_3 = C_{d.z.} F_{d.z.} \rightarrow \min \quad (8)$$

$$R_{впр.} = \sum_{i=0}^{n-1} \tau_{d_i} - (\tau_n + \tau_n), \tau_n \leq R_{впр.} < \tau_{n.max} \quad (9)$$

$$R_{ном.} = Q_{отх.} < Q_{отх.max.}, \quad (10)$$

де  $C_{d.z.}$  - вартість доменного газу, грн/м<sup>3</sup>,  $F_{d.z.}$  - сумарна витрата доменного газу за період нагріву насадки, м<sup>3</sup>,  $\tau_{d_i}, \tau_n, \tau_n, \tau_{n.max}$  – тривалість періодів нагріву дуття та нагріву насадки, середня та максимально можлива тривалість переключення клапанів  $Q_{отх.}, Q_{отх.max.}$  – фактична та максимально можлива кількість тепла, яке залишає насадку з продуктами згорання, ГДж.

При використанні для опалення ПН газової суміші (як висококалорійної добавки обраний природний газ) головний критерій складається з двох складових:

$$R_3 = C_{d.z.} F_{d.z.} + C_{n.z.} F_{n.z.} \rightarrow \min, \quad (11)$$

де  $C_{n.z.}$  - вартість природного газу, грн/м<sup>3</sup>,  $F_{n.z.}$  - сумарна витрата природного газу за період нагріву насадки, м<sup>3</sup>.

В даному випадку можливий варіант вибору як цільової функції однієї із складових рівняння (11) або приведення задачі до вигляду однокритеріальної методом умовного центру мас.

**У четвертому розділі** досліджено принципи ситуаційного керування роботою групи ПН на основі дерева прийняття рішень з використанням

нечітких баз знань, налаштування яких здійснюється за допомогою методів багатокритеріальної оптимізації.

На рис. 3 представлена схема структури програмного забезпечення системи керування роботою групи ПН, заснованої на результатах дисертаційного дослідження, із зазначенням зв'язку між розробленими та існуючими елементами. Розроблена підсистема оцінки тривалості періоду нагріву дуття знаходиться в складі верхнього рівня АСКТП виплавки чавуну в доменній печі і функціонує спільно з математичними моделями нагріву і охолодження насадки, підпрограмою розрахунку горіння палива і нечіткою моделлю керування нагрівом насадки. Значення оціненого часу нагріву дуття використовується нечіткою моделлю керування нагрівом насадки ПН, які знаходяться в режимі нагріву насадки.

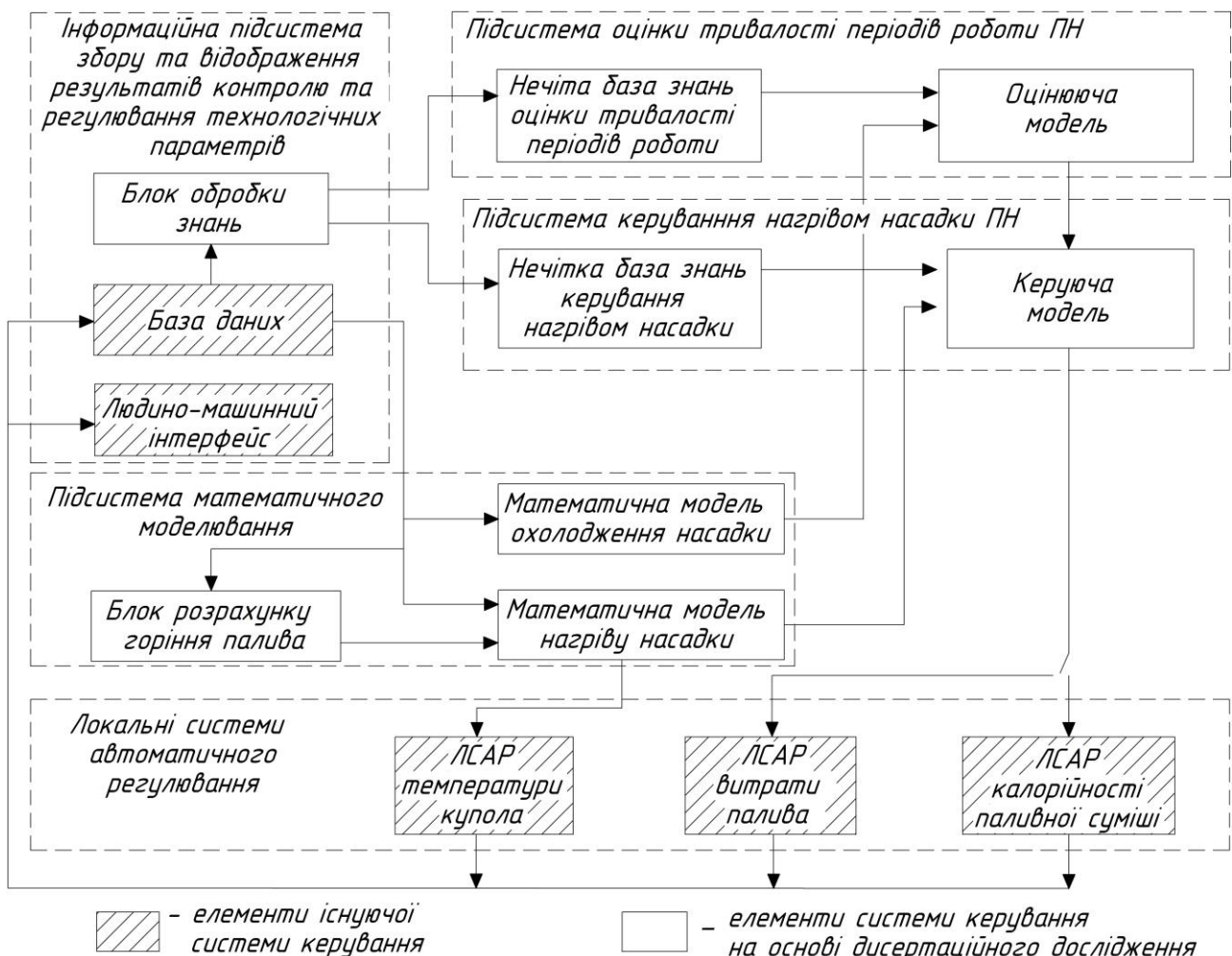


Рис. 3 – Схема структури програмного забезпечення системи керування групою ПН на основі результатів дисертаційного дослідження

На основі результатів дисертаційного дослідження розроблені підсистеми, функціонуючі у складі АСКТП виплавки чавуну в доменній печі:

– підсистема математичного моделювання, яка містить блок розрахунку горіння палива і математичні моделі теплообміну в насадці;

- підсистема оцінки тривалості періодів роботи ПН у складі оцінюючої моделі, робота якої заснована на нечіткій базі знань;
- підсистема керування нагрівом насадки, що складається з керуючої моделі і нечіткої бази знань про процес керування.

Для формування нечітких баз знань в існуючу інформаційну підсистему збору і відображення результатів контролю і регулювання технологічних параметрів доданий блок обробки знань, що використовує дані про температуру газу-теплоносія на вході і виході з насадки, витрати основного палива, висококалорійної добавки і повітря на горіння, які містяться в базі даних інформаційної підсистеми. Вибір керуючої нечіткої бази знань в залежності від поточних умов роботи групи ПН здійснено на основі дерева прийняття рішень (рис. 4).

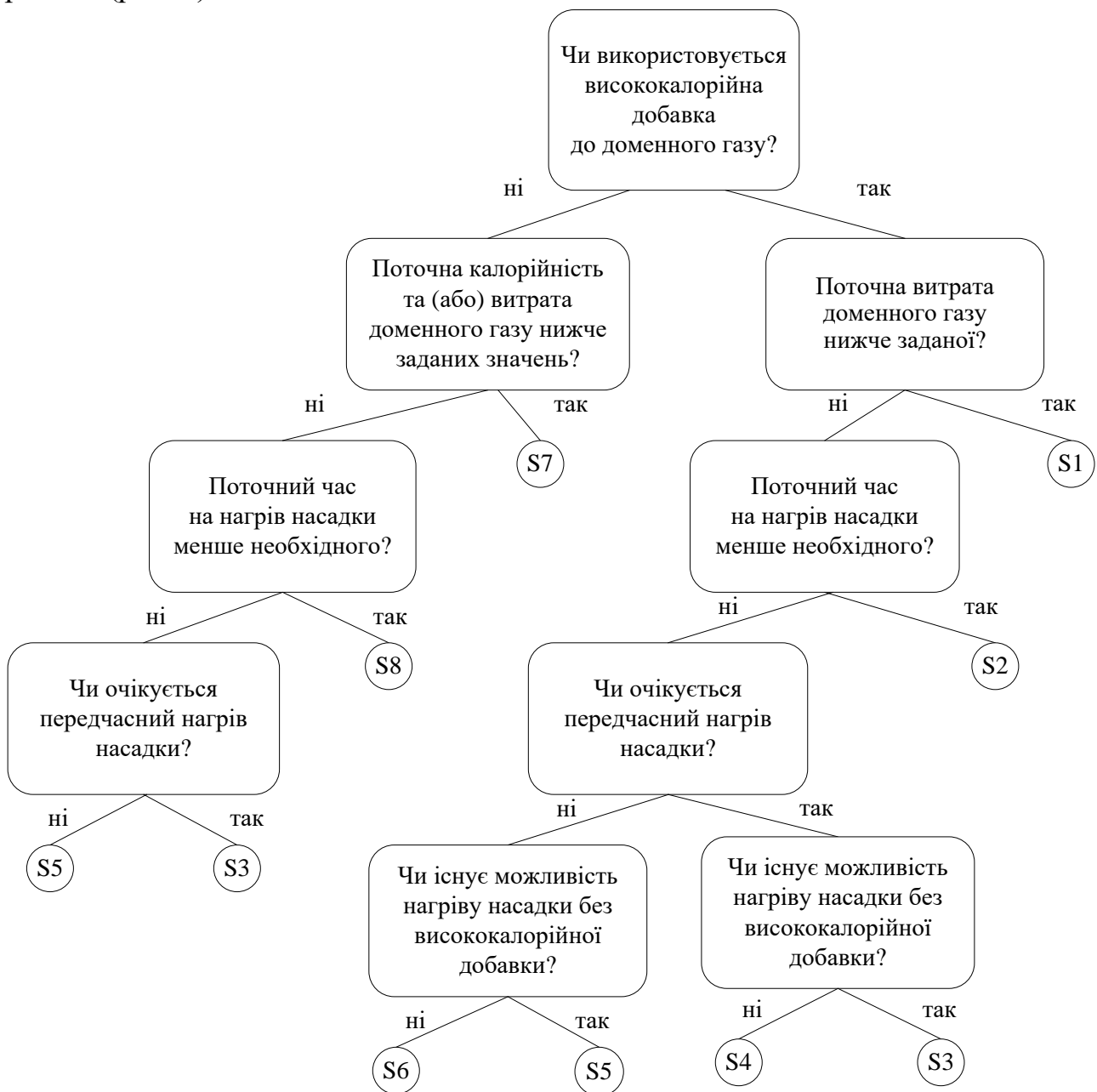


Рис. 4 - Дерево прийняття рішень при керуванні нагрівом насадки ПН

Ситуації, виникнення яких є потенційно можливим в процесі нагріву насадки ПН, описані у вершинах дерева прийняття рішень. У листах дерева прийняття рішень знаходяться відповідні сценарії керування нагрівом насадки (S1-S8, рис. 4), представлені нечіткими базами знань, структурна ідентифікація яких здійснена за допомогою алгоритмів видобутку знань, а параметрична ідентифікація - шляхом настройки кожної нечіткої бази знань з використанням методів багатокритеріальної оптимізації, описаних рівняннями (8) - (11).

Для оцінки якості функціонування системи ситуаційного керування введений коефіцієнт, що враховує значення всіх локальних критеріїв (8) - (11)

$$K = \frac{R_z}{R_{z.max}} + \frac{R_{вр}}{R_{вр.max}} + \frac{R_{ном}}{R_{ном.max}}, \quad (15)$$

де –  $R_{z.max}$  - максимально можливе значення фінансових витрат на паливо за період нагріву насадки, грн.,  $R_{ном.max}$  - максимально можливе значення відхилення тривалості режимів ПН від значень, заданих технологічною картою за один цикл роботи, с,  $R_{вр.max}$  - максимально можливе значення втрат тепла з димовими газами, ГДж.

Область допустимих значень критерію (15), знаходиться в діапазоні [0, 3]. Робоча область охоплює діапазон [1.75, 3].

Результати імітаційного моделювання роботи системи ситуаційного керування на основі дерева прийняття рішень показали зменшення сумарної витрати природного газу за період на 923,1 м<sup>3</sup>. В умовах, близьких до потенційно можливого недогріву насадки, спостерігається найбільша сумарна витрата природного газу – 3723,3 м<sup>3</sup> за період нагріву. Уникнути недогріву насадки при використанні тільки основного палива можливо виключно при значенні калорійності доменного газу не менше 880 ккал/м<sup>3</sup>.

## ВИСНОВКИ

Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна наукова задача підвищення ефективності процесу стабілізації температури доменного дуття в умовах низької калорійності доменного газу шляхом розробки методу керування процесами нагріву насадки кожного повітрянагрівача групи і нагріву доменного дуття на основі оцінки тривалості поточного періоду роботи повітрянагрівачів з досягненням заданого режиму чергування періодів роботи повітрянагрівачів доменної печі при використанні дерева прийняття рішень, заснованого на ідентифікованих нечітких базах знань, що дозволяє знизити витрату доменного газу.

В результаті досліджень, проведених в рамках виконання дисертаційної роботи, сформульовані наступні висновки:

1. В результаті аналізу процесу нагріву насадки повітрянагрівача виявлено, що при побудові алгоритмів керування нагрівом насадки як вхідних параметрів

доцільно використовувати значення температур купола і низу насадки як основних непрямих показників поточного ступеня готовності повітрянагрівача до періоду нагріву дуття, що дає можливість враховувати поточний тепловий стан кожного повітрянагрівача групи.

2. Застосування чисельних моделей нагріву та охолодження насадки повітрянагрівача з дробленням часового кроку в процесі розрахунку зовнішнього теплообміну забезпечує визначення дійсного обсягу газу-теплоносія, який бере участь в теплообміні з поточним шаром насадки за висотою, що обумовлює розбіжність теплового балансу насадки доменного повітрянагрівача не більше 2% .

3. Використання результатів роботи підсистеми оцінки тривалості періоду нагріву дуття в процесі керування нагрівом насадки сприяє зниженню загальної витрати висококалорійної добавки до палива на 1000-2500 м<sup>3</sup> за період нагріву насадки порівняно з роботою системи керування нагрівом насадки доменних повітрянагрівачів групи без урахування результатів оперативної оцінки тривалості режимів роботи всіх апаратів групи.

4. Структурно-параметрична ідентифікація нечітких баз знань з використанням методів багатокритеріальної оптимізації пріоритетних параметрів роботи групи повітрянагрівачів дозволяє здійснювати розрахунок і видачу заданих значень в локальній системі автоматичного регулювання калорійності паливної суміші та витрати палива зі зниженням витрати доменного газу на 800-2250 м<sup>3</sup> за період нагріву насадки в залежності від поточної калорійності основного палива.

5. Проведене дослідження особливостей роботи групи повітрянагрівачів в умовах відсутності висококалорійної паливної складової, недостатньої кількості або низької теплоти згорання доменного газу дозволило реалізувати оперативне визначення поточної ситуації на основі дерева прийняття рішень з вибором відповідної нечіткої бази знань, яка використовується при керуванні нагрівом насадки, що забезпечує досягнення насадкою доменного повітрянагрівача заданої температури на момент переведення в режим нагріву дуття з можливим передчасним нагрівом насадки, який не перевищує 1-7 хв та втратою тепла з димовими газами до 57 ГДж за період нагріву насадки.

6. Використання нормалізованого критерію дає можливість оцінити якість функціонування системи ситуаційного керування за один цикл роботи кожного повітрянагрівача. В результаті проведених досліджень визначено, що критерій, який враховує витрати на паливо, відхилення в часі при зміні періодів роботи та втрати тепла, приймає значення від 1,8 до 2,3 з діапазону [0-3].

7. Застосування розробленого програмного забезпечення системи ситуаційного керування роботою групи повітрянагрівачів в складі АСКТП виплавки чавуну в доменній печі дозволяє підвищити економічну ефективність процесу нагріву дуття шляхом економії природного газу до 2500 м<sup>3</sup> за період нагріву насадки в залежності від поточних умов роботи групи повітрянагрівачів.

8. Основні наукові положення і результати дисертаційної роботи прийняті до впровадження ТОВ НВП «Азовчерметавтоматика» і ТОВ «ГІПРОМЕЗ» при реконструкції системи автоматизації групи повітрянагрівачів в комплексі доменних печей ПРАТ «МК«АЗОВСТАЛЬ», м Маріуполь.

## ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

### *Фахові видання:*

1. Kobysh E.I. Control model of the heating hot blast stove regenerative chamber based on fuzzy knowledge with training set / E.I. Kobysh, A.I. Simkin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – No. 6. – P. 96-101. (науко-метрична база Scopus)

2. Кобыш Е.И. Подсистема управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя с учетом использования высококалорийной добавки к топливу / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2017. – №6. – С. 65-69 (науко-метрична база Index Copernicus).

### *Публікації у наукових фахових виданнях:*

3. Кобыш Е.И. Компьютерная модель работы доменного воздухонагревателя / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин, А.А. Койфман // Вісник Приазовського державного технічного університету : Зб. наук. пр. – Маріуполь, 2012. – Вип. 25. – С. 239-245.

4. Кобыш Е.И. Алгоритм управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя с внутренней камерой горения / Е.И. Кобыш, А.И.Симкин, В.П. Кравченко // Сталь. – 2014. – № 1. – С. 9-13.

5. Кобыш Е.И. Подсистема прогнозирования продолжительности периода нагрева дутья в воздухонагревателе доменной печи на основе нечёткой базы знаний / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Металл и литье Украины. – 2016. – №6. – С. 10-17.

6. Kobysh E.I. Situational control of hot blast stoves group based on decision tree / E.I. Kobysh, A.I. Simkin // Automation of technological and business processes. – 2016. – №3. – P. 80-88.

7. Кобыш О.И. Ідентифікація параметрів газу-теплоносія в комп'ютерній моделі нагріву та охолодження насадки доменного повітрянагрівача / О.И. Кобыш, О.И. Сімкін // Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія. – 2017. – №3. – С. 42-48.

### *Патент:*

8. Пат. 98080 Україна, МПК С21В 9/14 G05В 15/00 . Система автоматичного регулювання температури гарячого дуття / Койфман О.О., Кравченко В.П., Сімкін О.І., Кобыш О.І. ; заявник і власник Державний вищий навчальний заклад «Приазовський державний технічний університет». – № а 2011 06165 ; заявл. 17.05.11 ; опубл. 10.04.12, Бюл. № 7.



*Матеріали конференцій:*

9. Симкин А.И. Алгоритм управления группой воздухонагревателей доменной печи в условиях дефицита доменного газа / А.И. Симкин, А.А.Койфман, Е.И. Кобыш // Международная научно-техническая «Университетская наука - 2011» конференция: Сб. тезисов докладов в 3-х томах. г. Мариуполь, 17-19 мая 2011 г. – Мариуполь: ПГТУ, 2011. – Т. III. – С. 61–62.

10. Кобыш Е.И. Математическое моделирование процесса подготовки доменного дутья / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Автоматизація технологічних об'єктів та процесів. Пошук молодих: Збірник наукових праць XII Міжнародної науково-технічної конференції аспірантів та студентів в м.Донецьк 17 – 20 квітня 2012 р. – Донецьк: ДНТУ, 2012. – С. 177 - 179.

11. Симкин А.И. Моделирование работы каупера с оптимизацией по расходу доменного газа / А.И. Симкин, А.А. Койфман, Е.И. Кобыш // Международная научно-техническая «Университетская наука - 2012» конференция: Сб. тезисов докладов в 3-х томах. г. Мариуполь, 24-26 апреля 2012 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2012. – Т. I. – С. 322–323.

12. Кобыш Е.И. Постановка задачи имитационного моделирования процесса подготовки доменного дутья / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Автоматизація і комп'ютерні технології. Міжнародна науково-практична конференція присвячена 50-річчю кафедри «АТПіВ», м. Маріуполь, 25-27 вересня 2012 р. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2012. – С. 41–42.

13. Кобыш Е. И. Управление нагревом насадки доменного воздухонагревателя с использованием нечеткой логики / Е. И. Кобыш, А. И. Симкин // Университетская наука-2014 : тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф., 20-21 мая 2014 г. : в 5 т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2014. – Т.2. – С. 103–104.

14. Кобыш Е.И. Модель управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя на основе нечеткой базы знаний с четкой обучающей выборкой / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин, // Всеукраинская научно-практическая конференция «Проблемы энергоресурсосбережения в промышленном регионе. Наука и практика». Тезисы докладов. г. Мариуполь, 20-24 апреля 2015 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2015. – С. 128–129.

15. Кобыш Е. И. Настройка нечеткой модели управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя на основе четкой обучающей выборки / Е. И. Кобыш, А. И. Симкин // Университетская наука-2015: тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф., 19-20 мая 2015 г. : в 4-х т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2015. – Т. 2. – С. 236-237.

16. Кобыш О.І. Прогнозування тривалості режиму нагріву дутья в повітрянагрівачі доменної печі з використанням нечіткої логіки / О.І. Кобыш, О.І. Сімкін, // Сьома Всеукраїнська науково-технічна конференція студентів, аспірантів і молодих учених «Наукова весна 2016». Збірник праць.

Дніпропетровськ 6-7 квітня 2016 р. – Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ», 2016. – С. 425–426.

17. Кобиш О.І. Керування нагріванням дуття на блоці доменних повітрянагрівачів з послідовним режимом роботи / О.І. Кобиш, О.І. Сімкін, // III Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології – 2016». Матеріали конференції. Київ 20-21 квітня 2016 р. – Київ: НТУУ «КПІ», 2016. – С. 126–127.

18. Кобыш Е.И. Настройка нечёткой модели прогнозирования продолжительности периода нагрева дутья в воздухонагревателе доменной печи / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин, // II Всеукраинская научно-практическая конференция «Проблемы энергоресурсосбережения в промышленном регионе. Наука и практика». Тезисы докладов. г. Мариуполь, 11-12 мая 2016 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2016. – С. 123.

19. Кобыш Е. И. Модель управления работой группы доменных воздухонагревателей на основе нечёткой базы знаний / Е. И. Кобыш, А. И. Симкин // Университетская наука-2016: тезисы докладов междунар. науч.-техн. конф., 19-20 мая 2016 г. : в 4-х т. / ГВУЗ «ПГТУ». – Мариуполь, 2016. – Т. 2. – С. 166-167.

20. Кобиш О.І. Модель прогнозування тривалості періоду нагріву дуття в доменному повітрянагрівачі на основі нечіткої бази знань / О.І. Кобиш, О.І. Сімкін, // XIII Міжнародна конференція «Контроль і управління в складних системах (КУСС-2016)». Тези доповідей тринадцятої міжнародної науково - технічної конференції. Вінниця, 3-6 жовтня 2016 р. – Вінниця: ВНТУ, 2016. – С. 208–209.

21. Кобыш Е.И. Система ситуационного управления работой группы доменных воздухонагревателей на основе многокритериальной оптимизации / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: III Міжнародна науково-технічна Internet-конференція, Національний університет харчових технологій, м. Київ, 23 листопада 2016 р. – Київ: НУХТ, 2016. – С. 44-45.

22. Кобыш Е.И. Ситуационное управление работой группы доменных воздухонагревателей на основе дерева принятия решений / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Университетская наука – 2017: Международная научно-техническая конференция, Приазовский государственный технический университет, г. Мариуполь, 18-19 мая 2017 г. – Мариуполь: ГВУЗ «ПГТУ», 2017. – Т. 2. – С. 223-224.

23. Кобыш Е.И. Управление нагревом дутья на основе идентификации параметров газа-теплоносителя в насадке доменного воздухонагревателя / Е.И. Кобыш, А.И. Симкин // Сучасні методи, інформаційне, програмне та технічне забезпечення систем управління організаційно-технічними та технологічними комплексами: IV Міжнародна науково-технічна Internet-

конференція, Національний університет харчових технологій, м. Київ, 22 листопада 2017 р. – Київ: НУХТ, 2017. – С. 41-42.

Особистий внесок автора в роботах, опублікованих у співавторстві:

[1, 13-15] – побудована та налаштована нечітка модель керування нагрівом насадки; [2, 6, 17, 19, 21, 22] – запропонована система ситуаційного керування групою повітрянагрівачів та розроблене відповідне програмне забезпечення; [3,10,12] – розроблена імітаційна модель повітрянагрівача та проведено імітаційне моделювання процесів нагріву насадки та нагріву дуття; [4, 9, 11] - запропоновано та реалізовано алгоритм керування нагрівом насадки зі зменшенням витрати висококалорійного палива; [5, 16, 18, 20] – проведена структурна та параметрична ідентифікація нечіткої бази знань підсистеми оцінки тривалості періоду нагріву дуття; [7, 23] – проведено ідентифікацію параметрів газу-теплоносія за висотою насадки повітрянагрівача з дробленням часового кроку при моделюванні; [8] – обґрунтовано доцільність використання додаткових датчиків температури холодного та гарячого дуття для підвищення якості регулювання температури гарячого дуття.

## АНОТАЦІЯ

Кобиш О.І. Автоматизація процесу керування групою повітрянагрівачів доменної печі на основі нечіткої логіки. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – «Автоматизація процесів керування». – Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, 2019.

Дисертаційна робота присвячена рішенням наукової задачі підвищення ефективності процесу стабілізації температури доменного дуття в умовах низької калорійності доменного газу шляхом розробки методу керування процесами нагріву насадки кожного повітрянагрівача групи і нагріву доменного дуття на основі оцінки тривалості поточного періоду роботи повітрянагрівачів з досягненням заданого режиму чергування періодів роботи повітрянагрівачів доменної печі при використанні дерева прийняття рішень, заснованого на ідентифікованих нечітких базах знань, що дозволяє знизити витрату доменного газу.

На підставі аналізу даних роботи групи ПН і результатів імітаційного моделювання сформована нечітка база знань про процес нагріву дуття в повітрянагрівачі доменної печі. Виконано структурну та параметричну ідентифікацію при різних значеннях заданої температури доменного дуття для різних форм функцій приналежності вхідних і вихідних параметрів.

Розроблена система керування групою повітрянагрівачів доменної печі, функціонуюча на базі підсистеми керування нагрівом насадки та підсистеми оцінки тривалості режимів роботи ПН. З використанням методів багатокритеріальної оптимізації реалізоване корегування поведінки системи керування з врахуванням поточних виробничих умов функціонування групи

ПН. Розроблено алгоритм визначення ситуацій та вибору сценаріїв керування на основі дерева прийняття рішень.

Ключові слова: доменний повітрянагрівач, система керування, структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація, нечітка база знань, багатокритеріальна оптимізація, дерево прийняття рішень.

## АННОТАЦІЯ

Кобыш Е.И. Автоматизация процесса управления группой воздухонагревателей доменной печи на основе нечеткой логики. - На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 - «Автоматизация процессов управления». - Национальный технический университет «Днепровская политехника», Днепр, 2019.

Диссертация посвящена решению научной задачи повышения эффективности процесса стабилизации температуры доменного дутья в условиях низкой калорийности доменного газа путем разработки метода управления процессами нагрева насадки каждого воздухонагревателя группы и нагрева доменного дутья на основе оценки продолжительности текущего периода работы воздухонагревателя с достижением заданного режима чередования периодов работы воздухонагревателей доменной печи при использовании дерева принятия решений, основанного на идентифицированных нечетких базах знаний, что позволяет снизить расход доменного газа.

Исследование алгоритмов управления нагревом насадки в текущих условиях работы группы ВН осуществлено путем проведения вычислительных экспериментов на основе имитационной модели ВН. Для определения действительного объема газа, который участвует в теплообмене с насадкой, предложено учитывать скорость движения газа-теплоносителя по высоте насадки путем изменения расчётного шага по времени в соответствии с продолжительностью пребывания заданного объема газа в каждом расчётном слое по высоте насадки.

На основании анализа данных работы группы ВН и результатов имитационного моделирования сформирована нечеткая база знаний о процессе нагрева дутья. На основе нечеткой модели разработана подсистема оценки продолжительности периода нагрева дутья как часть АСУТП выплавки чугуна в доменной печи. Выполнена структурная и параметрическая идентификация нечётких баз знаний при различных значениях заданной температуры доменного дутья для Гауссовой и колоколообразной форм функций принадлежности (ФП) входных и выходных параметров. Указанные функции имеют наименьшее среди других форм ФП количество параметров - координату максимума и коэффициент концентрации, что значительно

ускоряет процесс параметрической идентификации БЗ при решении задачи многомерной оптимизации при настройке нечеткой модели.

Разработана система управления группой ВН, функционирующая на основе подсистемы управления нагревом насадки и подсистемы оценки продолжительности режимов работы ВН. Установлено, что настройка нечеткой БЗ управления нагревом насадки представляет собой задачу многокритериальной оптимизации, при которой выбор целевой функции осуществляется в зависимости от текущих значений параметров газа-теплоносителя и температурного состояния насадок всех ВН группы. С использованием методов многокритериальной оптимизации реализована настройка нечетких баз знаний системы управления с учетом текущих условий функционирования группы ВН. Разработан алгоритм определения текущей ситуации и выбора сценария управления на основе дерева принятия решений, что обеспечивает достижение насадкой ВН заданной температуры на момент перевода в режим нагрева дутья.

Реализовано программное обеспечение подсистемы оценки продолжительности периодов работы ВН на основе нечеткой БЗ, а также подсистемы управления нагревом насадки, состоящей из управляющей модели и нечеткой БЗ о процессе управления. Результаты работы программного обеспечения системы управления группой ВН использованы при формировании и выдаче заданных значений в ЛСАР калорийности смешанного газа и ЛСАР расхода топлива при нагреве насадки ВН, что позволяет снизить расход высококалорийной добавки к топливу.

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, система управления, структурная идентификация, параметрическая идентификация, нечеткая база знаний, многокритериальная оптимизация, дерево принятия решений.

## ABSTRACT

Kobysh E.I. Automation of control process by hot blast stove group on the basis of fuzzy logic. – On the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a graduate degree of candidate of technical sciences on a specialty 05.13.07 - «Automation of Control Processes». – National Technical University "Dnipro Polytechnic", Dnipro, 2019.

The dissertation is devoted to solving the scientific task of increasing the efficiency of the process of stabilizing the temperature of the blast in the conditions of low calorific value of the blast furnace gas by developing a method for control processes of heating the nozzle of each blast stove of the group and heating the blast based on the evaluation of the duration of the current period of operation of the blast stoves with the achievement of the given alternating mode of blast stove operation using a decision-making tree based on identifier fuzzy knowledge bases, which allows to reduce the flow of blast furnace gas.

On the basis of the data analysis and the results of simulation formed a fuzzy knowledge base on the process of heating the blast in the blast stoves. Based on the fuzzy model, a subsystem for assessing the durability of the blast heating period as part of the control system for the operation of the heater system has been developed. The structural and parametric identification of fuzzy knowledge bases at various values of the given temperature of the blast furnace for various forms of the functions of input and output parameters is performed.

The control system of the blast stoves group operating on the basis of the subsystem of the heating control of the nozzle and the subsystem of estimation of the duration of operating modes. Using the methods of multicriteria optimization, the correction of the behavior of the control system, taking into account the current operating conditions of the blast stoves group, was implemented. An algorithm for determining the current situation and selecting a control scenario based on the decision tree is developed.

Keywords: blast stove, control system, structural identification, parametric identification, fuzzy knowledge base, multicriterion optimization, tree of decision-making.

КОБИШ ОЛЕНА ІВАНІВНА

**АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ ГРУПОЮ  
ПОВІТРОНАГРІВАЧІВ ДОМЕННОЇ ПЕЧІ НА ОСНОВІ НЕЧІТКОЇ  
ЛОГІКИ**

(Автореферат)

Підписано до друку 21.01.2019 р. Формат 60×90/16.

Папір офсет. Ум. друк. арк. 0,9.

Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №137.

Надруковано в Поліграфічному центрі  
ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет».  
87555, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7  
Свідоцтво суб'єкта видавничької діяльності  
ДК №3729 від 15.03.2010 р.