

УПРАВЛЕНИЕ ПРОИЗВОДСТВОМ ШЛАКОБЛОКОВ АВТОКЛАВНОГО ТВЕРДЕНИЯ ИЗ ЗОЛОШЛАКООТХОДОВ ТЕПЛОЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА ОСНОВЕ ЧЕТКИХ ЛОГИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ

Предложена система регулирования температуры и давления в технологическом процессе автоклавного твердения газозолосиликатных шлакоблоков на основе ПИД-регулятора, в котором дискретное изменение коэффициентов передачи пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих производится четким логическим регулятором, обладающим по сравнению с типовыми нечеткими регуляторами большим быстродействием и меньшей погрешностью.

Ключевые слова: ресурсосбережение; совокупность четких термов; система производственных правил; шлакоблочная смесь; автоклавное твердение; золошлакоотходы; технологический регламент.

Для производства газосиликатных шлакоблоков автоклавного твердения фирма «Спецстройматериалы» г. Кумертау использует четыре компонента: негашеную известь, тонкодисперсный кремнеземистый компонент (золошлакоотходы (ЗШО) Кумертауской теплоэлектроцентрали (ТЭЦ), работающей на бурых углях), газообразователь (алюминиевая пудра в виде суспензии) и воду. При этом состав вяжущих веществ и наполнителей определяет такие качества газосиликатных шлакоблоков, как теплопроводность, удельный вес, устойчивость к воздействию влаги и атмосферных явлений. Основные характеристики, которыми газосиликатные блоки отличаются от других стеновых материалов, – это экологичность, безопасность, повышенная прочность и высокие теплоизоляционные характеристики.

Производство шлакоблоков автоклавного твердения достаточно хорошо освещено в литературе [3, 5], однако вопросы управления такими производствами, использующими ЗШО теплоэлектроцентралей, работающих на бурых углях, до сих пор не нашли должного отражения в печати. Вызвано это тем, что золы содержат большое количество недожога, так как угли относятся к трудносжигаемым видам топлива, в топке сгорают не полностью и крупные частицы недожженного бурого угля необходимо отсеивать. Затем их можно использовать при топке в котельной, а просеянные ЗШО вместе с известью измельчаются в планетарных мельницах, в которых одновременно происходит высушивание за счет оставшихся мелких частиц недожога. В свою очередь, степень измельчения, т.е. тонина помола, влияет на качество газозолосиликатного шлакоблока, а содержание ок-

сида железа в золах не позволяет традиционным методом изготавливать шлакоблоки, так как при достижении определенной температуры оксиды железа преждевременно кристаллизуются, что сильно ухудшает качество готовой продукции. Из-за сложности алгоритма управления производством шлакоблоков автоклавного твердения к настоящему времени его удалось реализовать только в полуавтоматическом режиме с использованием типовых нечетких регуляторов (ТНР), а информация об этих алгоритмах существует только в виде устных знаний небольшой группы экспертов фирмы «Спецстройматериалы».

В основе алгоритма функционирования ТНР лежит специализированная нечеткая логика, реализованная в классе нечетких правил типа:

$$\begin{aligned} \text{ЕСЛИ } X_{11}, X_{12}, \dots, X_{1n}, \text{ ТО } U_1 \\ \text{ЕСЛИ } X_{21}, X_{22}, \dots, X_{2n}, \text{ ТО } U_2, \\ \text{ЕСЛИ } X_{m1}, X_{m2}, \dots, X_{mn}, \text{ ТО } U_m \end{aligned} \quad (1)$$

где x_{ij} – значения входов x_j (величина рассогласования между заданным и реальным значением выходной характеристики объекта, скорость изменения этой величины и т. д.);

U_i – управления ($i=1, m; j=1, n$).

В зависимости от диапазона изменения и точности измерения каждая из координат x_j, U_i описывается своим нечетким множеством с соответствующей функцией принадлежности.

Структура модели нечетких вычислений по совокупности правил (1) представлена на рис. 1.

Нечеткое управление реализовано специальными нечеткими контроллерами, в основе их лежит так называемая машина нечетких выводов, которые выполняются путем вычисления характеристических значений выходной лингвистической переменной через характеристические

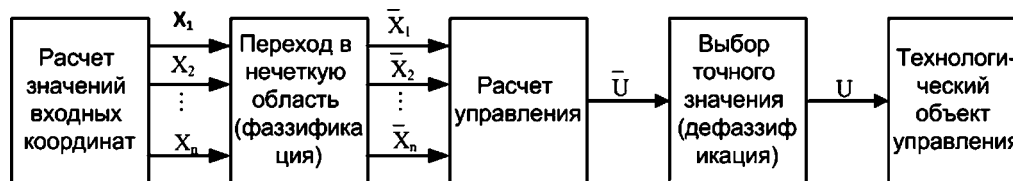


Рисунок 1. Структура модели нечетких вычислений

значения входных лингвистических переменных по логическим формулам, использующим логические операции «И» и «ИЛИ». (рис. 2) [8].

Эта машина реализует нечеткий вывод типа «Если А, то В». Блок, реализующий функцию С-MIN, осуществляет пересечение множеств А и А'. Блок, реализующий функцию E-MAX, выделяет из множества А А' элемент с максимальным значением, который осуществляет усечение множества В, превращая его в множество В'.

Переход от лингвистических переменных, принимающих различные лингвистические значения – ТЕРМЫ, производится через соответствующие характеристические функции – функции принадлежности.

Кроме того, ТНР не позволяют обеспечить (главным образом из-за процедуры дефаззификации [1, 2, 4]) необходимую точность поддержания температуры и давления в стадиях функционирования автоклава. Все это говорит о целесообразности автоматизации упомянутого технологического процесса на основе четкого логического регулятора, который по сравнению с ТНР обладает меньшей погрешностью регулирования [6].

Технологический регламент производства газосиликатных шлакоблоков автоклавного твердения состоит из пяти стадий: загрузка автоклава, прогрев, выдержка, охлаждение и выгрузка готового продукта. Для получения качественных шлакоблоков температура и давление в автоклаве на стадиях прогрева, выдержки и охлаждения должны изменяться по графикам, изображенным на рис. 3, с допустимым отклонением $\pm 5\%$. Причем изменение температуры в стадии охлаждения состоит из 10 временных интервалов продолжительностью 12 мин. со «своими» законами изменения температуры, в то время как давление в этой стадии уменьшается по линейному закону. Задача управления усложняется еще и тем, что длительность стадий 2 ÷ 4 и законы изменения температуры и давления в автоклаве меняются в зависимости от количества вводимой добавки в шлакоблоч-

ную смесь для нейтрализации оксида железа, содержание которого в составе ЗШО Кумертауской ТЭЦ меняются в широких пределах.

В ходе технологических экспериментов выявлено шесть оптимальных значений нейтрализующих добавок с разной продолжительностью временных интервалов и со своими графиками изменения температуры и давления, а значит, и с различными режимами работы автоклава, при которых обеспечивается наилучшее качество

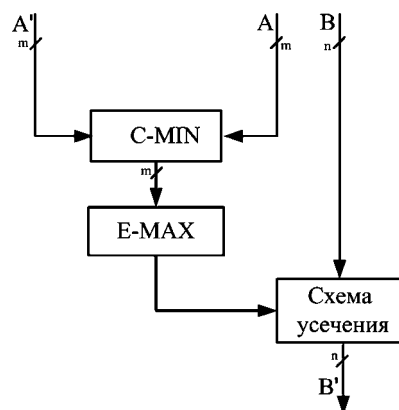


Рисунок 2. Функциональная схема машины нечетких выводов

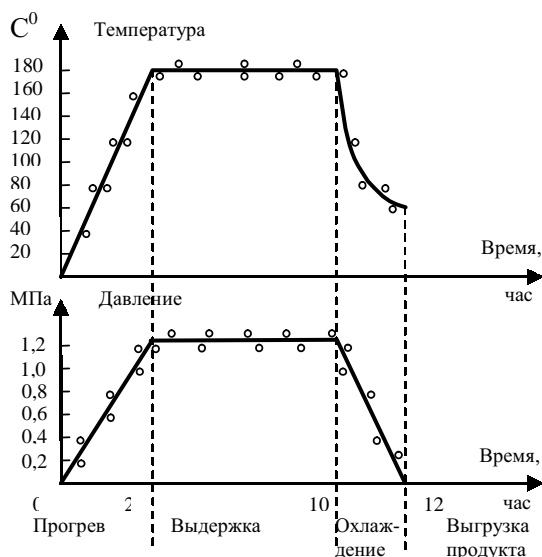


Рисунок 3. Один из шести режимов работы автоклава: ○ эксперимент; — технологический регламент

шлакоблоков и минимум энергозатрат. Совершенно очевидно, что для управления упомянутыми режимами требуются отдельные регуляторы со своими коэффициентами передачи.

Поскольку внутри каждой технологической стадии температура и давление во времени во всех технологических стадиях изменяются по линейному закону (кроме изменения температуры в зоне охлаждения), то управление процессом автоклавного твердения шлакоблоков целесообразно возложить на программно-реализованный ПИД-регулятор [7], коэффициенты передачи которого автоматически устанавливаются четким логическим регулятором в соответствии с графиками, изображенными на рис. 3, для одной из шести нейтрализующих добавок в шлакоблочную смесь. ПИД-регулятор формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трех слагаемых, первое из которых пропорционально входному сигналу, второе — интеграл входного сигнала, третье — производная входного сигнала. Из рис. 3 следует, что по стадиям в автоклаве необходимо реализовать следующие законы изменения температуры $T(t)$ и давления $P(t)$ во времени t .

$$T(t) = \begin{cases} 90 \cdot t & \text{(Стадия 1)} \\ 180 & \text{(Стадия 2)} \\ 180 - 100 \cdot (t - 10) & \text{(Стадия 3)} \\ 160 - 100 \cdot (t - 10,2) & \text{(Стадия 4)} \\ \dots & \\ \dots & \\ 60 - 50 \cdot (t - 11,8) & \text{(Стадия 12)} \end{cases} \quad (2)$$

$$P(t) = \begin{cases} 0,6 \cdot t & \text{(Стадия 1)} \\ 1,2 & \text{(Стадия 2)} \\ 10 - 5 \cdot (t - 10) & \text{(Стадия 3)} \end{cases} \quad (3)$$

В выражении (2) нелинейная зависимость температуры от времени на стадии охлаждения подвергнута кусочно-линейной аппроксимации, в результате чего внутри каждого из десяти интервалов времени, длительностью 12 мин., покрывающих эту стадию, функция $T(t)$ заменена соответствующим линейным отрезком. Линейность функции $P(t)$ внутри всех стадий работы автоклава позволяет представить ее тремя функциями (3).

Структурная схема, реализующая предлагаемую концепцию регулирования температуры в автоклаве, представлена на рис. 4. Регулятор давления имеет аналогичную структуру.

Совокупность четких термов $T_1 \div T_{12}$, интерпретирующих продолжительность стадий работы автоклава, изображена на рис. 5, из которого следует, что ширина терма T_1 составляет 2 часа, терма T_2 — десять часов, а четкие термы $T_3 - T_{12}$ имеют одинаковую ширину, равную 12 мин. В свою очередь, линейность функции $P(t)$ на стадии охлаждения позволяет адекватно интерпретировать ее совокупностью трех четких термов, из которых термы P_1 и P_2 имеют такую же ширину, что и термы T_1 и T_2 , а для представления стадии охлаждения по давлению достаточно одного терма P_3 с шириной 2 часа.

Принципиальная особенность четких термов по сравнению с нечеткими состоит в их логической природе — они являются аргументами двузначной логики. Отсюда следует, что у логической переменной T (температура в автоклаве) на рис. 5, представленной совокупностью четких термов $T_1 \div T_{12}$, в любой момент времени имеется только один терм, значение которого равно логической единице. Аналитически это можно представить следующим выражением:

$$\mu_{T_i}(t) = \begin{cases} 1, & \text{если } t_{i-1} \leq t < t_i \text{ то есть } t \in T_i; \\ 0, & \text{если } t_{i-1} > t \geq t_i \text{ то есть } t \notin T_i, \end{cases} \quad (4)$$

где $i = \overline{(1 \div 12)}$ — номер терма логической переменной T (температура в автоклаве). Например, для терма T_1 $i=1$, $\mu_{T_1}(t)=1$ при $0 \leq t < 2$. Во всех остальных случаях $\mu_{T_i}(t)=0$.

Исходные данные для построения системы производственных правил четкого логического регулятора температуры и давления представлены в табл. 1 и 2 соответственно.

Числовые значения коэффициентов K_n, K_u и K_d в табл. 1 и 2 взяты из результатов настройки ПИД-регулятора при работе с реальным объектом (автоклавом) в каждой технологической зоне.

По табл. 1 и 2 построены системы производственных правил с четкими термами, реализующие логические регуляторы температуры и давления, состоящие из 12-ти и 3-х продукций соответственно. Например, первое производственное правило регулятора температуры имеет вид:

$$\begin{aligned} &\text{если } T=T_1 \& P=P_1 \& K_p \\ &\text{то } K_n=1,1 \& K_u=3,4 \& K_d=15, \end{aligned}$$

где K_1 — дискретный сигнал от путевого датчика «Контроль закрытия дверки автоклава».

То же самое для регулятора давления:

$$\begin{aligned} &\text{если } P=P_1 \& T=T_1 \& K_p \\ &\text{то } K_n=2,1 \& K_u=4,4 \& K_d=13,5. \end{aligned}$$

Цикл работы автоклава инициируется подачей на блоки «Технологические часы» и «Задатчик температуры» сигнала «Автоклав загружен» (рис. 3). С первого выхода технологических часов подается сигнал на задатчик температуры, на выходе которого вырабатывается функция $T_{зад} = 90 \cdot t$, соответствующая стадии прогрева (2). Одновременно с выхода 2 этого же блока подается команда на вход четкого логического регулятора (ЧЛР), в результате чего на его выходе выставляются значения коэффициентов для ПИД-регулятора в соответствии с табл. 1 при $T=T_p$, т.е. $K_n=1,1$, $K_u=3,4$, $K_d=15$. ПИД-регулятор вырабатывает управляющее воздействие U , которое исполнительным механизмом ИМ преобразуется в угол поворота j вентиля, регулирующего подачу пара в автоклав.

По истечении двух часов на выходе задатчика температуры и выходах ЧЛР устанавливаются сигналы, соответствующие стадии выдержки (в табл. 1 четкий терм T_2), и в автоклаве до 10 часов с момента начала технологического цикла ПИД-регулятором поддерживается температура, равная 180°C . При равенстве логической единице терма T_3 описанный процесс повторяется со значениями $T_{зад}$, K_n , K_u и K_d , соответствующими этому терму в выражении (2) и табл. 1. Затем то же самое выполняется для остальных термов $T_4 \div T_{12}$ вплоть до окончания цикла работы автоклава. Аналогичным образом логический регулятор давления реализует три режима для стадий прогрева, выдержки и охлаждения, которые интерпретируются четкими термами $P_1 \div P_3$ (табл. 2). Как следует из рис. 3, погрешность регулирования во всех технологических стадиях не превышает $2 \div 3\%$, что приводит к повышению качества шлакоблоков и снижению их себестоимости на $20 \div 30\%$.

По сравнению с нечеткими регуляторами четкие логические регуляторы в сочетании с

Таблица 1. Исходные данные для синтеза четкого логического регулятора температуры

Если $0 \quad t < 2$ ($T=T_1$),	ТО	$K_n=1,1$ $K_u=3,4$ $K_d=15$
Если $2 \quad t < 10$ ($T=T_2$),	ТО	$K_n=1$ $K_u=2,9$ $K_d=9$
Если $10 \quad t < 10,2$ ($T=T_3$),	ТО	$K_n=0,39$ $K_u=5,5$ $K_d=0,1$
Если $10,2 \quad t < 10,4$ ($T=T_4$),	ТО	$K_n=0,37$ $K_u=5,3$ $K_d=8$
Если $10,4 \quad t < 10,6$ ($T=T_5$),	ТО	$K_n=0,35$ $K_u=5,1$ $K_d=7$
Если $10,6 \quad t < 10,8$ ($T=T_6$),	ТО	$K_n=0,33$ $K_u=0,49$ $K_d=0,1$
Если $10,8 \quad t < 11$ ($T=T_7$),	ТО	$K_n=0,31$ $K_u=0,47$ $K_d=5$
Если $11 \quad t < 11,2$ ($T=T_8$),	ТО	$K_n=0,29$ $K_u=0,45$ $K_d=4,5$
Если $11,2 \quad t < 11,4$ ($T=T_9$),	ТО	$K_n=0,27$ $K_u=0,43$ $K_d=4$
Если $11,4 \quad t < 11,6$ ($T=T_{10}$),	ТО	$K_n=0,25$ $K_u=0,41$ $K_d=3,5$
Если $11,6 \quad t < 11,8$ ($T=T_{11}$),	ТО	$K_n=0,26$ $K_u=0,42$ $K_d=3,25$
Если $11,8 \quad t \geq 12$ ($T=T_{12}$),	ТО	$K_n=0,25$ $K_u=0,41$ $K_d=3$

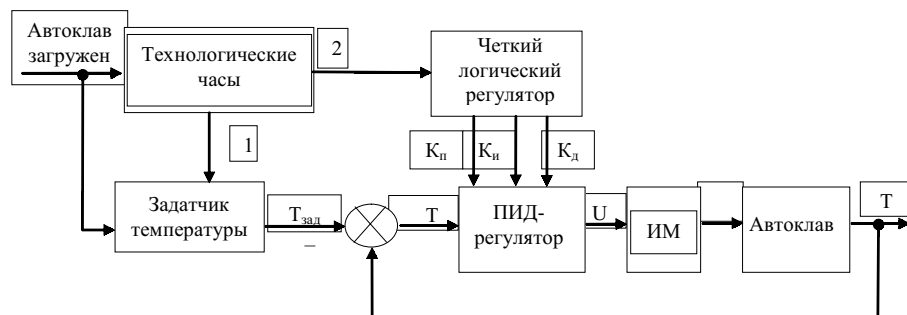


Рисунок 4. Система регулирования температуры в автоклаве с четким логическим регулятором: ИМ – исполнительный механизм; K_n , K_u , K_d – коэффициенты передачи соответственно пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих ПИД-регулятора; T , $T_{зад}$ – фактическая и заданная температура в автоклаве, $^\circ\text{C}$; $\Delta T = T - T_{зад}$

Таблица 2. Исходные данные для синтеза четкого логического регулятора давления

Если $0 \cdot t < 2$ ($P=P_1$),	ТО	$K_n=2,1$
		$K_i=4,4$
		$K_d=13,5$
Если $2 \cdot t < 10$ ($P=P_2$),	ТО	$K_n=2,1$
		$K_i=3,9$
		$K_d=8,28$
Если $10 \cdot t < 12$ ($P=P_3$),	ТО	$K_n=0,49$
		$K_i=3,5$
		$K_d=0,31$

ПИД-регулятором позволяют более точно и проще реализовать в широком диапазоне изменение температуры и давления во времени по заданной программе, предусмотренной технологическим регламентом процесса автоклавного твердения газосиликатных шлакоблоков. Для ПИД-регуляторов температуры и давления в

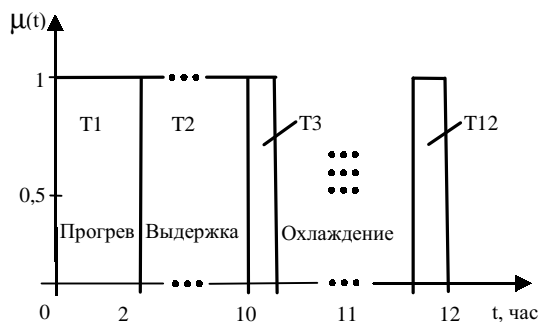


Рисунок 5. Четкие термы логической переменной T (Температура в автоклаве)

автоклаве (стадии прогрева, выдержки и охлаждения) экспериментально получены приемлемые с точки зрения устойчивости регулирования и качества газосиликатных шлакоблоков значения коэффициентов передачи для пропорциональной, интегральной и дифференциальной составляющих.

23.11.10

Список литературы:

1. Круглов В.В., Дзли М.И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода. М.: Физматлит, 2002.
2. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и Fuzzy TECH. – СПб.: БХВ-Петербург. – 2005. 736 с.: ил.
3. Чаус К.В., Чистов Ю.Д., Лабзина Ю.В. Технология производства строительных материалов, изделий и конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. 448 с.
4. Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. Теория и практика: учебное пособие. – М.: Радиотехника, 2009. 392 с., ил.
5. Боженов П.И. Технология автоклавных материалов. – Л.: Стройиздат, Ленинг. отд-ние, 1978. 368 с.
6. Каяшева Г.А., Муравьева Е.А., Байманов И.Ф. Дискретно-логическая система регулирования величины рН электролита в производстве хлора методом электролиза // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефтяной промышленности: Науч.-техн. журнал. – М.: ОАО «ВНИИОЭНТ», 2008. №1. – С. 10-13.
7. Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-ти т.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3: синтез регуляторов систем автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 616 с.; ил.
8. Асаи К., Вагада Д., Иваи С. и др./ под ред. Т. Тэрано, К. Асаи, М. Сугено. Прикладные нечеткие системы. – М.: Мир, 1993. – 368 с.

Сведения об авторе:

Сазонова Татьяна Васильевна, старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий Кумертауского филиала Оренбургского государственного университета 453300, Республика Башкортостан, г. Кумертау, 2-й пер. Советский, 3б. (34761) 21838, e-mail: t.sazonowa@yandex.ru

UDC 621.3:621.38

Sazonova T.V.

SLAG STONES PRODUCTION MANAGEMENT OF AUTOCLAVED SOLIDIFICATION FROM ASH-AND-SLAG WASTE OF THERMOELECTRIC POWER STATION BASED ON CLEAR LOGIC CONTROLLERS

The author of this work suggests the system of temperature and pressure regulation at the technological process of autoclaved solidification of gas-ash-silicate slag stones on the basis of the PID-controllers in which a discrete change of the transmission coefficients of proportional, integral and differential components is produced by a clear logical controller, having compared with the typical fuzzy controllers more speed and less accuracy.

Key words: resource saving; set of clear terms, the system of production rules; slag stones mixture, autoclaved solidification; ash-and-slag waste; production schedules.