

Е. И. Кобыш, А. И. Симкин /к. т. н./

ГВУЗ «Приазовский государственный
технический университет», г. Мариуполь,
Украина
e-mail: lena.kobysh@gmail.com

Подсистема управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя с учетом использования высококалорийной добавки к топливу

Е. I. Kobysh, A. I. Simkin /Cand. Sci. (Tech.) /

SHEI «Pryazovskyi state technical university»,
Mariupol, Ukraine
e-mail: lena.kobysh@gmail.com

Control subsystem of heating of the packing in a hot blast stove assembly with the use of the high-calorial additive to fuel

Цель. Повышение эффективности функционирования группы доменных воздухонагревателей путем создания подсистемы управления процессом нагрева насадки каждого воздухонагревателя группы.

Методика. Структурная и параметрическая идентификация на основе теории нечетких множеств. Компьютерное моделирование нагрева и охлаждения насадки. Принятие решений на основе бинарных деревьев.

Результаты. Реализована подсистема управления нагревом насадки в составе программного обеспечения верхнего уровня АСУ ТП выплавки чугуна в доменной печи с возможностью обмена данными между представленной подсистемой, моделью нагрева насадки, подпрограммой, осуществляющей расчет горения топлива, и подсистемой прогнозирования продолжительности периодов работы доменного воздухонагревателя.

Научная новизна. Разработана структура и комплекс алгоритмов управления нагревом насадки с использованием дерева принятия решений и нечетких баз знаний, что позволяет оперативно корректировать управляющее воздействие на систему управления нагревом насадки.

Практическая значимость. Полученные результаты работы подсистемы управления нагревом насадки доменного воздухонагревателя позволяют снизить суммарный расход основного топлива либо высококалорийной добавки. (Ил. 4. Табл. 2. Библиогр.: 6 назв.)

Ключевые слова: доменный воздухонагреватель, система управления, нечеткая база знаний, дерево принятия решений.

При подготовке горячего дутья группой воздухонагревателей (далее – ВН) существует вероятность возникновения ситуаций, при которых процесс нагрева насадки затрудняется вследствие определенных негативных факторов, например, недостаточное количество топлива и (или) его низкая калорийность в случае использования доменного газа без высококалорийной добавки. Подобные ситуации могут привести к недогреву насадки и, соответственно, невыполнению требований технологической карты, строго задающей последовательность переключения режимов каждого аппарата таким образом, чтобы обеспечить непрерывную подачу в доменную печь дутья заданного количества и заданной температуры.

Существует опыт разработки интеллектуальных ситуационных систем с распознаванием те-

кущего состояния объекта применительно к ВН Калугина [1]. Предложено комплексное функционирование аппарата на основе экспертных систем с применением натурно-модельного подхода. Управление тепловым режимом ВН осуществляется путем поиска соответствующего правила в динамической базе знаний экспертной системы, состоящей из набора продукционных правил, характеризующих поведение интеллектуальной системы в определенной ситуации. Для прогнозирования результатов сформированного управляющего воздействия может использоваться нейроэкспертная модель [2]. При данном подходе не учитывается количество времени, в течение которого возможно осуществлять нагрев насадки ВН до перевода в режим нагрева дутья, что не исключает отклонений работы от технологической

режимной карты [3]. Поэтому при управлении нагревом насадки целесообразно учитывать как текущее температурное состояние насадки ВН, так и прогнозируемое время нахождения данного аппарата в режиме нагрева насадки (рис. 1).

Оценка зависимости продолжительности периодов нагрева насадки и нагрева дутья от значения теплоты сгорания используемого топлива позволяет осуществлять управление нагревом насадки с обеспечением своевременной готовности ВН к переключению в режим нагрева дутья, что означает способность каждого ВН группы находиться в дутьевом режиме необходимое количество времени и осуществлять нагрев необходимого объема дутья до заданной температуры. При исследовании продолжительности каждого из периодов целесообразно проводить расчёт параметра, характеризующего соотношение значений продолжительности режимов работы, с учётом количества ВН, находящихся в группе. В качестве указанного параметра может использоваться отношение продолжительности периода нагрева насадки к значению продолжительности периода нагрева дутья (τ_n/τ_d), который для группы из трех ВН должен составлять не более 2, а для группы, в составе которой находится 4

аппарата, значение данного коэффициента не должно быть более 3 соответственно. Результаты исследования временных характеристик работы ВН при температуре доменного дутья 1100 °С в условиях нагрева насадки топливом различной калорийности как для случая отопления доменным газом, так и с учетом высококалорийной добавки, представлены на рис. 2, из которого видно, что при калорийности доменного газа ниже 850 ккал/м³ продолжительность нагрева насадки в 4 раза превышает продолжительность периода нагрева дутья, что говорит о необходимости наличия не менее пяти ВН в группе. При увеличении теплоты сгорания доменного газа до максимально возможных значений отношение продолжительностей режимов уменьшается, но превышает значение 2, что говорит о невозможности обеспечивать непрерывную подачу дутья в ДП при наличии менее 4 ВН в группе.

Нестабильность химического состава доменного газа вызывает резкие скачки теплоты сгорания топлива, способные достигать 40 %, что оказывает негативное влияние на процесс поддержания температуры подкупольного пространства на заданном уровне. При разработке стратегии управления нагревом насадки целесообразно рас-

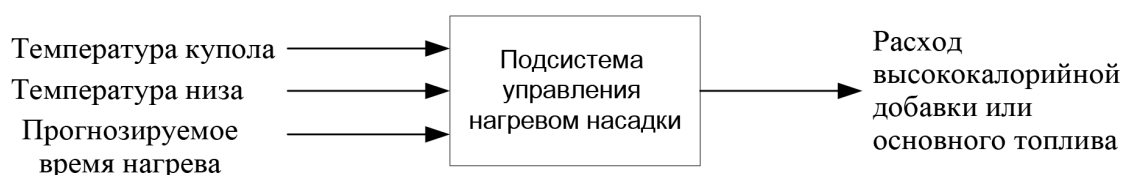


Рис. 1. Входные и выходные параметры подсистемы управления нагревом насадки

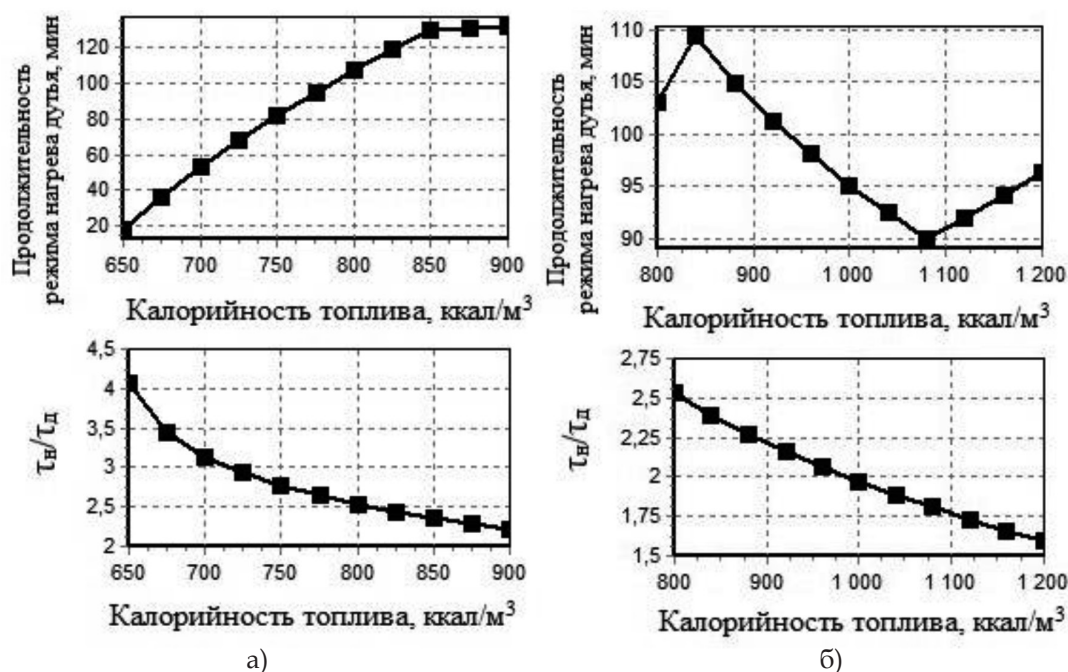


Рис. 2. Зависимость временных характеристик работы ВН от калорийности топлива:

а – при отоплении доменным газом; б – при использовании высококалорийной добавки к топливу

смотреть режимы функционирования группы ВН как на основном топливе, так и с применением высококалорийной добавки [4].

Процесс управления нагревом насадки ВН непосредственно связан с процессом регулирования температуры купола, осуществляемым путем изменения коэффициента избытка воздуха. При разработке подсистемы управления нагревом насадки возникает необходимость наиболее полного учёта всех возможных условий работы группы ВН. Выбор стратегии управления нагревом насадки возможен при помощи дерева принятия решений, приведенного на рис. 3.

Регулирование температуры купола путем изменения расхода воздуха на горение может осуществляться как в условиях централизованной подачи воздуха (вершина С1), так и при подаче вентиляторного воздуха индивидуально на каждый ВН группы. При централизованной подаче воздуха изменение текущего расхода не вызывает сложностей, в то время как управлять частотой вращения вентилятора (С3) не всегда представляется возможным, как и контролировать количество поступающего воздуха. В случае обхода дерева с достижением вершины С2 происходит возвращение к корню дерева, и поиск стратегии управления продолжается по правой ветке. При отоплении ВН доменным газом существует возможность регулирования температуры купола на основе изменения текущего расхода газа (С4), но изменять общую калорийность топлива не представляется возможным, как и при централизованной подаче смешанного газа (С5). При индивидуальном способе подачи основного топлива

и высококалорийной добавки (С5) изменять калорийность топлива возможно путем изменения текущего расхода добавки к доменному газу.

При реализации подсистемы использована нечёткая база знаний, входные и выходные параметры которой могут принадлежать пяти множествам, описывающим готовность ВН к режиму нагрева дутья. Степень принадлежности выходного параметра каждому из нечётких множеств [5]:

$$\mu^{Y_i}(\bar{X}) = \bigcup_{k=1, m} (w_{ik} \bigcap_{j=1, n} \mu(X_{ij})), \quad (1)$$

где \bar{X} – вектор входных параметров модели, $\mu(X_{ij})$ – степень принадлежности значения входного параметра X_j i -му нечёткому множеству, w_{ik} – весовой коэффициент k -го правила.

В результате расчёта функций принадлежности (1) получено нечёткое множество значений выходной величины Y :

$$\tilde{Y} = \left(\frac{\mu^{Y_1}(\bar{X})}{Y_1}, \frac{\mu^{Y_2}(\bar{X})}{Y_2}, \frac{\mu^{Y_3}(\bar{X})}{Y_3}, \frac{\mu^{Y_4}(\bar{X})}{Y_4}, \frac{\mu^{Y_5}(\bar{X})}{Y_5} \right) \quad (2)$$

Для настройки подсистемы управления возникает необходимость параметрической идентификации нечёткой базы знаний в соответствии с текущей производственной ситуацией [6]. Нечёткая база знаний представлена набором продукционных правил, отображающих зависимость выходного параметра от входных параметров подсистемы управления. Входные параметры нечёткой модели управления нагревом насадки заданы следующими лингвистическими переменными. Для температуры купола и низа насад-

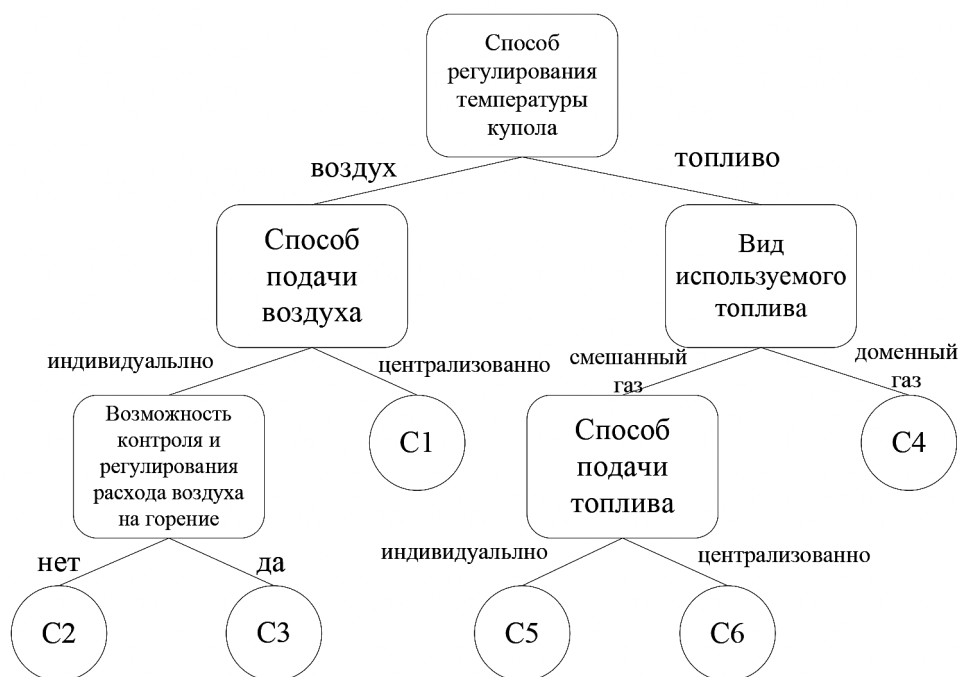


Рис. 3 Дерево принятия решений при управлении нагревом насадки

ки: $T_{к1}, T_{н1}$ – «низкая», $T_{к2}, T_{н2}$ – «ниже среднего», $T_{к3}, T_{н3}$ – «средняя», $T_{к4}, T_{н4}$ – «выше среднего», $T_{к5}, T_{н5}$ – «высокая». Лингвистические переменные для третьего входного параметра (прогнозируемой допустимой продолжительности периода нагрева насадки) представлены значениями: τ_1 – «полный период», τ_2 – «больше половины периода», τ_3 – «половина периода», τ_4 – «меньше половины периода», τ_5 – «завершение периода». Лингвистические переменные для выходного параметра (управляющего воздействия) представлены значениями: Y_1 – «высокий», Y_2 – «выше среднего», Y_3 – «средний», Y_4 – «ниже среднего», Y_5 – «низкий». Каждому правилу нечёткой базы знаний соответствует весовой коэффициент w , находящийся в диапазоне $[0; 1]$. Весовые коэффициенты w , полученные в результате настройки базы знаний, характеризуют меру истинности

каждого правила. Результаты настройки представлены в табл. 1.

Результаты работы подсистемы с изменением калорийности смеси в процессе нагрева насадки путем уменьшения расхода высококалорийной добавки (природного газа) при компьютерном моделировании работы ВН представлены на рис. 4.

На основе компьютерной модели ВН [6] проведен ряд экспериментов, при которых получены результаты для процесса нагрева насадки при постоянных расходах природного и доменного газа и в случае работы подсистемы управления нагревом насадки с уменьшением расхода высококалорийной насадки либо основного топлива в процессе нагрева. Результаты моделирования представлены в табл. 2, из которой видно, что при использовании подсистемы управления на-

Таблица 1

Результаты настройки нечётких баз знаний

Терм №	Значение																		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Тк	Тк1	Тк1	Тк1	Тк2	Тк2	Тк2	Тк2	Тк3	Тк3	Тк3	Тк3	Тк3	Тк4	Тк4	Тк4	Тк4	Тк5	Тк5	Тк5
Тн	Тн1	Тн2	Тн3	Тн1	Тн2	Тн3	Тн4	Тн1	Тн2	Тн3	Тн4	Тн5	Тн2	Тн3	Тн4	Тн5	Тн3	Тн4	Тн5
τ	τ_1	τ_1	τ_2	τ_1	τ_2	τ_3	τ_3	τ_2	τ_3	τ_3	τ_4	τ_4	τ_3	τ_4	τ_4	τ_5	τ_4	τ_5	τ_5
Y	Y_1	Y_1	Y_1	Y_1	Y_2	Y_2	Y_2	Y_3	Y_3	Y_3	Y_3	Y_3	Y_4	Y_4	Y_4	Y_4	Y_5	Y_5	Y_5
w	0,99	0,99	0,97	0,92	0,99	0,99	0,87	0,92	0,96	0,81	0,99	0,99	0,99	0,88	0,96	0,99	0,98	0,99	0,99

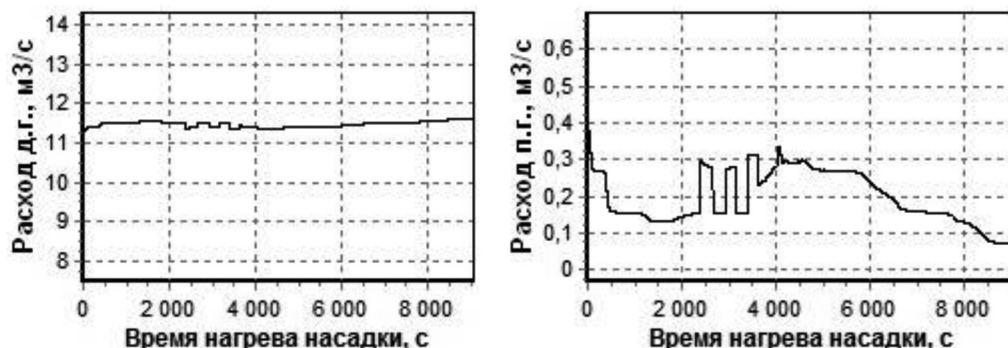


Рис. 4. Изменение расходов основного топлива (доменного газа) и высококалорийной добавки (природного газа) в процессе нагрева насадки

Таблица 2

Результаты компьютерного моделирования

Параметр	С использованием высококалорийной добавки		Без использования высококалорийной добавки	
	С постоянной калорийностью топлива	С переменной калорийностью топлива	С постоянным расходом доменного газа	С переменным расходом доменного газа
Суммарный расход доменного газа за период нагрева насадки, м³	97487,8	98438,2	105637,2	97896,4
Суммарный расход природного газа за период нагрева насадки, м³	2561,6	1982,8	-	-
Время нагрева насадки, с	8734	9187	9468	9923
Время нагрева дутья, с	3498	3371	3021	2967
Количество тепла, переданное дутью за период нагрева дутья, ГДж	371,4	358,4	342,3	339,8

гревом насадки на основе нечёткой базы знаний уменьшение расхода высококалорийной добавки при нагреве насадки газовой смесью достигает 578,8 м³, а в случае работы ВН без высококалорийной добавки уменьшение общего расхода основного топлива составляет 7740,8 м³.

Выводы

1. Разработано программное обеспечение подсистемы управления нагревом насадки ВН с учетом прогнозирования продолжительности периодов работы каждого ВН группы.

2. Осуществлена настройка нечёткой базы знаний, на основе которой функционирует подсистема управления нагревом насадки ВН.

3. В ходе компьютерного моделирования выявлено, что использование разработанной подсистемы в составе АСУТП выплавки чугуна в доменной печи, позволяет осуществить выбор эффективного сценария управления нагревом насадки на основе дерева принятия решений в соответствии с текущей производственной ситуацией.

Библиографический список / References

1. Кулаков С. М. Разработка интеллектуальной системы автоматического управления тепловым режимом воздушнонагревателей / С. М. Кулаков, В. Б. Трофимов // Научный вестник Новосибирского государственного технического университета РАН. – 2008. – № 3. – С. 3–15.

Kulakov S., Trofimov V. *Razrabotka intellektual'noj sistemy avtomaticheskogo upravleniya teplovym rezhimom vozduhonagrevatelej*. Nauchnyj vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta RAN, 2008, no. 3, pp. 3-15.

2. 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, – P. 281–284.

Yaowu Tang, Xiang Liu. *Hot blast stove temperature control system based on neural network predictive control*. Applied Mechanics and Materials. 2015, vol. 709, pp. 281-284.

3. Muske K. R. Blast furnace stove control / K. R. Muske // American control conference. – Philadelphia: Villanova University, 1998. – P. 24–25.

Muske K. R. *Blast furnace stove control*. American control conference. Philadelphia, Villanova University, 1998, pp. 24-25.

4. Kobyshev E. I. Control model of the heating hot blast stove regenerative chamber based on fuzzy knowledge with training set / E. I. Kobyshev,

A. I. Simkin // Metallurgical and Mining Industry. – 2015. – № 6. – P. 96–101.

Kobyshev E. I., Simkin A. I. *Control model of the heating hot blast stove regenerative chamber based on fuzzy knowledge with training set*. Metallurgical and Mining Industry. 2015, no. 6, pp. 96-101.

5. Hongwei GUO Fuzzy control expert system of hot blast stove based on simulation and thermal balance / Hongwei GUO, Bingji YAN, Jianliang ZHANG, Shanshan CHEN // Metallurgia. – 2013. – № 1. – P. 10–17.

Hongwei GUO Fuzzy control expert system of hot blast stove based on simulation and thermal balance. Hongwei GUO, Bingji YAN, Jianliang ZHANG, Shanshan CHEN. Metallurgia. 2013, no. 1, pp. 10-17.

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

Kobyshev E. I., Simkin A. I. *Situational control of hot blast stoves group based on decision tree*. Automation of technological and business processes. 2016, no. 3, pp. 80-88.

Purpose. Increase of efficiency of functioning of group of blast air heaters by creation of a subsystem of control of process of heating of a nozzle of each air heater of group.

Methodology. Structural and parametric identification based on the theory of fuzzy sets. Computer modeling of nozzle heating and cooling. Decision-making based on binary trees.

Finding. The nozzle heating control subsystem in the software package of the upper level of the automated process control system of the iron smelting in the blast furnace enables the data exchange between the presented subsystem, the nozzle heating model by the subroutine calculating the combustion of the fuel and the subsystem for predicting the duration of the blast furnace operating periods.

Originality. A structure and a set of algorithms for controlling the nozzle heating using a decision tree and fuzzy knowledge bases are developed, which allows to quickly adjust the control effect to the heating control system of the nozzle.

Practical value. The obtained results of the subsystem controlling the heating of the nozzle of the blast air heater make it possible to reduce the total consumption of the main fuel or a high-calorie additive.

Key words: hot blast stove, control system, fuzzy knowledge base, decision tree.

Рекомендована к публикации
к. т. н. А. П. Крячко

Поступила 27.11.2017