

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Барбасова Т.А., Бауман Е.В., Самолетова П.А., Черепанова С.А.

Аннотация: В данной статье рассматривается метод определения режимов работы доменной печи с помощью интеллектуального анализа данных на основе самоорганизующихся карт Кохонена. Целью работы являлась разработка программного обеспечения для управления режимами работы доменных печей на основе построения многомерных областей решений по основным показателям, характеризующим доменную плавку, включая качественные характеристики кокса, металлошихты, горячего дутья. Приведены результаты исследований влияния соотношения удельного расхода природного газа и удельного расхода технологического кислорода в каждом кластере на производительность печи и удельный расход кокса (УРК) исходя из технологической статистики доменных печей металлургического предприятия.

Ключевые слова: доменная печь, кластеризация, нейронные сети, режимы работы, самоорганизующаяся карта Кохонена.

Введение

В настоящее время вопросы повышения эффективности доменной плавки широко освещены в литературе [1-5]. При этом важным является стабилизация теплового состояния доменной печи при изменении большого количества входных параметров. Анализ поступающей информации и выбор оптимального режима работы требуют высокой квалификации персонала, обслуживающего печь. В связи с этим применение аппарата систем искусственного интеллекта в управлении доменным производством является одним из потенциально перспективных направлений современных исследований.

Определение текущих режимов работы доменной печи является весьма трудной задачей, так как разброс значений режимных параметров определяется множеством причин: неполнотой измеряемых факторов, действующих на доменный процесс, низкой точностью измерений, невозможностью измерения внутренних параметров доменного процесса, случайностью колебаний входных параметров шихты, дутья и т.д. Учесть детально все эти факторы крайне сложно при современном уровне развития техники измерения и управления доменным процессом. Одним из способов решения данной задачи является применение программных средств глубинного анализа статистических данных эксплуатации (*Data Mining*), таких как применение искусственных нейронных сетей. В данной статье предложен способ определения режимов работы доменной печи с помощью самоорганизующихся сетей Кохонена [1].

Описание алгоритма кластеризации

Алгоритм работы самоорганизующихся карт (англ. *Self-organizing map – SOM*) представляет собой один из вариантов кластеризации многомерных векторов – алгоритм проецирования с сохранением топологического подобия. Преимуществом самоорганизующихся карт Кохонена является то, что при обучении используется метод обучения без учителя, то есть результат обучения зависит только от структуры входных данных.

SOM подразумевает использование упорядоченной структуры нейронов в виде двумерной сетки. Подгонка *SOM* заключается в итеративной настройке вектора весовых коэффициентов w_j каждого нейрона, для чего используется модифицированный алгоритм соревновательного обучения Хебба, который учитывает не только вклад нейрона-победителя, но и ближайших его соседей, расположенных в R -окрестности:

1. На стадии инициализации всем весовым коэффициентам присваиваются небольшие случайные значения w_{0ij} , $i=1, 2, \dots, m$.

2. На выходы сети подаются последовательно в случайном порядке образы y объектов входного слоя и для каждого из них выбирается нейрон-победитель (*BMU, Best Matching Unit*) с минимальным расстоянием

$$\sum_{i=1}^m (y_i - w_{ij}^t).$$

3. Определяется подмножество «ближайшего окружения» ВМУ, радиус которого R уменьшается с каждой итерацией t

4. Пересчитываются веса w_{ij} выделенных узлов с учетом их расстояний до нейрона-победителя и близости к вектору y .

Шаги 2-4 алгоритма повторяются, пока выходные значения сети не будут стабилизированы с заданной точностью. В результате кластеризации исходные статистические данные делятся на несколько кластеров.

Определение режимов работы доменной печи

Доменному процессу свойственны такие особенности, как наличие сильных шумовых воздействий и значительных погрешностей при технологическом контроле; нестационарность условий и показателей работы печи и др. Поэтому предварительно из выборки были удалены выбросы, а также данные, соответствующие нестационарному режиму работы доменной печи. В данном исследовании кластеризация проводилась по большому количеству параметров доменного процесса (более 70).

В работе приведены примеры построения кластеров влияния соотношения удельного расхода природного газа ($V_{пг}$) и удельного расхода технологического кислорода ($V_{тк}$) на производительность и удельный расход кокса. Так на рис. 1 приведен пример графиков зависимостей влияния соотношения удельного расхода природного газа ($V_{пг}$) и удельного расхода технологического кислорода ($V_{тк}$) в каждом кластере соответственно.

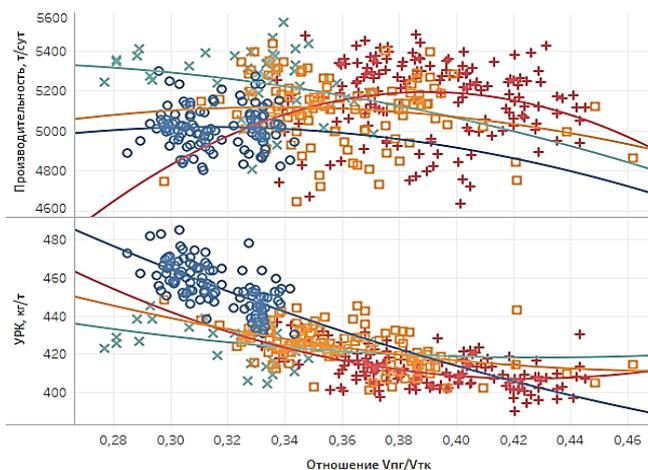


Рис. 1. График зависимости производительности и УРК от соотношения $V_{пг}/V_{тк}$

Для полученных кластеров определяются коэффициенты влияния соотношения удельного расхода природного газа и удельного расхода технологического кислорода на производительность и УРК для разных режимов работы печи с помощью кусочно-линейной аппроксимации. В таблице приведен пример рассчитанных коэффициентов для различных интервалов изменения параметра.

Таблица

Изменение УРК и производительности при увеличении соотношения $V_{пг}/V_{тк}$ на 0,1

Кластер	Интервал	УРК, %	Производительность, %
1	0,28-0,305	-12,62	1,17
	0,305-0,32		0,06
	0,32-0,34		-0,90
2	0,29-0,39	-5,65	-0,17
	0,39-0,47		-4,42
3	0,33-0,37	-8,15	7,01
	0,37-0,41		-0,03
	0,41-0,44		-6,19
4	0,27-0,32	-6,42	1,87
	0,32-0,35		0,06
	0,35-0,37		-1,08

Для расчета коэффициентов влияния фактора на производительность и УРК за определенный период подбирается кластер, наиболее близкий статистическим данным за этот пе-

риод. В качестве текущего кластера для каждого из факторов принимается кластер с минимальным евклидовым расстоянием от центра кластера до центра текущих данных.

На рис. 2 приведен скриншот разработанного программного обеспечения, содержащий пример графика расчета коэффициентов влияния соотношения удельного расхода природного газа и удельного расхода технологического кислорода на производительность и УРК за октябрь 2020 года. Синим цветом отображены все имеющиеся статистические данные изменения производительности и УРК в зависимости от значения $V_{пг}/V_{тк}$. Красным цветом выделен текущий кластер, на котором построена полиномиальная регрессионная зависимость. Уравнение регрессии отражено в легенде. Желтой точкой отмечен центр данных за требуемый период.

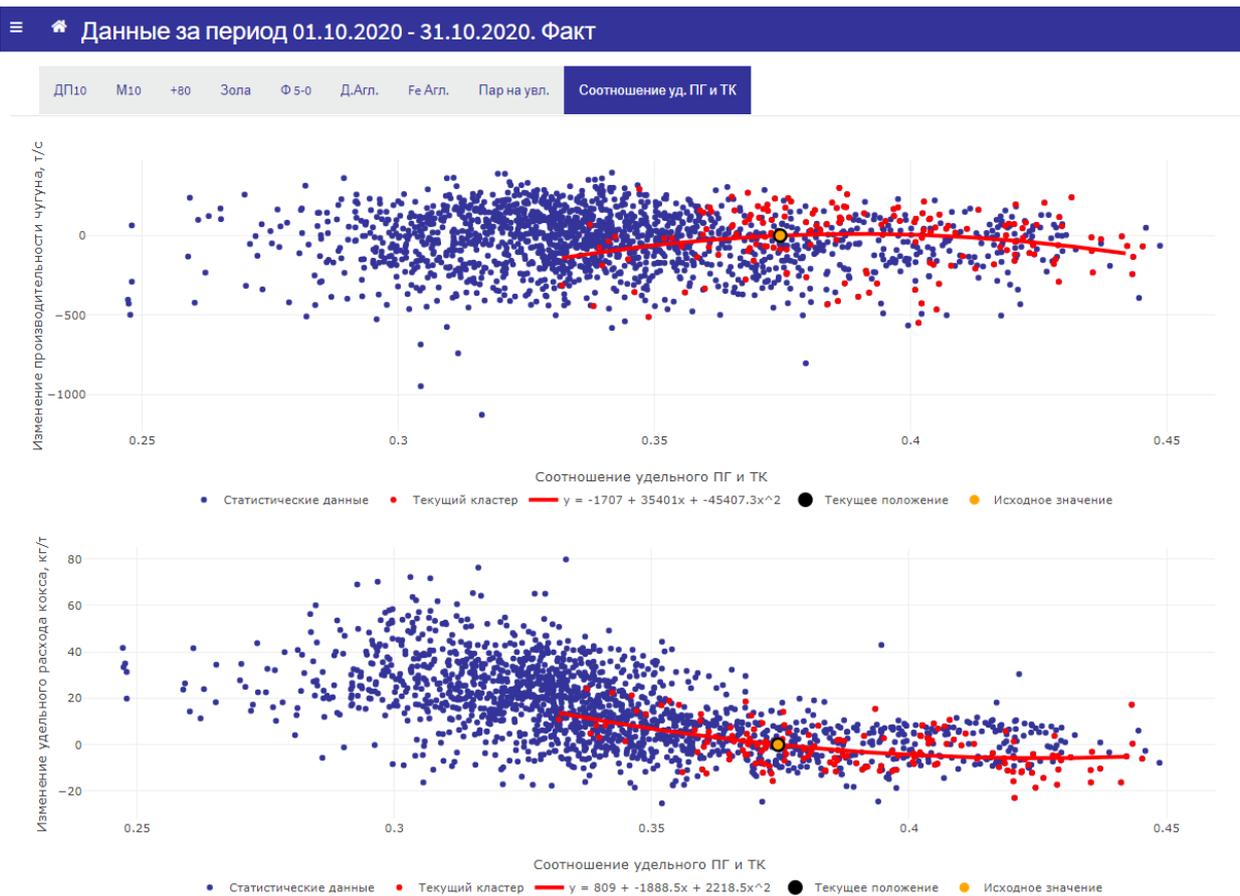


Рис. 2. График расчета коэффициентов влияния соотношения $V_{пг}/V_{тк}$ на производительность и УРК

Выводы

Таким образом, с помощью кластеризации на основе самоорганизующейся карты Кохонена были выделены режимы работы доменной печи. Для полученных кластеров определены коэффициенты влияния соотношения удельного расхода природного газа и удельного расхода технологического кислорода на производительность и УРК.

Полученные зависимости влияния технологических факторов на эффективность доменной плавки могут в дальнейшем использоваться для решения оптимизационных задач на технико-экономическом уровне, а также для оперативного управления доменной плавкой.

Список использованных источников

1. Повышение производительности доменной печи при оптимизации автоматического управления подачей природного газа и технического кислорода в дутье / Б.Н. Парсункин [и др.] // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. – 2011. – №4. – С.69-73.
2. Оптимизация и идентификация технологических процессов в металлургии / Н.А. Спириин [и др.]. – Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. – 307 с.
3. Сучков, А.В. Совершенствование управления многомерным технологическим объектом на примере доменной печи / А.В. Сучков, В.Г. Лисиенко, В.А. Сучков. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 126 с.
4. Товаровский, И.Г. Нормативная оценка влияния параметров доменной печи на расход кокса и производительность / И.Г. Товаровский // Сталь. – 2014. – №. 5. – С.4-11.

5. Товаровский, И.Г. Доменная плавка / И.Г. Товаровский. – Днепропетровск: Пороги, 2009. – 768 с.
6. Kohonen, T. The self-organizing map / T. Kohonen // Proceedings of the IEEE. – 1990. – Т.78. – №. 9. – С. 1464-1480.

Материал поступил в редакцию: 1.10.2021
Материал принят к публикации: 29.10.2021

INFORMATION ABOUT THE PAPER IN ENGLISH

NEURAL NETWORK APPLICATION FOR BLAST FURNACE REGIMES DETERMINATION

Barbasova T.A., Bauman E.V., Samoletova P.A., Cherepanova S.A.

Abstract. This article discusses a method for the blast furnace regimes determination using a data-mining algorithm based on Kohonen self-organizing maps. The aim of this work is to develop software for the blast furnace regimes control by the multidimensional decision area construction for the main indicators of blast furnace smelting, including the quality of coke, iron ore and hot blast. The article presents the results of the ratio of natural gas and technological oxygen influence on productivity and coke rate in each cluster based on the blast furnaces technological statistics of iron and steel plant.

Keywords: blast furnace, clustering, neural network, regimes, Kohonen self-organizing map.

References

1. Parsunkin B.N. [i dr.] (2011) *Vestnik MGTU im. G.I. Nosova*, 4 : 69-73.
2. Spirin N.A. [i dr.] (2006) *Optimizacziya i identifikacziya tekhnologicheskikh processov v metallurgii*. UGTU-UPY, Ekaterinburg.
3. Suchkov A.V., Lisienko V.G., Suchkov V.A. (2012) *Sovershenstvovanie upravleniya mnogomernym tekhnologicheskim obektom na primere domennoj pechi*. UrFU, Ekaterinburg.
4. Товаровский И.Г. (2014) *Stal*, 5 : 4-11.
5. Товаровский И.Г. (2009) *Domennaya plavka*. Porogi, Dnepropetrovsk.
6. Kohonen T. (1990) *Proceedings of the IEEE*, 78 : 1464-1480.

ОБ АВТОРАХ:

Барбасова Татьяна Александровна – кан-т техн. наук, доц., ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск. Email: barbasovata@susu.ru

Бауман Екатерина Вячеславовна – магистрант, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск. Email: bauman.e.v@yandex.ru.

Самолетова Полина Алексеевна – магистрант, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск.

Черепанова Светлана Андреевна – магистрант, ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)», г. Челябинск. Email: cherepanova_sa@mail.ru.

ОБРАЗЕЦ ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Барбасова, Т.А. Применение нейронной сети для определения режимов работы доменной печи / Т.А. Барбасова, Е.В. Бауман, П.А. Самолетова, С.А. Черепанова // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах. – 2021. – Т.9. – № 2. – С. 17-20. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-17-20.

Barbasova T.A., Bauman E.V., Samoletova P.A. and Cherepanova S.A. (2021) Neural network application for blast furnace regimes determination. Software of systems in the industrial and social fields. 9 (2): 17-20. DOI: 10.18503/2306-2053-2021-9-2-17-20.