

УДК 669.162

к.т.н. Должиков В. В.,
к.т.н. Диментьев А. О.,
к.т.н. Власенко Д. А.

(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР, dimentev@inbox.ru)

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА АГЛОМЕРАЦИОННОЙ ШИХТЫ И АГЛОМЕРАТА

В работе представлен статистический анализ влияния химического состава агломерационной шихты на полученный из нее агломерат. Определено, что наибольший вклад в нестабильность химического состава агломерата вносят колебания содержания CaO в агломерационной шихте, поэтому применение технологических мероприятий, направленных на уменьшение этого колебания, приведет к повышению качества окучкованного железорудного материала.

Ключевые слова: статистический анализ, агломерационная шихта, агломерат, колебание, химический состав.

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. В настоящее время высокие технико-экономические показатели работы доменной печи достигаются за счет выполнения ряда условий, среди которых требования к химическому составу железорудной части шихтовых материалов:

- максимальное содержание железа;
- минимальное количество вредных примесей;
- минимальные количественные колебания химического состава [1, 2].

С целью соблюдения последнего требования для агломерата как одной из основных составляющих железорудной части шихты доменной печи на металлургических предприятиях выполняют следующие мероприятия: ряд усреднительных операций на разных стадиях технологического процесса спекания, повышают точность дозировки компонентов при составлении шихтовых смесей и т. д. [3].

При этом качество загружаемого в доменную печь агломерата зависит от колебания химических соединений в агломерационной шихте, которое для каждого металлургического предприятия имеет индивидуальные значения.

Постановка задачи. Оценить влияние химического состава агломерационной шихты на содержание различных соедине-

ний в спекаемом агломерате в условиях выбранного металлургического предприятия.

Методика исследования. Статистический анализ данных о химическом составе агломерационной шихты и агломерата.

Изложение материала и его результаты. Рассмотрено 4178 проб агломерационной шихты и 4605 проб агломерата одного из ведущих металлургических предприятий СНГ. После их синхронизации и удаления неполных проб оставлено 4153 пробы.

В качестве исследуемых факторов в пробах агломерационной шихты использовали данные о содержании Fe , CaO , SiO_2 , влажности и основности (CaO/SiO_2), а в пробах агломерата — Fe , FeO , CaO , SiO_2 , MgO , Al_2O_3 , MnO и основности (CaO/SiO_2). В таблице 1 приведены основные статистические характеристики переменных по выборке.

Полученные гистограммы частот по каждой переменной имеют нормальный закон распределения, кроме графика зависимости влажности агломерационной шихты, который представлен на рисунке 1.

Для оценки стохастической связи между переменными были рассчитаны коэффициенты парной корреляции. Переменные с малыми значениями всех коэффициентов были исключены из дальнейшего анализа, а остальные, с учетом внесенных изменений, пересчитаны и приведены в таблице 2.

МЕТАЛЛУРГИЯ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Таблица 1

Статистические характеристики переменных (%)

Переменная	Кол-во проб	Среднее	Минимальное значение	Максимальное значение	Станд. отклонение	Коэф. вариации
Агломерационная шихта						
Fe _ш	4153	49,2	40,1	61,4	2,75	6
SiO _{2ш}	4153	8,5	5,8	11,6	0,72	8
CaO _ш	4153	10,5	1,8	16,9	1,86	18
Влажность _ш	4153	7,3	1,2	15,5	1,41	19
Основность _ш	4153	1,24	0,24	2,42	0,21	17
Агломерат						
Fe _а	4153	53,8	48,7	58,8	1,57	3
FeO _а	4153	13,2	5,8	24,3	1,86	14
CaO _а	4153	12,1	6,4	17,6	1,66	14
SiO _{2а}	4153	9,4	7,2	11,9	0,69	7
MgO _а	2156	1,3	0,7	2,6	0,18	14
Al ₂ O _{3а}	2033	1,2	0,5	2,2	0,23	19
MnO _а	784	0,3	0,0	1,1	0,12	46
Основность _а	4153	1,29	0,69	2,02	0,157	12

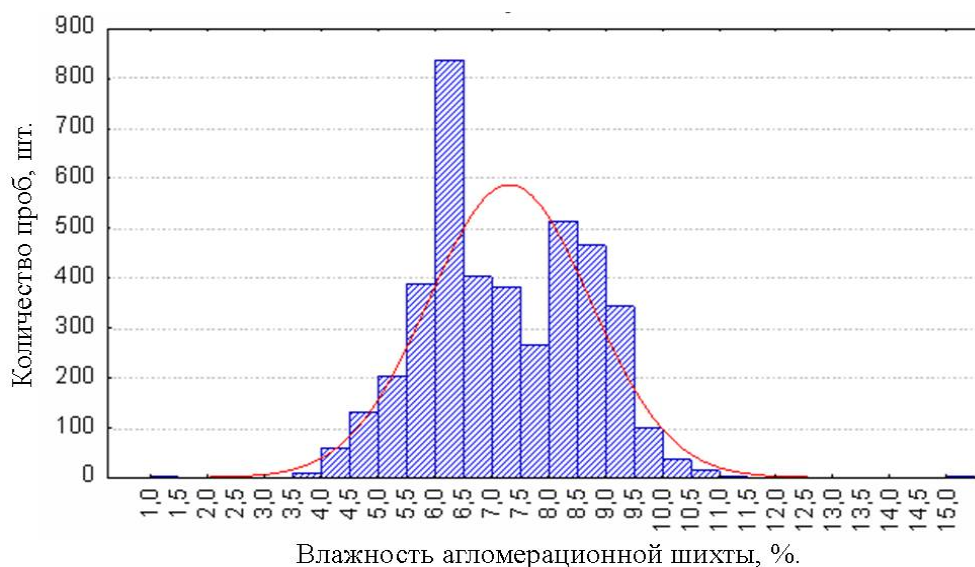


Рисунок 1 Гистограмма распределения влажности агломерационной шихты

Таблица 2

Коэффициенты парной корреляции между переменными (выделены значения 0,5 и более)

Переменная	Fe _ш	SiO _{2ш}	CaO _ш	Влажность _ш	Основность _ш
Fe _ш	1,00	-0,46	-0,91	0,37	-0,72
SiO _{2ш}	-0,46	1,00	0,34	-0,49	-0,14
CaO _ш	-0,91	0,34	1,00	-0,38	0,88
Влажность _ш	0,37	-0,49	-0,38	1,00	-0,15
Основность _ш	-0,72	-0,14	0,88	-0,15	1,00
Fe _а	0,65	-0,43	-0,67	0,45	-0,50
FeO _а	0,13	-0,03	-0,18	0,11	-0,18

Продолжение таблицы 2

Переменная	Fe _a	FeO _a	CaO _a	SiO _{2a}	Основность _a
CaO _a	-0,64	0,31	0,71	-0,40	0,59
SiO _{2a}	-0,44	0,60	0,40	-0,59	0,12
Основность _a	-0,48	-0,01	0,57	-0,10	0,62
Fe _ш	0,65	0,13	-0,64	-0,44	-0,48
SiO _{2ш}	-0,43	-0,03	0,31	0,60	-0,01
CaO _ш	-0,67	-0,18	0,71	0,40	0,57
Влажность _ш	0,45	0,11	-0,40	-0,59	-0,10
Основность _ш	-0,50	-0,18	0,59	0,12	0,62
Fe _a	1,00	0,15	-0,93	-0,64	-0,68
FeO _a	0,15	1,00	-0,13	0,01	-0,16
CaO _a	-0,93	-0,13	1,00	0,49	0,85
SiO _{2a}	-0,64	0,01	0,49	1,00	-0,04
Основность _a	-0,68	-0,16	0,85	-0,04	1,00

Все отмеченные коэффициенты парной корреляции указывают на связи, объясняемые известными зависимостями материальных балансов производства агломерата. Однако необходимо обратить внимание на сохранение значимости связей между компонентами в группах при переходе от агломерационной шихты к агломерату.

Как видно из таблицы 2, коэффициенты парной корреляции более 0,5 для составляющих агломерационной шихты имеют место быть для следующих параметров: Fe_ш, CaO_ш и Основность_ш, что также наблюдается и в агломерате, но в последнем к ним добавляются Fe_a и SiO_{2a}.

В результате можно предположить, что на колебания химического состава агломерата существенное влияние оказывают колебания содержания CaO в агломерационной шихте.

Для проверки и уточнения выдвинутого предположения был проведен канонический анализ данных, который позволяет исследовать зависимость между двумя множествами переменных. Выбраны переменные для агломерационной шихты Fe_ш, SiO_{2ш}, CaO_ш, Влажность_ш и агломерата Fe_a, FeO_a, CaO_a, SiO_{2a}. Наибольший коэффициент канонической корреляции составил 0,76 (доверительная вероятность — более 99 %), что свидетельствует о наличии сильной связи между группами переменных [4].

В результате проведенной статистической обработки данных определено, что связь между каноническими переменными выглядит следующим образом

$$-0,02 \cdot (Fe_{ш}) + 0,25 \cdot (SiO_{2ш}) + 0,62 \cdot (CaO_{ш}) - 0,38 \cdot (Влажность_{ш}) = 0,02 \cdot (Fe_a) - 0,13 \cdot (FeO_a) + 0,63 \cdot (CaO_a) + 0,53 \cdot (SiO_{2a}).$$

При этом под знаком « \Rightarrow » подразумевается наличие стохастической взаимосвязи между линейными комбинациями исходных переменных обоих множеств. Как видно на рисунке 2, диаграмма рассчитанных величин в правой и левой части приведенного выше тождества имеет широкий спектр рассеяния.

Значения исходных переменных Fe_ш, Fe_a и др. входят в соотношение в стандартизованном виде, поэтому они взяты в скобки. Расчет значений этих переменных (x_{cm}) проведен по формуле

$$x_{cm} = \frac{x_i - \bar{x}}{s},$$

где x_i — исходное значение, \bar{x} — среднее значение в выборке, s — стандартное отклонение.

Использование стандартизованных значений переводит все переменные к измерению в одной шкале, в единицах стандартного отклонения, что позволяет производить некоторые аналитические сравнения.

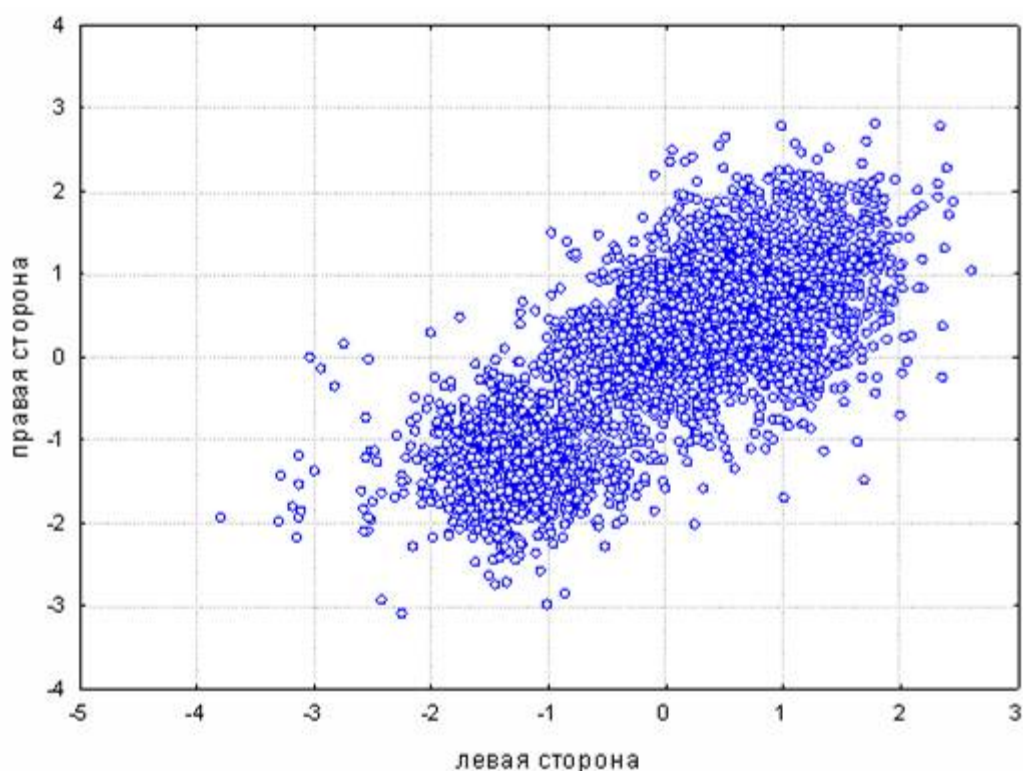


Рисунок 2 Диаграмма рассеяния канонических переменных левой (агломерационной шихты) и правой (агломерата) совокупностей

Коэффициенты у переменных, так называемые канонические веса, характеризуют вклад соответствующей переменной в значение канонической переменной. Для левой и правой канонических переменных наибольший вклад вносит содержание CaO — соответствующие коэффициенты 0,62 и 0,63. На втором месте для левой канонической переменной находится влажность агломерационной шихты ($-0,38$), для правой канонической переменной — содержание SiO_2 (0,53) в агломерате. На основании этих оценок можно сделать вывод, что наибольший вклад в нестабильность состава агломерата вносят колебания содержания CaO в агломерационной шихте.

В связи с этим применение технологических мероприятий, уменьшающих колебание содержания CaO в агломерационной шихте (точность и стабильность дозировки, постоянство химического состава флюса и т. д.), будет способствовать повышению качества агломерата.

Коэффициенты корреляции между исходными переменными и соответствующими каноническими переменными приведены в таблице 3.

По данным таблицы 3 были рассчитаны доли дисперсии каждой извлеченной канонической переменной. Для левой переменной она составляет 61 %, для правой — 58 %. Это показывает, что выбранные наборы исходных переменных делают достаточно представительный вклад в дисперсии канонических переменных.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции (r) между исходными и каноническими переменными

левая переменная	R	правая переменная	r
$\text{Fe}_{\text{ш}}$	$-0,84$	Fe_a	$-0,92$
$\text{SiO}_{2\text{ш}}$	$0,65$	FeO_a	$-0,21$
$\text{CaO}_{\text{ш}}$	$0,87$	CaO_a	$0,89$
Влажность _ш	$-0,74$	SiO_{2a}	$0,82$

Исходя из того, что переменные сильно коррелированы с канонической переменной, т. е. имеют с ней много общего, можно сделать вывод, что колебания содержания FeO в агломерате слабо коррелированы как с химическим составом агломерационной шихты, так и готового продукта.

Выводы и направление дальнейших исследований:

1. На основании полученных коэффициентов парной корреляции между составляющими агломерационной шихты и агломерата можно сделать вывод, что существенная взаимосвязь наблюдается между следующими показателями: основностью (CaO/SiO_2), содержанием в шихте Fe и CaO, при этом в окускованном материале наблюдается значительное усиление связи между содержанием Fe и SiO_2 .

2. Наибольший вклад в нестабильность химического состава агломерата вносят колебания содержания CaO в агломерационной шихте, поэтому применение технологических мероприятий, направленных на уменьшение этого колебания (точность и стабильность дозировки, постоянство химического состава флюса и т. д.), будет способствовать повышению качества окускованного железорудного материала.

3. Колебания содержания FeO в агломерате слабо связаны с химическим составом агломерационной шихты и готового продукта.

4. Для уточнения полученных закономерностей планируется провести подобные исследования, опираясь на данные о химическом составе агломерационной шихты и агломерата с других металлургических предприятий.

Библиографический список

1. Товаровский, И. Г. Доменная плавка [Текст] / И. Г. Товаровский. — [2-е изд.]. — Дн. : Пороги, 2009. — 768 с.
2. Металлургия чугуна [Текст] / Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев и др.; под ред. Ю. С. Юсфина. — [3-е изд.]. — М. : ИКЦ «Академкнига», 2004. — 774 с.
3. Петрушов, С. Н. Оборудование и эксплуатация фабрик окускования [Текст] : учебное пособие / С. Н. Петрушов. — Алчевск : ДонГТУ, 2006. — 302 с.
4. Халафян, А. А. Statistica 6. Статистический анализ данных [Текст] / А. А. Халафян. — М. : Бином-Пресс, 2007. — 512 с.

© Должиков В. В.

© Диментьев А. О.

© Власенко Д. А.

Рекомендована к печати к.т.н., проф., зав. каф. МЧМ ДонГТИ Куберским С. В., начальником агломерационного цеха Филиала № 12 ЗАО «ВТС» Бондаренко А. Н.

Статья поступила в редакцию 14.12.2020.

PhD in Engineering Dolzhikov V. V., PhD in Engineering Dimentiev A. O., PhD in Engineering Vlasenko D. A. (DonSTI, Alchevsk, LPR, dimentev@inbox.ru)
STATISTICAL STUDIES OF FLUCTUATIONS OF CHEMICAL COMPOSITION OF SINTER BURDEN AND AGGLOMERATE

The paper presents a statistical analysis of the effect of chemical composition of sinter burden on agglomerate obtained from it. It was determined that the greatest contribution to the instability of chemical composition of agglomerate was made by fluctuations of CaO content in the sinter burden, therefore, the use of technological measures aimed at reducing this fluctuation would lead to refining of the agglomerated iron ore material.

Key words: statistical analysis, sinter burden, agglomerate, fluctuation, chemical composition.