

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ВЕЛИЧИНЫ РАСХОДА ГАЗА, ПОДАВАЕМОГО НА ВРАЩАЮЩУЮСЯ ПЕЧЬ

valerymag@nm.ru

**Фролов С.В., студент,
Юдин Д.А., канд. техн. наук, ассистент,
Магергут В.З., д-р техн. наук, проф.**
*Белгородский государственный технологический
университет им. В.Г. Шухова*

Аннотация. В статье рассмотрена задача формирования величины расхода газа, подаваемого на вращающуюся цементную печь, на основе статистических данных о процессе обжига, получаемых с помощью традиционных датчиков и системы технического зрения. Для выявления взаимосвязи «входы-выход» рассмотрено применение трех методов: классической регрессионной модели, метода группового учёта аргументов и нейро-нечёткой сети. В ходе тестирования метод группового учёта аргументов обеспечил лучшие результаты с точки зрения среднеквадратичного отклонения найденного расхода газа от его истинного значения. Показана перспективность применения метода в составе советующей системы управления вращающейся печью.

Ключевые слова: статистический метод, процесс обжига, вращающаяся печь, метод группового учета аргументов, регрессионная модель, нейро-нечеткая сеть.

1. Постановка задачи

При разработке системы управления обжигом во вращающихся печах исходными данными, как правило, служат статистические данные с датчиков технологических величин и данные распознавания состояния зоны обжига печи с использованием системы технического зрения, которые получены в результате пассивного эксперимента [1]. Одним из основных управляющих воздействий является расход газа – топлива, режим горения которого обеспечивает требуемое качество клинкера на выходе печи. Формирование зависимости между величиной управляющего воздействия и показаниями датчиков при имеющихся статистических данных сводится к задаче аппроксимации.

Необходимо проанализировать работу оператора по управлению расходом газа, в том числе для выявления возможности создания

системы автоматизированного управления на основе статистических данных о технологических величинах процесса обжига. Укрупненную структуру системы формирования величины расхода газа можно представить в виде «чёрного» ящика, показанного на рис. 1.

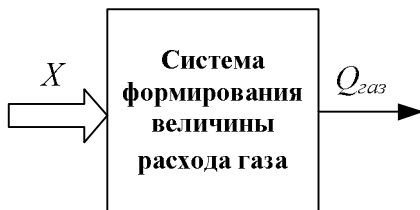


Рисунок 1 – Укрупненная структура системы формирования величины расхода газа на вращающуюся печь

На рисунке $X = [T_{oz}, P_{oz}, C_{CO_2}, T_1, T_2, I_{нагр}, T_{вт}, P_{вт}, Q^{(t-\Delta t)}_{газ}, Y]$ – вектор, содержащий данные о процессе обжига, получаемые с помощью традиционных датчиков: T_{oz} и P_{oz} – температура и давление отходящих газов; C_{CO_2} – концентрация углекислого газа в отходящих газах; T_1 и T_2 – температура материала в зоне подогрева и кальцинирования; $I_{нагр}$ – нагрузка на главном приводе печи; $T_{вт}$, $P_{вт}$ – температура и давление вторичного воздуха, $Q^{(t-\Delta t)}_{газ}$ – величину расхода газа в предыдущий момент измерений ($t-\Delta t$); а также параметр определяемый с помощью системы технического зрения: Y – оценка состояния зоны спекания.

Выходная величина разрабатываемой системы – расход газа $Q^{(t)}_{газ}$, который необходимо установить в текущий момент времени t .

Данный набор данных был выбран на основе опроса операторов на заводе ЗАО «Осколцемент», анализа трудов [2, 3], работ по оценке состояния зоны спекания [4 - 6], где предложен метод качественной оценки состояния зоны спекания вращающейся печи Y , которая имеет несколько целых значений, соответствующих категориям: «сильно ослаблена (брак)» ($Y = 0$), «ослаблена» ($Y = 1$), «несколько ослаблена» ($Y = 2$), «в норме» ($Y = 3$), «перегрета» ($Y = 4$). Для оценки этих состояний зоны спекания применен метод экстремального обучения нейронной сети [5]. Он позволяет по вектору информативных признаков, найденных на изображении процесса обжига внутри печи, с точностью $96,7 \pm 1,9\%$ на обучающей и $94,1 \pm 9,9\%$ на тестовой выборках найти оценку состояния зоны спекания во вращающейся печи (см. рис. 2).

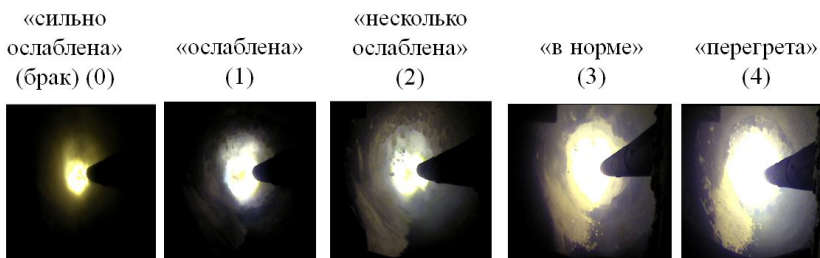


Рисунок 2 – Оценка состояния зоны спекания вращающейся цементной печи по изображениям процесса обжига

2. Анализ применимости статистических методов для формирования расхода газа на вращающуюся цементную печь

Существуют различные методы аппроксимации данных, обеспечивающие решение данной задачи.

Могут применяться регрессионные модели, как классические [7], так и сложные иерархические модели, например, на основе метода группового учета аргументов [8]. С помощью них выявляется эмпирическая зависимость входных и выходных данных, адекватность которой определяется качеством и полнотой проведенного эксперимента.

Искусственные нейронные сети позволяют аппроксимировать любые непрерывные функции [9]. Однако представление модели в виде «черного» ящика и вопросы устойчивости, которые возникают при применении нейронных сетей в задачах управления, ограничивают их использование.

Применение нечёткой логики для управления технологическими процессами вполне оправдано, только в случае, когда существует формализуемая экспертами связь между входными и выходными переменными. Для вращающихся цементных печей существуют ряд подходов к построению баз нечетких правил [4, 10], которые, однако, требуют дополнения и расширения.

Активно исследуется применение комбинированных методов, например, нейро-нечётких сетей, которые объединяют возможности нейронных сетей и нечеткой логики [11, 12]. В них алгоритмы нечеткого логического вывода, сформированные экспертами, включаются в структуру нейронной сети.

В данной статье с точки зрения минимума среднеквадратического отклонения ошибки аппроксимации данных рассматривается работа трех методов: классической регрессионной модели, метод группового

учёта аргументов с опорными функциями двух аргументов с выбором 8 наилучших функций по среднеквадратичному отклонению (СКО) и нейро-нечёткая сеть ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference System – адаптивная сеть нечеткого вывода).

Данные алгоритмы аппроксимации были реализованы в среде Matlab.

Для тестирования использовались статистические данные о работе печи за январь месяц 2015 года (500 точек), обучение методов производилась на 75% данных. После тестирования были получены следующие результаты, представленные в графическом виде: сплошная линия (синий цвет) – расход газа, задаваемый оператором, короткая штриховая линия (зелёный), длинная штриховая линия (красный) и штрих-пунктирная линия (голубой) – расход газа, полученный в результате работы выбранных методов (см. рис. 3). Представлены последние 500 значения расхода газа с интервалом 5 минут.

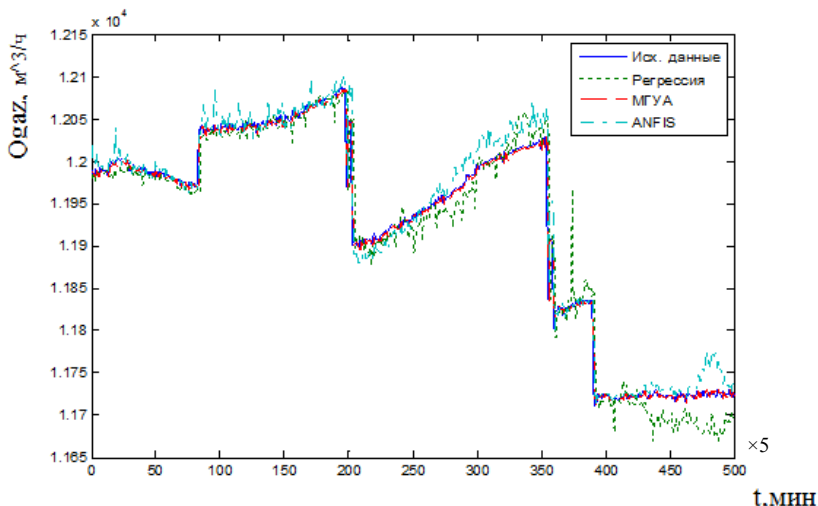


Рисунок 3 – График сравнения результатов работы методов формирования расхода газа

Среднеквадратические отклонения (СКО) расхода газа от показаний оператора на тестовых данных для различных методов аппроксимации показаны в табл. 1.

Таблица 1 – Среднеквадратические отклонения расхода газа от показаний оператора на тестовых данных

№ пп	Метод аппроксимации	СКО расхода газа, м ³ /ч
1.	Классическая регрессионная модель	69,45
2.	МГУА	15,10
3.	Нейро-нечёткая сеть	65,29

Следовательно, с точки зрения точности работы наиболее подходящим для использования в разрабатываемой системе управления является метод группового учёта аргументов.

3. Выводы и перспективы

В ходе выполнения данной работы были рассмотрены методы аппроксимации данных, для формирования величины расхода газа $Q_{газ}$ на основе состояния зоны спекания печи и других технологических величин. При этом не учитывались изменения состава и расхода шлама, влияние которых на величину расхода газа планируется рассмотреть в ходе дальнейших исследований.

В результате тестирования было выявлено, что самым эффективным с точки зрения точности явился метод группового учёта аргументов. Разработан общий модуль, реализующий функции рассмотренных аппроксиматоров, который может быть использован при разработке приложения под платформу .NET Framework.

В дальнейшем на основе выбранного метода планируется разработка советующей системы управления всей вращающейся цементной печью, в которую помимо расхода газа, войдет положение шибера дымососов и вентилятора общего дутья, расход шлама, разрежение отходящих газов в пылесадительной камере, режим вращения печи и др.

Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Белгородской области в рамках проекта №14-41-08016 «р_офи_м».

Список литературы:

1. Порхало В.А., Рубанов В.Г., Шапала В.Г. Автоматизация печи обжига клинкера на основе каскадной и многосвязной систем управления // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 2. С. 69-72.

2. Классен В.К. Основные принципы и способы управления цементной вращающейся печью // Цемент и его применение. 2004. № 2. С. 39-42.
3. Классен В.К. Технология и оптимизация производства цемента: краткий курс лекций: учеб. пособие. / Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. 308 с.
4. Юдин Д.А., Магергут В.З., Гатилов О.Б. Автоматизированное управление вращающейся печью на основе анализа изображений с использованием нечеткой логики // Цемент и его применение. 2014. № 4. С. 68-75.
5. Юдин Д.А. Автоматизированная система управления вращающимися печами с применением технического зрения : дис. ... канд. техн. наук : 05.13.06; защищена 22.05.14; утв. 05.11.2014 / Юдин Дмитрий Александрович. Белгород, 2014. 203 с.
6. Yudin D.A., Magergut V.Z., Dobrinskiy E.P. Machine vision system for assessment of firing process parameters in rotary kiln // World Applied Sciences Journal. T. 24. № 11. 2013. С. 1460-1466.
7. Шашков В.Б. Прикладной регрессионный анализ (многофакторная регрессия). Учебное пособие / Оренбург, ГОУ ВПО ОГУ, 2003. 363 с.
8. Зайченко Ю.П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Учеб. пособие для ВУЗов. Информатика. Прикладное обеспечение. Изд-во: Слово, Киев. 2008. 344 с.
9. Горбань А.Н. Обобщенная аппроксимационная теорема и вычислительные возможности нейронных сетей // Сибирский журнал вычислительной математики. 1998. Т.1. № 1. С. 12-24.
10. Magergut V.Z., Vazhanov A.G., Vashchenko R.A. Algorithmic approaches to synthesis fuzzy control systems for objects with continuous technology // World Applied Sciences Journal. 2013. T.24. № 10. С. 1291-1295.
11. Ротштейн А.П., Штовба С.Д. Проектирование нечетких баз знаний: лабораторный практикум и курсовое проектирование. Учебное пособие / Винница: Винницкий государственный технический университет, 1999. 165 с.
12. Тэрно Т., Асаи К., Сугэно М. Прикладные нечеткие системы / Изд-во: Мир, Москва. 1993. 368 с.