3. Кинетика десорбции радионуклидов ^{137}Cs и ^{90}Sr с почвогрунтов, загрязненных в результате аварии на ЧАЭС / Д.Э.Чиркст, К.Н.Чалиян, А.Г.Чалиян, Н.Р.Андреева // Радиохимия. 1996. Т.38. № 1. С.88-90.

4. *Dibrov I.A.* Leaching of ^{137}Cs and ^{90}Sr contaminated soils by $FeCl_3$ and NH_4Cl soluions / I.A.Dibrov, D.E.Chirkst, K.N.Chaliyan // Environmental Technology. V.20. P.575-585.

УДК 669.43

М.А.ЛАСТОЧКИНА
Металлургический факультет, студентка группы АПММ-95,
ассистент профессора

МОДЕЛЬ ПЛАВЛЕНИЯ ШИХТЫ В ВАННЕ РУДНО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕЧИ

В России переработка сульфидных медно-никелевых руд осуществляется в основном пирометаллургическими методами. Одним из важнейших процессов в пирометаллургической переработке руд является рудная плавка. На ГМК «Печенганикель» плавка сульфидного медно-никелевого сырья осуществляется в рудно-термических шестиэлектродных печах.

Рудно-термическая электроплавка обладает существенным достоинством – возможностью переработки практически любого типа металлургического сырья, но не лишена и недостатков. Основными недостатками являются негерметичность агрегата, вследствие чего он является источником крупных выбросов диоксида серы в атмосферу, кроме того, рудно-термические печи являются чрезвычайно сложными объектами с точки зрения автоматизации.

В настоящее время разрабатывается план реконструкции пирометаллургических переделов ГМК «Печенганикель». Одной из составляющих этого плана является переход на плавку брикетов. Для исследования особенностей плавки брикетированного сырья в рудно-термических печах разработана динамическая модель плавления шихты в этих агрегатах. В предлагаемой статье приводятся основные результаты вычислительных экспериментов на базе разработанной модели.

In Russia processing of sulphide copper-nickel ores is carried out mainly by pyrometallurgical methods. Ore smelting is one of the most important processes in pyrometallurgical ore treatment. At «Pechenganickel» sulphide copper-nickel raw materials are smelted in ore-thermal six-electrode furnaces.

Although ore-thermal electrosmelting has great advantage – it can process practically any metallurgical raw materials, it has disadvantages as well. The main of them are nonairtightness of the plant and, as a result, its being a source of a big exhaust of sulphide dioxide into the atmosphere. Apart from this, ore-thermal furnaces are very difficult objects from automational point of view.

At present time a plan of reconstruction of «Pechenganickel» pyrometallurgical redivisions is being worked out. One of the constituents of this plan is transition to briquette smelting. To survey pecularities of briquette materials' smelting in ore-thermal furnaces the dynamical model of charge smelting in these plants has been elaborated. The present article contains the main results of calculating experiments on the basis of the above mentioned model.

При переработке основной массы добываемых в России сульфидных медно-никелевых руд головными являются пирометаллургические переделы – обжиг руды или концентрата, плавка и конвертирование. Обжиговый передел может отсутствовать. Его целесообразность определяется технологическими и технико-экономическими показателями. В зависимости от состава исходной руды головным плавильным переделом может быть либо электроплавка, либо один из автогенных процессов (ПЖВ, ПВП). Так, на комбинате «Печенганикель» и никелевом заводе в Норильске плавильный пе-

редел представлен электропечами, на Надеждинском заводе в Норильске – печами Ванюкова.

Электропечи обладают рядом преимуществ – в них можно перерабатывать сырье практически любого состава и дисперсности, и рядом недостатков – сложностью автоматизации и утилизации бедных газов, содержащих сернистый ангидрид.

Выброс в атмосферу большого количества неутилизируемых серосодержащих газов негативно сказывается как на экологической обстановке, так и на экономической ситуации, поэтому в настоящее время разрабатывается план реконструкции пирометаллургических переделов ГМК «Печенганикель». Одним из перспективных вариантов является внедрение брикетирования сульфидного медно-никелевого концентрата с последующей сушкой брикетов и плавкой их в электропечах. Эффект очевиден – будет ликвидирован основной источник выбросов SO_2 в атмосферу – упрочняющий обжиг окатышей. Максимальный экономический и экологический эффект может быть достигнут путем герметизации сводов рудно-термических электропечей с целью снижения подсосов холодного воздуха и внедрением системы автоматизации. Максимальное снижение подсосов воздуха в подсводовое пространство и введение в печь более богатых по сере шихтовых материалов позволит получить отходящие газы, переработка которых на серную кислоту будет рентабельна.

Система автоматизации рудно-термических печей в том числе будет включать в себя систему автоматизированной загрузки материалов. Внедрение системы автоматизированной загрузки шихты осложняется тем, что срок службы датчиков, которые могли бы фиксировать уровень материала в печи, весьма ограничен из-за высоких температур, которые после уплотнения свода и снижения до минимума подсосов холодного воздуха будут значительно выше, чем те, что имеют место в настоящее время. Таким образом, целесообразно искать способы косвенной оценки уровня шихтовых материалов печи и скорости их плавления.

В качестве объекта для моделирования была принята электропечь комбината «Печенганикель» мощностью 45 МВт (рис.1). Загрузка печи производится из 12 промежуточных печных бункеров через загрузочные течки диаметром 530 мм, опущенные под свод на 500-700 мм. Расстояние от продольной оси печи до центра загрузочных отверстий в своде составляет 2700 мм.

Термодинамическая оценка скорости плавления шихты на практике является нерешаемой задачей из-за наличия большого числа факторов, учесть которые не представляется возможным. Поэтому единствен-

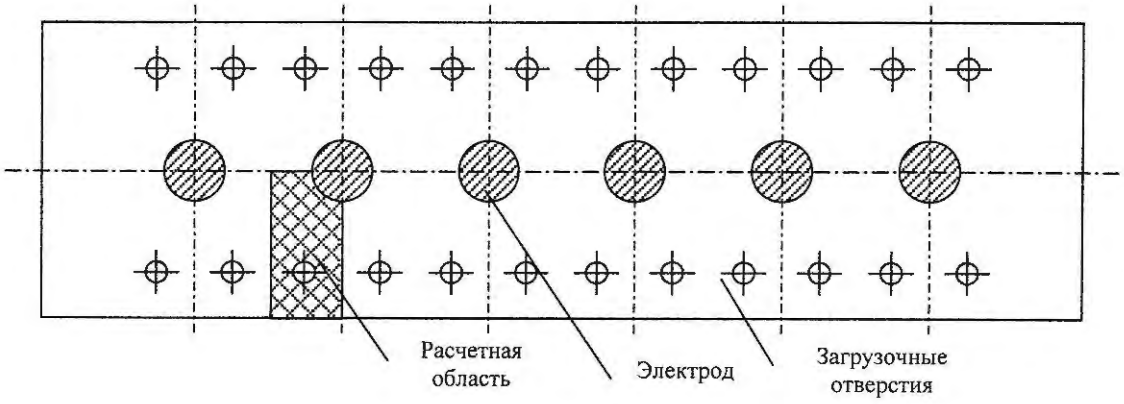


Рис.1. Рудно-термическая печь. Вид сверху

ным способом оценки является определение средней скорости схода шихты, исходя из удельной производительности печи.

Поведение шихтовых материалов в ванне рудно-термических электропечей детально исследовалось проф. Д.А.Диомидовским и впоследствии его аспирантом Г.М.Шмелевым. Диомидовский установил качественную картину распределения скоростей схода шихтовых откосов в зависимости от расстояния от оси электрода. Шмелевым были проведены детальные экспериментальные исследования конфигурации шихтовых откосов и скоростей плавления материалов в различных точках печи на Норильском горно-металлургическом комбинате. Им было показано, что скорости плавления материалов в непосредственной близости к электродам и у стен печи различаются в 5-7 раз и что кривая, описывающая зависимость скорости схода шихтовых откосов от расстояния от продольной оси печи, не изменяет своей формы при изменении удельной производительности печи, а лишь перемещается вдоль оси ординат. Сравнение режимов работы печей ГМК «Печенганикель» и печей Норильского комбината, на которых Шмелевым были получены количественные зависимости, показало, что удельная производительность различается незначительно, и поэтому на начальном шаге при моделировании мы можем использовать имеющиеся данные без какой-либо интерполяции и экстраполяции.

Известно, что производительность печи в основном зависит от двух факторов – теплопотребления шихты и температуры шлака, которая, в свою очередь, зависит от его состава и подводимой мощности. Таким образом, систему управления загрузкой шихты целесообразно строить на основании данных о составе шихты, продуктов плавки и значениях энергетических параметров.

Поскольку рудно-термические печи являются высокотемпературными агрегатами, контроль за составом продуктов процесса сопряжен с определенными трудностями и не может проводиться чаще, чем через определенный промежуток времени. Согласно регламенту оперативного аналитического контроля рудной электроплавки, отбор проб шлака производится 1 раз в 4 часа, отбор проб штейна – 1 раз в 8 часов. Оценка данных химических анализов за достаточно большой промежуток времени показала, что за время, прошедшее между двумя отборами проб шлака, его состав может значительно измениться, и, значит, управление только на основании данных ДЗК будет отлично от оптимального. Для введения поправки в задание системам управления дозировкой шихты необходимо иметь модель, адекватно описывающую плавление шихты.

Стоит отметить, что одной из главных, но решаемых трудностей является наличие ограниченного количества данных по энтальпиям шлака в зависимости от его состава и температуры. Это обстоятельство будет вносить серьезную погрешность в определение производительности печи из теплового баланса. Значит, при проектировании системы автоматизации загрузки необходимо провести детальные исследования зависимости теплосодержания шлаков от температуры и состава с последующей статистической обработкой этих данных.

Алгоритм функционирования автоматизированной системы управления загрузкой шихты может быть проиллюстрирован с помощью алгоритма, представленного на рис.2. Пусть в начальный момент времени $t = 0$ выданы задания регуляторам расхода шихты. Через некоторый промежуток времени Δt могут поступить данные о составе шлака и его температуре, тогда на основании расчета теплового баланса будет определено значение производительности. Если данные не поступили, то расчет состава шлака будет произведен по модели и осуществится коррекция задания системе управления загрузкой. Как только поступят данные химических анализов, на основании соответствующих расчетов будет выдано новое задание регуляторам расхода шихты.

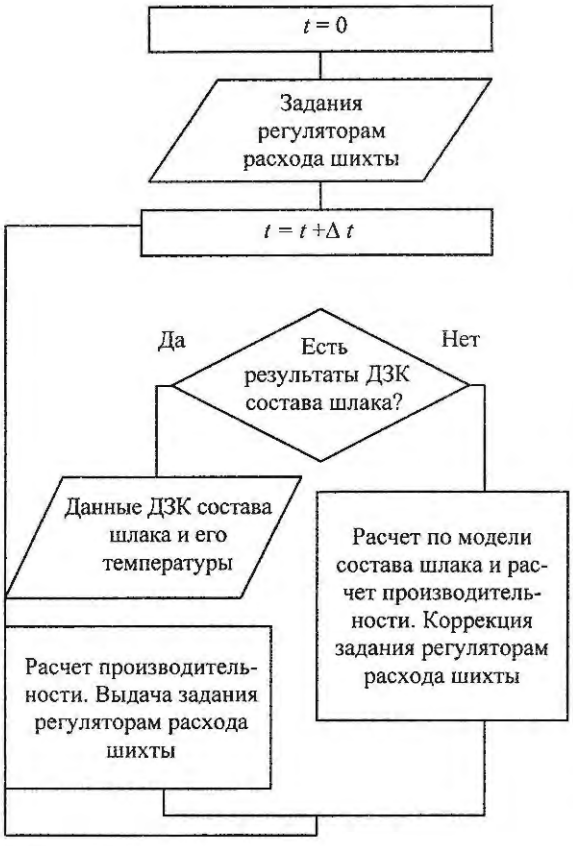


Рис.2. Алгоритм функционирования системы автоматизированной загрузки шихты

Исходными данными для составления динамической модели технологии электроплавки сульфидного медно-никелевого сырья явились составы исходного сырья, потери цветных металлов со шлаками (взяты по данным работы комбината «Печенганикель»), угол естественного откоса материла, скорость схода материала, средняя рабочая мощность печи.

При составлении модели были приняты следующие допущения: материал монодисперсный (это допущение оправданно, так как по проекту реконструкции в качестве шихты планируется применять брикеты, значит, все частицы имеют примерно одинаковый размер); материал не слипается и не окомковывается; не происходит зависание материала у стен (отсутствует настыль, препятствующая сходу шихты).

Для расчета был взят участок печи, расположенный между электродами (рис.1, заштрихованная область). Выбор определяется тем, что имеются данные по экспериментальному определению конфигурации слоя шихты в этой области и представляется возможным сравнить полученный в результате моделирования профиль с реальным.

Примем, что высота слоя шихты в каждой точке в начальный момент времени одинакова и равна 1 м. Покроем область расчетной сеткой с шагами Δx и Δy по осям x и y соответственно. В результате получим, что слой шихты разбит на N прямоугольных параллелепипедов, высота каждого из которых определится как толщина слоя в точке x, y. Перестроим график для скорости схода шихты в зависимости от расстояния от оси электрода и определим скорость плавления материла в каждой точке. Скорректировав полученное значение, исходя из средней производительности печи в данный момент времени, определим, как изменится высота слоя шихты в каждой точке ($\Delta z_{i,j}$). Новый профиль получим вычитанием из начальной высоты элементарного параллелепипеда величины $\Delta z_{i,j}$.

Загрузка шихты моделировалась на основании данных об угле естественного откоса материала и информации о форме поверхности слоя шихты в данный момент времени. В основе расчета лежит итерационная процедура, в результате которой вычисляется такая высота конуса, при которой фигура, образованная пересечением конуса и криволинейной поверхности (заштрихованная область на рис.3), имеет объем, равный объему загруженной порции шихты. Координаты вершины конуса x и y совпада-

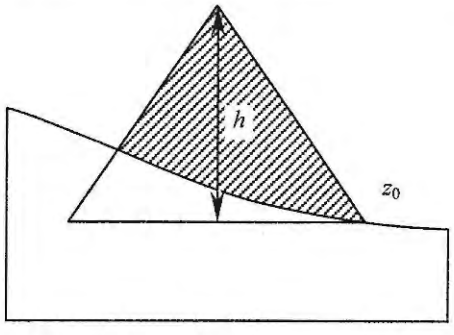


Рис.3. Моделирование загрузки

ют с центром загрузочного отверстия, основание конуса располагается на уровне самой нижней точки поверхности (z_0), находящейся в пределах основания конуса.

Анализ результатов показал, что полученная при моделировании конфигурация шихтовых откосов близка к той, которая имеется в реальных условиях, и, следовательно, можно предположить, что модель адекватно описывает процесс.

Для использования представленных результатов на практике необходимо произвести более детальное исследование скоростей схода шихтовых откосов в зависимости от расстояния от оси электрода и удельной производительности печи и рассмотреть вопросы целесообразности учета горизонтальной составляющей в движении шихтовых материалов, полидисперсности материалов и возможности их окомкования.

Научный руководитель профессор, д.т.н. *А.А.Гальнбек*