

*Санкт-Петербургский горный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*

***Аннотация.** Рассматривается технология первого металлургического передела цинкового концентрата, а именно окислительного обжига. Разработана программа для моделирования процесса обжига цинкового концентрата, описывающая движение материальных потоков. Помимо расчётных массовых и процентных значений она позволяет получить графическую информацию о составе продуктов.*

**Ключевые слова:** цинковый концентрат; окислительный обжиг; металлургия тяжёлых цветных металлов; моделирование; python 3.0

К настоящему времени человечество освоило производство более 70 металлов. Технологическая цепочка получения некоторых из них может включать десятки процессов, проводимых в разнообразных металлургических аппаратах. Технологическим процессом (ТЕП) называется совокупность всех процессов, реализуемых в аппарате при переработке исходного сырья в конечные продукты [1].

Исследование сложных объектов с помощью их упрощённых моделей является очень плодотворным и широко используется в различных отраслях знаний.

Модель – это объект, который отражает основные, наиболее характерные черты изучаемого предмета или процесса, интересующие исследователя в данный момент времени. Она должна отражать не все свойства объекта, а только необходимые для решения конкретной задачи. Следовательно, в зависимости от целей исследования, для одного и того же объекта могут быть созданы различные модели [1].

Актуальность работы состоит в том, что процесс окислительного обжига концентрата применяется при производстве цинка, как по пирометаллургической, так и по гидрометаллургической технологии, а расчёты необходимые для проведения данной операции достаточно трудоёмки и занимают большое количество времени. Программа позволяет быстро рассчитать, сделать прогнозы и подобрать оптимальные параметры ведения процесса. Исследование окислительного обжига является необходимым для получения профессиональных навыков студентами, изучающими технологии металлургии цветных металлов и пирометаллургическое оборудование. Для улучшения качества образовательного процесса при изучении данной темы кафедрой металлургии было предложено разработать программное приложение в среде Python 3.0 для расчета материальных потоков процесса обжига цинкового концентрата.

Целью исследования является компьютерное моделирование процесса окислительного обжига цинкового концентрата. Исходя из поставленной цели, были сформулированы следующие задачи:

Разработка и отладка программного кода для расчёта рационального состава исходного концентрата, рациональных составов продуктов обжига: огарка и пыли, состава отходящих газов и материального баланса процесса.

Разработка и отладка программного кода для построения круговых диаграмм элементных и вещественных составов концентрата, огарка и пыли и состава отходящих газов.

Они были достигнуты посредством следующих методов: лабораторный анализ, статистическая обработка данных, сравнительный анализ.

Цинк – светло-серый металл с синеватым оттенком. На воздухе он покрывается пленкой основного карбоната  $ZnCO_3 \cdot 3Zn(OH)_2$  серого цвета, которая является весьма плотной и хорошо защищает цинк от дальнейшей коррозии [2].

Цинк широко используется для защиты железа от коррозии (30-60 % в разных странах от общего потребления). Наиболее распространенными сплавами, содержащими цинк, являются латуни и сплавы для литья под давлением. Оксид и сульфид цинка используются в качестве пигментов.

Существуют два типа цинксодержащих руд: сульфидные и оксидные. Главными природными сульфидными минералами цинка являются сфалерит  $ZnS$  и марматит  $(Zn, Fe)S$ . Для цинка характерна связь в рудах со свинцом, часто и с медью [2].

Средний химический состав сульфидных цинковых концентратов, являющихся основным природным сырьем для производства цинка, %: Zn 45-60, Pb 0,1-3,0, Cu 0,2-3,0, Cd 0,1-0,5, Fe 5-13, S 29-35, SiO<sub>2</sub> 0,4-4. Их можно перерабатывать как пирометаллургическим, так и гидрометаллургическим методом. В настоящее время более 80 % от общего производства цинка приходится на гидрометаллургическую технологию [3].

Окислительный отжиг – первая операция в обоих методах переработки цинковых концентратов, целью которой является перевод сульфида цинка и сульфидов других металлов в форму оксидов. При окислении сульфидов металлов выделяется большое количество тепла, что обеспечивает возможность проведения процесса обжига без других источников энергии [2].

Разработанная программа использует модель с заданным минералогическим составом, включающим в себя:

- сфалерит (ZnS),
- галенит (PbS),
- халькопирит (CuFeS<sub>2</sub>),
- гриконит (CdS),
- пирит (FeS<sub>2</sub>),
- пирротин (Fe<sub>7</sub>S<sub>8</sub>),
- кварц (SiO<sub>2</sub>),
- корунд (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) [4].

Программа использует следующие исходные данные:

- элементный состав сухого концентрата;
- производительность печи по сухому концентрату;
- влажность концентрата;
- коэффициент избытка воздуха;
- содержание кислорода в воздухе

Разработанная программа обеспечивает получение следующих выходных данных:

- таблица рационального состава исходного концентрата;
- таблица рационального состава огарка;
- таблица рационального состава пыли;
- таблица состава отходящих газов;
- таблица материального баланса;
- значение степени десульфуризации;
- значение удельного количества воздуха, требуемое для проведения процесса;

А также перечень графического материала:

- круговая диаграмма вещественного состава исходного концентрата;
- круговая диаграмма элементного состава исходного концентрата;
- круговая диаграмма вещественного состава огарка;
- круговая диаграмма элементного состава огарка;
- круговая диаграмма вещественного состава пыли;
- круговая диаграмма элементного состава пыли;
- круговая диаграмма состава отходящих газов.

Разработанная программа позволяет делать прогнозы результатов лабораторных или промышленных экспериментов по окислительному обжигу цинковых концентратов.

Приложение получило положительную оценку преподавателей кафедры металлургии Санкт-Петербургского горного университета, было апробировано студентами. Применение программы планируется для обучения студентов бакалавров по специальности 15.03.04 – Автоматизации технологических процессов и производств, профиль: «Автоматизация технологических процессов и производств в металлургической промышленности» в рамках дисциплины «Пирометаллургическое

оборудование» и по специальности 22.03.02 – Metallurgy, профиль: «Metallurgy of non-ferrous metals» в рамках дисциплины «Metallurgical heat engineering and fundamentals of furnace technologies». Students in practical classes receive an assignment in the form of a process heat balance calculation for a furnace used for sintering and gas cleaning. To complete the assigned calculations, it is necessary to preliminarily calculate the material balance, quantity and composition of the gas phase, although attention to this aspect is paid in other disciplines. With the help of the developed program, students will be able to individually calculate the data for material flows of the process and transition directly to the calculation of the practical assignment. It is also possible to use the program for developing variants of calculation-graphical work (coursework) on the subject «Theory of pyrometallurgical processes».

As a result of the work, a certificate was obtained for the program for the PC №2023612749 «Program for modeling the sintering process of zinc concentrate», authors: Slobodin V.A., Kurtenkov R.V., Sizyakova E.V. [5]. In the future, it is planned to write similar programs, describing the movement of material flows, heat balances, kinetics, thermodynamics of other metallurgical processes.

#### Список литературы:

1. Шариков Ю.В. Моделирование процессов и объектов в металлургии: учеб. пособие / Шариков Ю.В., Белоглазов И.Н., Фирсов А.Ю. Санкт-Петербургский государственный институт (технический университет). СПб, 2006. 83 с.
2. Орлов А.К. Основы производства и обработки металлов: Учебное пособие / А.К.Орлов, Г.В.Коновалов. Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). СПб, 2006. 115 с.
3. Shao, S., Ma, B., Wang, C. et al. A Review on the Removal of Magnesium and Fluoride in Zinc Hydrometallurgy. *J. Sustain. Metall.* 8, 25–36 (2022). <https://doi.org/10.1007/s40831-022-00500-4>.
4. Диомидовский Д.А. Расчеты пиропроцессов и печей цветной металлургии: [Учеб. пособие для металлургич. вузов и фак.] / Д. А. Диомидовский, Л. М. Шалыгин, А. А. Гальнбек, И. А. Южанинов. Под науч. ред. проф. д-ра техн. наук Д. А. Диомидовского. – Москва: Металлургиздат, 1963. – 459 с.
5. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023612749 Российская федерация. Программа для моделирования процесса обжига цинкового концентрата : заявлено 20.01.2023 : опубликовано 07.02.2023 / Сlobodin V.A., Kurtenkov R.V., Sizyakova E.V. правообладатель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет», Бюл. № 2. – Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ.

V. A. Slobodin, R. V. Kurtenkov, E. V. Sizyakova

Modeling of oxidative firing process of zinc concentrate in Python 3.0 environment

*Saint Petersburg Mining University, Russia*

**Abstract.** *The technology of the first metallurgical conversion of zinc concentrate, namely oxidative firing, is considered. A program has been developed for modeling the process of firing zinc concentrate, describing the movement of material flows. In addition to the calculated mass and percentage values, it allows you to get graphical information about the composition of products.*

**Keywords:** zinc concentrate; oxidative firing; metallurgy of heavy non-ferrous metals; modeling; python 3.0