

Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 3 (108). С. 65–78.  
Cherepovets State University Bulletin, 2022, no. 3 (108), pp. 65–78.

Научная статья

УДК 519.67

<https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-5>

## Интеллектуальный анализ и управление составом агломерационной шихты

Ремик Артурович Матевосян<sup>1✉</sup>, Игорь Андреевич Варфоломеев<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Череповецкий государственный университет,  
Череповец, Россия,

<sup>1</sup>[rembimat2016@yandex.ru](mailto:rembimat2016@yandex.ru)

<sup>2</sup>[igor.varf@gmail.com](mailto:igor.varf@gmail.com)

**Аннотация.** В данной статье описывается математическая модель, которая используется в программном обеспечении модели анализа и управления составом агломерационной шихты. Представленная математическая модель корректирует состав шихты при изменении расхода материалов. Воздействие на шихту происходит за счет регулирования расхода известняка. Критерий качества – основность шихты. Представленная модель производит ее расчет, выявляет возможные причины отклонения (при наличии). Модель построена с применением алгоритмов машинного обучения.

**Ключевые слова:** агломерационная шихта, основность, отклонение основности, математическая модель подсистемы, базовый агломерат, подбираемый материал

**Благодарность.** Статья выполнена из средств субсидии федерального бюджета на разработку программ бакалавриата и программ магистратуры по профилю «искусственный интеллект», а также на повышение квалификации педагогических работников образовательных организаций высшего образования в сфере искусственного интеллекта (соглашение №075-15-2021-1039 от 28.09.2021).

**Для цитирования:** Матевосян Р. А., Варфоломеев И. А. Интеллектуальный анализ и управление составом агломерационной шихты // Вестник Череповецкого государственного университета. 2022. № 6 (111). С. 65–78. <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-5>.

## Software for the analysis and control model of the sinter charge composition

Remik A. Matevosian<sup>1✉</sup>, Igor A. Varfolomeyev<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Cherepovets State University,  
Cherepovets, Russia,

<sup>1</sup>[rembimat2016@yandex.ru](mailto:rembimat2016@yandex.ru)

<sup>2</sup>[igor.varf@gmail.com](mailto:igor.varf@gmail.com)

**Abstract.** This article describes the mathematical model that is used in the software for the analysis and control of the sinter charge composition. The presented mathematical model corrects the composition of the sinter charge by changing the consumption of materials. In our case, the effect on

the charge is due to the regulation of the limestone consumption. The criterion for the quality of the charge is its basicity. The presented model calculates the basicity of the charge and identifies possible reasons for the basicity deviation, if any. The model is built using machine learning algorithms.

**Keywords:** sinter charge, basicity, deviation of basicity, subsystem mathematical model, base sinter, selected material

**Acknowledgments.** The article was funded by the federal budget subsidy for the development of bachelor's and master's programs of "Artificial intelligence"; for the advanced training of lecturers of higher education organizations in the field of artificial intelligence (agreement no. 075-15-2021-1039 dated 28.09.2021).

**For citation:** Matevosian R. A., Varfolomeyev I. A. Software for the analysis and control model of the sinter charge composition. *Cherepovets State University Bulletin*, 2022, no. 6 (111), pp. 65–78 (In Russ.). <https://doi.org/10.23859/1994-0637-2022-6-111-5>.

## Введение

При производстве любого материала значимым условием является правильный химический состав. С помощью показателей (содержание какого-либо материала в составе продукции) устанавливают химический состав изделий и их отношение к действию некоторых реагентов, связанных с условиями эксплуатации. Но бывают ситуации, когда на производстве не удается выдерживать правильный химический состав для продукции. В этих случаях требуется выяснить причины отклонений химического состава получаемого материала (продукции).

На данный момент на предприятии ПАО «Северсталь» существует проблема выяснения отклонений в содержании некоторых материалов при производстве агломерационной шихты на АГЦ-3. Необходимо своевременно выяснять причины отклонений и устранять их. Для выяснения причин отклонения было принято решение разработать модель для анализа и управления составом агломерационной шихты АГЦ-3. Предполагается, что управление будет происходить за счет корректировки расхода известняка по основности шихты.

## Основная часть

Основной целью исследования является улучшение качества шихты за счет корректировки его химического состава регулированием подачи известняка как одного из материалов для производства шихты.

Агломерация – метод термического окускования пылеватых мелких руд, концентратов и металлосодержащих отходов путем их спекания. Наиболее широко агломерация применяется для подготовки железорудного сырья для металлургического производства чугуна<sup>1</sup>. На агломерационной фабрике шихту, состоящую из рудной части, флюса, возврата (мелкой фракции агломерата) и кокса, загружают на конвейерную агломерационную машину (аглоленту), зажигают сверху и спекают, просасывая воздух через слой спекаемых материалов. В процессе агломерации из руд удаляются примеси серы и некоторых других элементов. При производстве офлюсованного агломерата происходит ошлакование пустой породы. Применение агломерата в

<sup>1</sup> Коротич В. И., Фролов Ю. А., Каплун Л. И. Теоретические основы технологий окускования металлургического сырья. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 417 с.

доменных печах способствует улучшению качества чугуна, повышению производительности печей и снижению расхода кокса<sup>1</sup>. Шихта – смесь исходных материалов, а в некоторых случаях (например, при выплавке чугуна в доменной печи) и топлива в определенной пропорции, подлежащая переработке в металлургических, химических и других агрегатах<sup>2</sup>.

Качество готового продукта оценивают по химическому составу, прочности и восстановимости<sup>3</sup>. Одним из таких показателей является основность агломерационной шихты. Основность (индекс основности, коэффициент основности) – характеристика металлургического сырья, железной руды или металлургического шлака, показывающая соотношение масс основных оксидов к кислотным. Как правило, измеряется в долях единицы<sup>4</sup>.

Введение в агломерационную шихту известняка существенно изменяет условия формирования агломерата. Значительно снижается температура плавления шихты. В результате изменения макроструктуры агломерата и снижения температур в слое повышается скорость спекания и, соответственно, сокращается время пребывания материала при температурах, обеспечивающих существование расплава<sup>5</sup>.

Разработанная модель позволяет выполнить расчет основности шихты и выявляет возможные причины отклонения основности, если такая имеется. Рассчитанная основность используется в расчете расхода известняка, с помощью которого происходит воздействие на состав шихты.

Для определения параметров математической модели представим модель «белого ящика», в которой показано взаимодействие элементов системы друг с другом<sup>6</sup> (рис. 1).

На первом этапе определяется основность шихты, за данный процесс отвечает подсистема расчета. Далее рассчитанная основность подается на вход в подсистему расчета необходимого известняка. В случае, если основность шихты выходит за возможные пределы, основность подается на вход в подсистему определения причин ее отклонения; на выходе даны причины отклонений и новый химический состав материала. Именно новый химический состав больше всего влияет на основность шихты.

<sup>1</sup> Коротич В. И. и др. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. 400 с.

<sup>2</sup> Дьяков А. В. и др. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств // Черная металлургия. 2018. С. 29–37.

<sup>3</sup> Глинков Г. М., Маковский В. А. АСУ ТП в черной металлургии. Москва: Металлургия, 1999. 310 с.

<sup>4</sup> Юсфин Ю. С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. Москва: Металлургия, 1973. 272 с.

<sup>5</sup> Дьяков А. В. и др. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств. Сообщение 1. Оптимизация агломерационных шихт по технологическим показателям производства агломерата // Черная металлургия. 2018. № 10. С. 27–34.

<sup>6</sup> Цветков В. Я. Модели в информационном поле. Palmarium Academic Publishing, 2018. 129 с.



Рис. 1. Модель «белого ящика» системы

Определение основности шихты предполагает вычисление сухого расхода:

$$Q_{\text{шихты}} = \sum_{i=1}^n Q_i, \quad (1)$$

$\omega_{\text{к.ш}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot \omega_i}{Q_{\text{шихты}}}$ , где  $Q_i$  – расход материала (сухой).

Сухой расход материала рассчитывается по следующей формуле:

$$Q_{\text{сух}} = \frac{Q_{\text{вл}} \cdot (100 - W)}{100}, \quad (2)$$

где  $W$  – процент влаги,  $Q_{\text{вл}}$  – влажный расход материала.

После того, как рассчитан сухой расход материала, нужно рассчитать массовую долю каждого компонента (элемент в химическом составе) в шихте:

$$\omega_{\text{к.ш}} = \frac{Q_{\text{сух}} \cdot \omega_i}{Q_{\text{шихты}}}, \quad (3)$$

где  $\omega_i$  – массовая доля компонента в материале.

Следующим этапом рассчитывается сухой расход аглоспека:

$$Q_{\text{аглоспека}} = Q_{\text{шихты}} - \sum_{i=1}^n Q_i \cdot (S_i \cdot 0,95 + C_{\text{ни}} + \text{ППП}_i) - \Delta \text{FeO} \cdot 16 / 144 / 100 \cdot Q_{\text{шихты}}, \quad (4)$$

где  $Q_i$  – сухой расход материала,  $\omega_{\text{к.а.}}$  – массовая доля компонента в аглоспеке:

$$\omega_{\text{к.а.}} = \frac{\sum_{i=m}^n Q_i \cdot \omega_i}{Q_{\text{аглоспека}}}, \quad (5)$$

где  $\omega_i$  – массовая доля компонента в материале шихты,  $\Delta\text{FeO}$  – изменение FeO, образовавшегося в зоне восстановления и окисления:

$$\Delta\text{FeO} = +\text{FeO} - (-\text{FeO}), \quad (6)$$

где  $+\text{FeO}$  – количество FeO, образовавшегося в восстановительной зоне, рассчитывается по следующей формуле:

$$+\text{FeO} = 0,12 \cdot (C_{\text{н шихты}} \cdot 1,61 - 0,81) \cdot C_{\text{н шихты}} \left( 1 - 0,7 + \beta + 0,41 \cdot \frac{51,73}{C_{\text{н шихты}}} \right), \quad (7)$$

где  $\beta$  – отношение концентрации углерода карбонатов и твердого топлива в шихте, рассчитывается следующим образом:

$$\beta = \text{CO}_{2\text{карб шихты}} \cdot \frac{0,27}{C_{\text{н шихты}}}, \quad (8)$$

$-\text{FeO}$  – количество FeO образовавшегося в зоне окисления, рассчитывается следующим образом:

$$-\text{FeO} = 0,1286 \cdot O_{\text{окисл.}} \cdot Q_{\text{а}} \cdot (100 - O_{\text{окисл}}), \quad (9)$$

где  $O_{\text{окисл}}$  – кислород на окисление Fe, %,  $Q_{\text{а}}$  – расход воздуха.

Далее рассчитывается содержание каждого химического элемента в составе аглоспека по формуле (3).

Далее рассчитывается основность шихты:

$$O_{\text{ш}} = \frac{K_{\text{CaO}}}{K_{\text{SiO}_2}}, \quad (10)$$

где  $K_{\text{CaO}}$  – содержание CaO,  $K_{\text{SiO}_2}$  – содержание SiO<sub>2</sub> в аглоспеке.

Получившаяся основность шихты используется для расчета необходимого известняка.

У основности шихты есть диапазон возможных значений, в рамках которого основность считается приемлемой. В случаях, когда основность выпадает из данного диапазона, можно определить причины отклонения основности.

Причины отклонений основности агломерационной шихты бывают трех видов<sup>1</sup>:

- отклонение дозы компонента шихты;
- отклонение за счет поступления смеси материалов;
- отклонение за счет изменения химического состава компонента шихты.

Основными обозначениями для данной математической модели являются:

$L_б$  – содержание элемента в базовом агломерате, %;

$L_x$  – содержание элемента в подбираемом материале, %;

$L_{бр}$  – содержание элемента в бракованном агломерате, %;

$a_x$  – коэффициент перехода подбираемого материала  $X$  в агломерат (принимается за 1);

$X$  – количество подбираемого материала.

В качестве элементов рассматриваются следующие основные элементы из химического состава агломерата: Fe, CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO. В качестве базового агломерата принимаются средние показатели элементов в трех последних пробах агломерата.

Под подбираемым материалом имеется в виду каждый рассматриваемый материал, который пошел на производство агломерата. Под бракованным агломератом подразумевается тот, основность которого не соответствует целевым значениям.

Для определения степени влияния на отклонение основности шихты рассчитывается квадрат коэффициента корреляции. Квадрат коэффициента корреляции определяет степень правильности выбора компонента  $X$ . Если он равен 1, то выбранный компонент является единственной причиной отклонения.

В основу определения отклонения за счет изменения дозы компонента шихты заложен подбор ее материала. Если добавить данный компонент к базовому агломерату в количестве  $X$  (на единицу базового агломерата), то получим вещество, чей состав близок к браку или равен ему.

$$X = \frac{\sum(L_x - a_x \cdot L_{бр}) + (L_{бр} - L_б)}{\sum(L_x - a_x \cdot L_{бр})^2}. \quad (11)$$

Зная  $X$ , мы можем рассчитать содержание элемента в бракованном агломерате.

Содержание элемента в бракованном агломерате при добавке материала  $X$  рассчитывается по следующей формуле:

$$L_{бр} = \frac{L_б + X \cdot L_x}{1 + a_x \cdot X}. \quad (12)$$

Таким образом, зная  $L_б$ ,  $L_x$  и  $L_{бр}$ , можно определить коэффициент корреляции между  $L_б$  и  $L_{бр}$ :

$$R^2 = \frac{\left[ \sum(L_x - a_x \cdot L_{бр})(L_{бр} - L_б) \right]^2}{\sum(L_x - a_x \cdot L_{бр})^2 \cdot \sum(L_{бр} - L_б)^2}. \quad (13)$$

<sup>1</sup> Латашев А. Н. Разработка и внедрение мероприятий по стабилизации химического состава агломерата. Череповец: [б. и.], 1990. 37 с.

Следовательно, во всех трех случаях отклонения химического состава от базового расчеты производятся однотипно, но при этом меняется значение  $X$ ,  $L_x$  и  $a_x$ .

Для определения отклонения за счет поступления смеси материалов введем следующие обозначения:

$L_{x1}$  – содержание элемента в подбираемом материале,

$L_{x2}$  – содержание элемента в подбираемом материале,

$a_{x1}$  – коэффициент перехода подбираемого материала X1 в агломерат (принимается за 0,579),

$a_{x2}$  – коэффициент перехода подбираемого материала X2 в агломерат (принимается за 1).

Первоначально рассчитывается количество смеси материалов вместо основного материала на единицу базового агломерата:

$$X = \frac{\sum(L_x - a_x \cdot L_{\text{бп}}) + (L_{\text{бп}} - L_{\text{б}})}{\sum(L_x - a_x \cdot L_{\text{бп}})^2}. \quad (14)$$

Далее можно рассчитать количество элемента в бракованном агломерате при добавке примеси  $X$ :

$$L_{\text{бп}} = \frac{L_{\text{б}} + X \cdot (L_{x2} - L_{x1})}{1 + X \cdot (a_{x2} - a_{x1})}. \quad (15)$$

Данная формула описывает влияние на состав агломерата подачи в шихту смеси, если  $X$  будет обозначать ее количество. Дальнейший порядок расчетов аналогичен формуле (10).

В основу отклонения берем изменение химического состава компонента шихты (внесение примесей).

Количество подбираемого материала рассчитывается по следующей формуле:

$$X = \frac{\sum(L_x - a_x \cdot L_{\text{бп}}) + (L_{\text{бп}} - L_{\text{б}})}{\sum(L_x - a_x \cdot L_{\text{бп}})^2}. \quad (16)$$

Расчетное содержание элемента в агломерате, получаемом при добавке к базовому агломерату компонента  $X$ :

$$S_{\text{бп}} = \frac{L_{\text{б}} + X \cdot \Delta L_x}{1 + a_x \cdot 0}, \quad (17)$$

где  $\Delta L_x$  – отношение изменения элемента.

Данная формула показывает влияние изменения химического состава компонента шихты на агломерат. Дальнейший порядок расчетов аналогичен формуле (11). Отношение изменения элемента заранее неизвестно, поэтому для его прогнозирования

используется модель линейной регрессии<sup>1</sup>. Параметром регрессии является содержание Fe в шихте.

Общий вид уравнения регрессии будет следующим (2):

$$\hat{Y} = a_0 + bx, \quad (18)$$

где  $x$  – содержание железа в шихте, %,  $\hat{Y}$  – функция прогнозного содержания CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в зависимости от содержания Fe в шихте.

На рис. 2–5 представлены графики зависимости содержания CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от Fe.

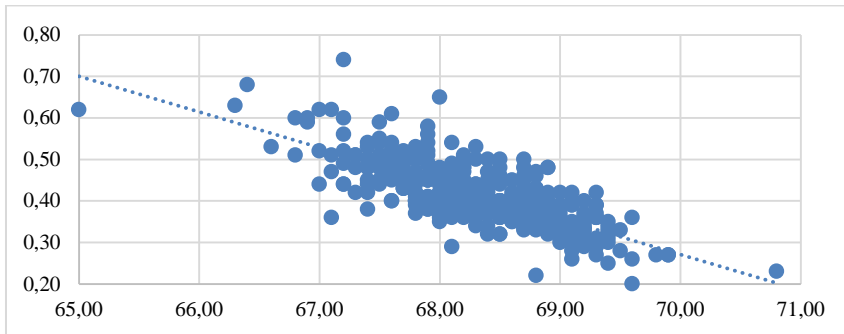


Рис. 2. График зависимости содержания CaO от Fe

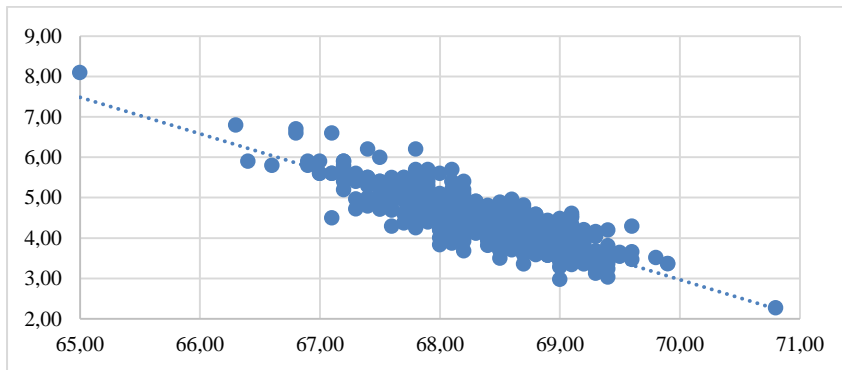


Рис. 3. График зависимости содержания SiO<sub>2</sub> от Fe

<sup>1</sup> Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия. Москва: Финансы и статистика, 1981. 302 с.

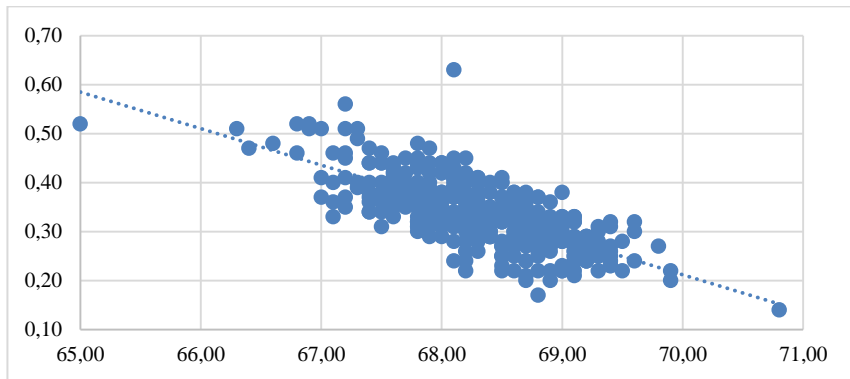
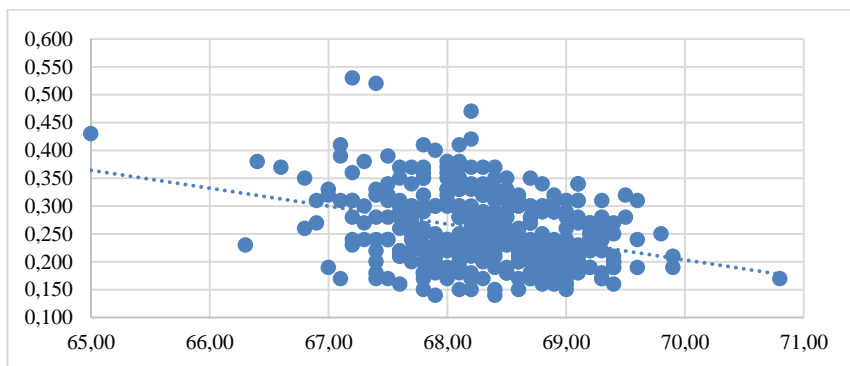


Рис. 4. График зависимости содержания MgO от Fe

Рис. 5. График зависимости содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от Fe

По графику можно определить высокое влияние содержания CaO, SiO<sub>2</sub>, MgO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от содержания Fe. Это позволяет взять коэффициент корреляции, получаемый моделью регрессии для использования в модели. Аналогичный вывод можно сделать и по другим элементам.

Укажем соотношения изменения элементов, которые были определены:

- $\Delta L_{xFe} = 1;$
- $\Delta L_{xCaO} = -0.09;$
- $\Delta L_{xSiO_2} = -0.07;$
- $\Delta L_{xMgO} = -0.05.$

После определения причин отклонения шихты обратим внимание на химические составы материалов, которые более всего влияли на основность шихты и подаются на вход математической модели подсистемы расчета основности шихты.

На основе анализа основности шихты возможно рассчитать дозу известняка, необходимого для производства агломерационной шихты с заданной основностью. Рекомендуемый расчетный расход известняка рассчитывается по следующей формуле:

$$ИК_p = ИК_ф + ИК_{корр}, \quad (19)$$

где  $ИК_ф$  – расход известняка фактический,  $ИК_{корр}$  – требуемая корректировка известняка.

Требуемая корректировка известняка рассчитывается по следующей формуле:

$$ИК_{корр} = (Osn_{агл} - Osn_{ш}) \cdot P_{ш} \cdot \frac{SiO_2}{CaO_{изв}}, \quad (20)$$

где  $Osn_{агл}$  – основность агломерата,  $Osn_{ш}$  – основность шихты,  $P_{ш}$  – расход шихты,  $SiO_2$  – доля  $SiO_2$  в агломерате,  $CaO_{изв}$  – доля  $CaO$  в известняке.

Описанные выше модели реализует алгоритм, указанный на рис. 6.

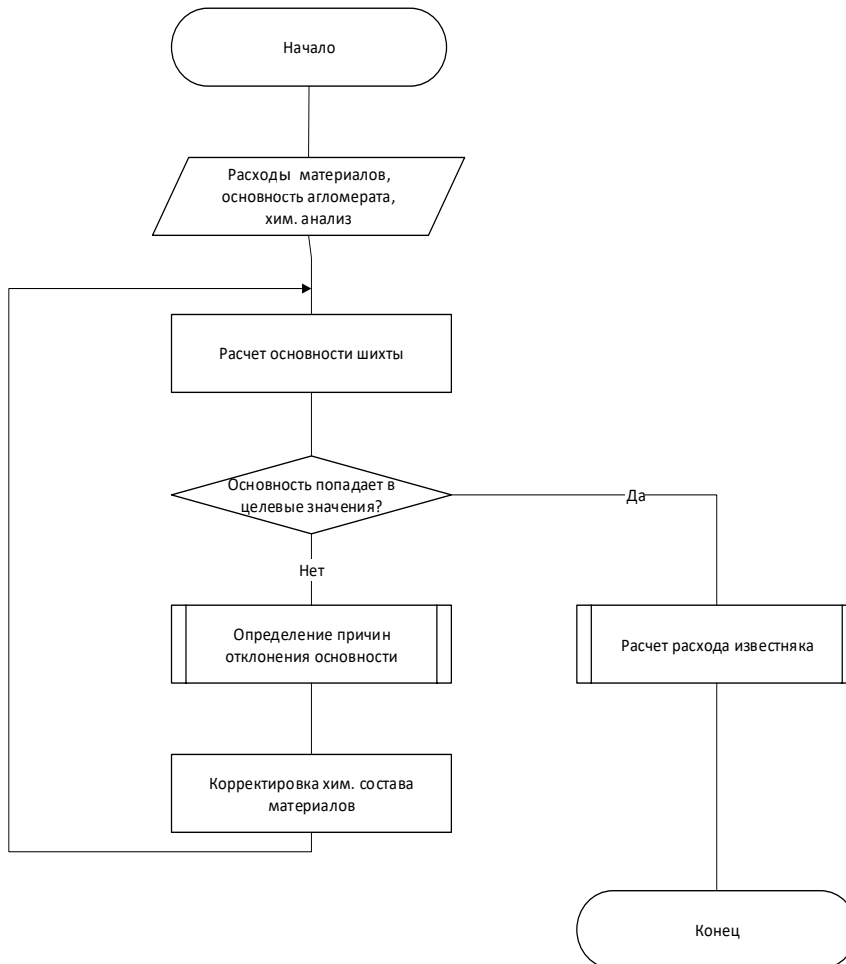


Рис. 6. Алгоритм, реализующий модель

Согласно данному алгоритму тестирование проводилось на основе месячных данных за предыдущие периоды работы. Кроме того, учитывались результаты, полученные путем опытно-промышленной эксплуатации. Выяснилось, что причины отклонений определяются с точностью 87 %, что выше целевых показателей в 83 %. Также удалось снизить расход известняка на 0,86 кг/т без потери в качестве производства.

На основе описанного алгоритма было разработано программное обеспечение интеллектуального анализа и управления составом агломерационной шихты. Пользователем данного ПО является оператор агломерационной машины. Программа помогает оператору в реальном времени оценить качество агломерационной шихты и управлять дозировкой известняка. Окна программы с примером работы представлены на рис. 7–8.

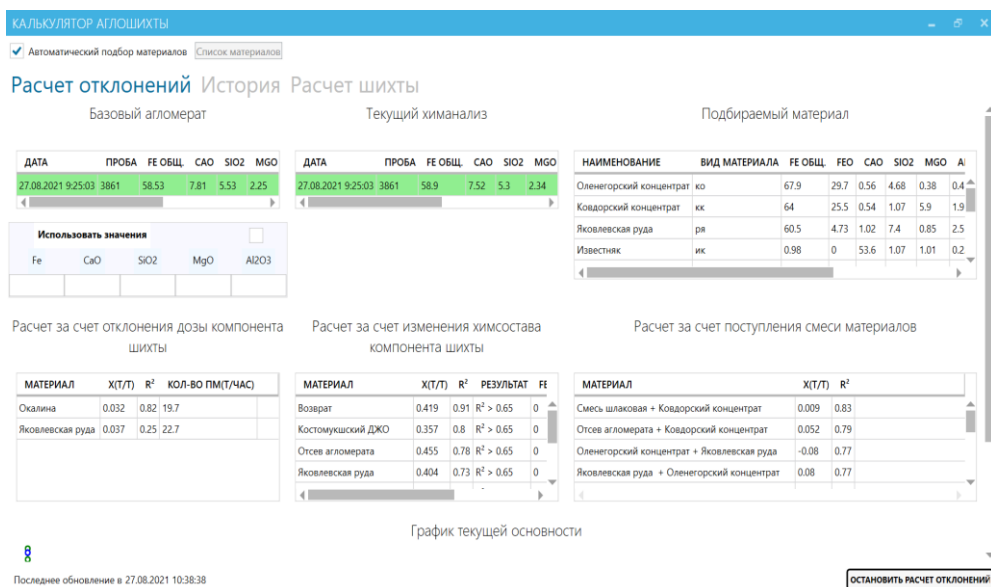


Рис. 7. Вкладка «Расчет отклонений»

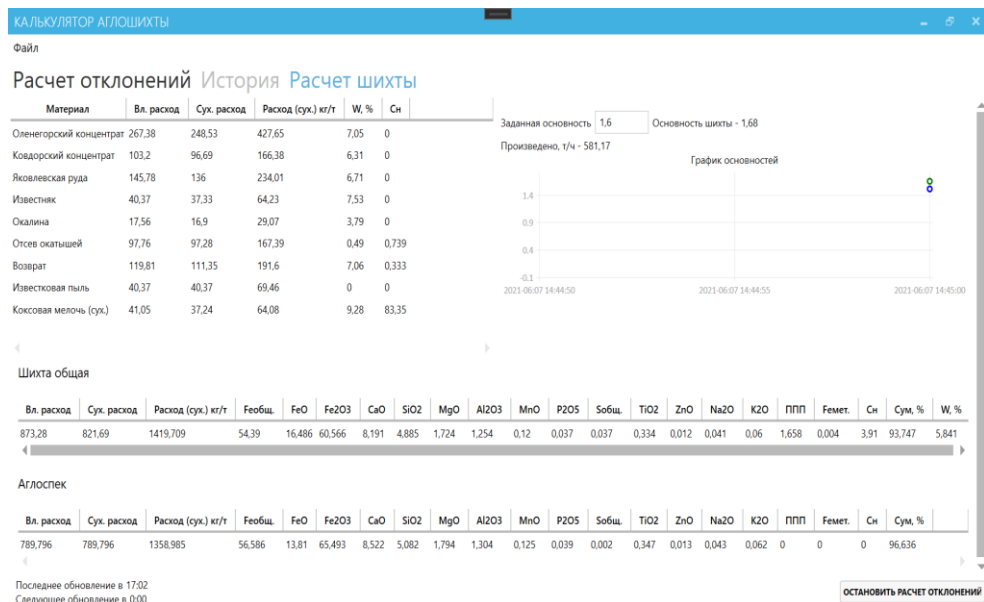


Рис. 8. Вкладка «Расчет шихты»

## Выводы

Разработанная математическая модель позволяет рассчитать основность агломерационной шихты, провести анализ ее состава, выявить причины отклонения основности шихты от пороговых значений и оценить степень влияния причин на основность. Также данная модель управляет составом агломерационной шихты за счет регулировки состава известняка на основе рассчитанной основности.

Для определения содержания элемента в материале шихты была использована модель линейной регрессии, которая предоставила коэффициенты корреляции содержания химических элементов в материале. Это позволило точнее определить возможность отклонения основности за счет изменения химического состава шихты.

## Список источников

Глинков Г. М., Маковский В. А. АСУ ТП в черной металлургии. Москва: Металлургия, 1999. 310 с.

Демиденко Е. З. Линейная и нелинейная регрессия. Москва: Финансы и статистика, 1981. 302 с.

Дьяков А. В., Одинцов А. А., Кобелев В. А., Нечкин Г. А. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств // Черная металлургия. 2018. С. 29–37.

Дьяков А. В., Одинцов А. А., Кобелев В. А., Нечкин Г. А. Оптимизация аглодоменных шихт по комплексу металлургических свойств. Сообщение 1. Оптимизация агломерационных шихт по технологическим показателям производства агломерата // Черная металлургия. 2018. № 10. С. 27–34.

Коротич В. И., Фролов Ю. А., Каплун Л. И. Агломерация рудных материалов. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2003. 400 с.

Коротич В. И., Фролов Ю. А., Каплун Л. И. Теоретические основы технологий окускования металлургического сырья. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 417 с.

Латашев А. Н. Разработка и внедрение мероприятий по стабилизации химического состава агломерата. Череповец: [б. и.], 1990. 37 с.

Цветков В. Я. Модели в информационном поле. Palmarium Academic Publishing, 2018. 129 с.

Юсфин Ю. С., Базилевич Т. Н. Обжиг железорудных окатышей. Москва: Металлургия, 1973. 272 с.

### References

Glinkov G. M., Makovskii V. A. *ASU TP v chernoi metallurgii* [ACS TP in ferrous metallurgy]. Moscow: Metallurgiya, 1999. 310 p.

D'iakov A. V., Odintsov A. A., Kobelev V. A., Nechkin G. A. Optimizatsiia aglodomennykh shikht po kompleksu metallurgicheskikh svoystv [Optimization of agglomeration burdens by metallurgical properties complex]. *Chernaia Metallurgiya* [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information], 2018. pp. 29–37.

D'iakov A. V., Odintsov A. A., Kobelev V. A., Nechkin G. A. Optimizatsiia aglodomennykh shikht po kompleksu metallurgicheskikh svoystv. Soobshchenie 1. Optimizatsiia aglomeratsionnykh shikht po tekhnologicheskim pokazateliyam proizvodstva aglomerata [Optimization of agglomeration burdens by metallurgical property complex. Report 1. Optimization of sinter burdens by technological characteristics of sinter production]. *Chernaia metallurgiya* [Ferrous Metallurgy. Bulletin of Scientific, Technical and Economic Information], 2018, no. 10, pp. 27–34.

Demidenko E. Z. *Lineinaia i nelineinaia regressiia* [Linear and non-linear regression]. Moscow: Finansy i statistika, 1981. 302 p.

Korotich V. I., Frolov Iu. A., Kaplun L. I. *Teoreticheskie osnovy tekhnologii okuskovaniia metallurgicheskogo syr'ia* [Theoretical foundations of technologies for agglomeration of metallurgical raw materials]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2009. 417 p.

Korotich V. I., Frolov Iu. A., Kaplan L. I. *Aglomeratsiia rudnykh materialov* [Sintering of ore materials]. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 2003. 400 p.

Latashev A. N. *Razrabotka i vnedrenie meropriiatii po stabilizatsii khimicheskogo sostava aglomerata* [Development and implementation of measures to stabilize the chemical composition of the sinter]. Cherepovets, 1990. 37 p.

Tsvetkov V. Ia. *Modeli v informatsionnom pole* [Models in the information field]. Palmarium Academic Publishing, 2018. 129 p.

Iusfin Iu. S., Bazilevich T. N. *Obzhig zhelezorudnykh okatyshei* [Roasting of iron-ore pellets]. Moscow: Metallurgiya, 1973. 272 p.

### Сведения об авторах

**Матевосян Ремик Артурович** – студент, rembimat2016@yandex.ru, Череповецкий государственный университет (д. 5, пр-т Луначарского, 162600 г. Череповец, Россия); **Remik A. Matevosian** – Student, rembimat2016@yandex.ru, Cherepovets State University (5, pr. Lunacharskogo, 162600 Cherepovets, Russia)

**Варфоломеев Игорь Андреевич** – кандидат технических наук, доцент, ig-or.varf@gmail.com Череповецкий государственный университет (д. 5, пр-т Луначарского, 162600 г. Череповец, Россия) **Igor A. Varfolomeyev** – Candidate of Technical Sciences, Associate

Professor, igor.varf@gmail.com, Cherepovets State University (5, pr. Lunacharskogo, 162600 Cherepovets, Russia).

**Заявленный вклад авторов:** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Contribution of the authors:** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 01.10.2022; одобрена после рецензирования 20.10.2022; принята к публикации 14.11.2022.

The article was submitted 01.10.2022; Approved after reviewing 20.10.2022; Accepted for publication 14.11.2022.