

Применение метода опорных компонентов для расчета материальных балансов производства цинка

А.Л. Рутковский, Е.И. Мешков, Г.Г. Арунянц, А.А. Саакянц

В технологических процессах химико-металлургических и других производств данные о закономерностях распределения и содержания отдельных компонентов в материальных потоках конкретного передела технологической схемы (далее элемента) позволяют, с достаточной для практических целей точностью, рассчитывать покомпонентные материальные балансы и значения массовых расходов материальных потоков, в том числе таких, которые не контролируются инструментальными методами. Такие компоненты мы назвали опорными, а метод расчета – методом опорных компонентов.

Этот метод позволяет по данным текущего химического анализа материальных потоков, в условиях ограниченной информации об их расходах, оперативно контролировать ход технологического процесса и своевременно его регулировать, с целью повышения технико-экономических показателей.

В общем случае, когда известен коэффициент извлечения такого компонента из потоков прихода элемента в определенный поток расхода, применимо следующее уравнение материального баланса:

$$Q_p = \frac{\varepsilon \sum_{i=1}^n C_{j,i} Q_i}{C_{j,p}}, \quad (1)$$

где Q – массовый расход материальных потоков; i ,

p и j – номера соответственно потоков прихода, потока расхода и компонента; ε – коэффициент извлечения; n – количество потоков прихода; C – концентрация, доли ед.

В некоторых случаях, когда опорный компонент практически полностью извлекается в один из продуктов элемента, то есть $\varepsilon = 1$, уравнение упрощается и принимает вид

$$Q_p = \frac{\sum_{i=1}^n C_{j,i} Q_i}{C_{j,p}} = \frac{C_{j,0}}{C_{j,p}} Q_u, \quad (2)$$

где $C_{j,0}$ – средняя концентрация опорного компонента в шихте; Q_u – массовый расход шихты.

Предложенный метод расчета можно пояснить на примере используемого в цинковом производстве процесса вельцевания цинксодержащего сырья [1], технологическая схема которого приведена на рис. 1, а данные по средним составам материальных потоков в табл. 1. В этом процессе, заключающемся в восстановлении и отгонке в газовую фазу цинка и других летучих компонентов в трубчатой вращающейся печи, опорным компонентом является кадмий.

Кадмий в условиях вельцевания легко восстанавливается из его соединений и, обладая высокой летучестью, наиболее полно из всех компонентов

Таблица 1

Химический состав материальных потоков вельцпроцесса

Наименование потоков	Содержание компонентов, %						
	Zn	Pb	Cu	Cd	In	Au, г/т	S
Шихта	23,0	4,14	0,74	0,14	0,0091	1,0	8,72
Клинкер	0,43	0,48	0,87	0	0,002	1,2	6,66
Вельцоксиды	62,46	10,74	0,19	0,491	0,06	0,2	2,69

Рутковский А.Л. – д.т.н. СКГМИ (ГТУ)

Мешков Е.И. – к.т.н. СКГМИ(ГТУ)

Арунянц Г.Г. – д.т.н. СКГМИ(ГТУ)

Саакянц А.А. – к.т.н. СКГМИ(ГТУ)

переходит в технологические газы, а затем, в результате окисления свободным кислородом, – в вельцоксиды.

В соответствии с уравнением (2) для кадмия получим:

$$Q_{ок} = Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}}, \quad (3)$$

где Cd – символ компонента; $ш, ок$ – индексы, обозначающие соответственно шихту и вельцоксиды.

Тогда массовый расход цинка, переходящий в вельцоксиды ($Q_{Zn,ок}$), определится из соотношения

$$Q_{Zn,ок} = Q_{ок} C_{ок} = Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Zn,ок}. \quad (4)$$

а количество цинка в клинкере – из соотношения

$$Q_{Zn,кл} = Q_{Zn,ш} - Q_{Zn,ок}, \quad (5)$$

или, с учетом (4),

$$Q_{Zn,кл} = Q_{ш} \left(C_{Zn,ш} - \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Zn,ок} \right). \quad (6)$$

В случаях расчета выхода продуктов и материальных балансов непрерывных процессов за короткий период времени (T) необходимо учитывать за-

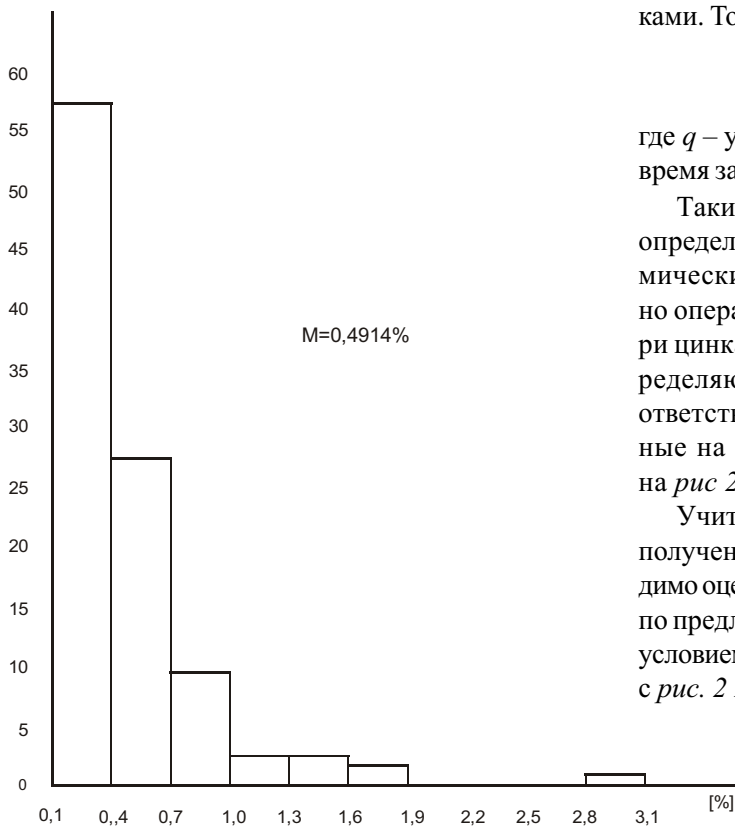


Рис. 2. Гистограмма содержания цинка в клинкере.

M – математическое ожидание

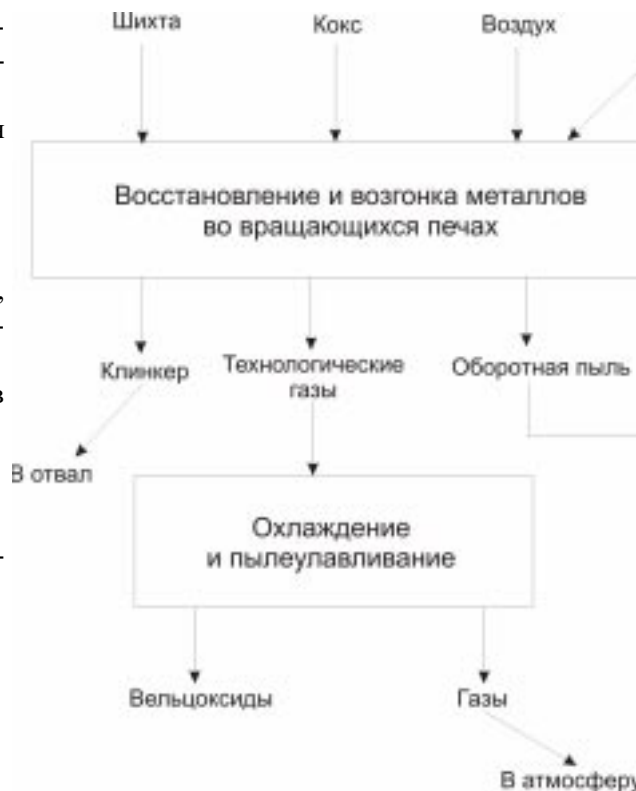


Рис. 1. Технологическая схема процесса вельцевания цинкосодержащей шихты.

паздывание между входными и выходными потоками. Тогда выражение (5) примет вид:

$$\int_0^T q_{Zn,кл} d\tau = \int_{-T}^{T-t} q_{Zn,ш} - \int_0^T q_{Zn,ок} d\tau, \quad (7)$$

где q – удельный массовый расход компонента; t – время запаздывания; τ – время.

Таким образом, при наличии инструментально определяемого расхода шихты и необходимых химических анализов потоков вельцпроцесса можно оперативно контролировать их расходы и потери цинка с клинкером. Эти потери в основном определяются содержанием цинка в клинкере. Соответствующие статистические данные, полученные на одном из цинковых заводов, приведены на рис. 2.

Учитывая то, что оперативные анализы всегда получены с определенной погрешностью, необходимо оценить точность результатов, рассчитываемых по предлагаемой методике. Во-первых, граничным условием при решении уравнения (6) в соответствии с рис. 2 является

$$Q_{Zn,кл} = 0,001 Q_{ш}, \quad (8)$$

а во-вторых, точность расчетных значений выхода цинка в клинкер и необходимость проведения дополнительных анализов, в случае недостаточной точ-

ности, можно определить по соотношению $C_{Cd,ш} / C_{Cd,ок}$.

В соответствии с уравнением (6) при пропорциональном изменении содержания кадмия в шихте и в вельцооксидах выход цинка в клинкер при определенных значениях $Q_{ш}$, $C_{Zn,ш}$ и $C_{Zn,ок}$ будет постоянным. Если расчетное отношение $C_{Cd,ш} / C_{Cd,ок}$, полученное по нижеописанной методике, отличается от установившегося для заданной шихты больше, чем допустимо, то для повышения точности расчета необходимо получить дополнительные анализы.

Основными компонентами шихты вельцевания являются цинковый кек, гранулированный шлак и пыль свинцового производства, окисленная цинковая руда, состав которых приведен в табл. 2.

Причем шихта в основном составляется из двух первых компонентов и реже – с добавкой небольшого количества какого-либо третьего компонента.

Соотношение кека и шлака в шихте ориентировочно может быть определено из следующей системы балансовых уравнений:

$$\begin{aligned} C_{Pb,ш} &= C_{Pb,к} \alpha_k + C_{Pb,шл} \alpha_{шл} \\ C_{Zn,ш} &= C_{Zn,к} \alpha_k + C_{Zn,шл} \alpha_{шл} \end{aligned} \quad (9)$$

$$\alpha_k + \alpha_{шл} = 1,$$

где *шл*, *к* – индексы, относящиеся соответственно к шлаку и кеку; α – массовая доля.

В этих уравнениях неизвестными являются массовые доли шлака и кека, поэтому система (9) является избыточной, так как число уравнений в ней три, а неизвестных – два.

Третье уравнение описывает материальный баланс потоков, составляющих шихту, и является точным. Первые два уравнения представляют собой уравнения материального баланса компонентов – свинца и цинка, и включают данные химического анализа, которые определяются с определенной погрешностью. В связи с этим коэффициенты при неизвестных в них могут содержать ошибку, поэтому необходимо иметь метод контроля точности анали-

зов и результатов расчета, а также их корректировку в случае недостаточной точности.

Для этого необходимо использовать метод Гаусса, который заключается в решении нормализованной системы уравнений, полученной суммированием преобразованных неточных уравнений избыточной системы путем умножения каждого из них на коэффициент этого уравнения, значение которого вызывает сомнение [2].

Рассмотрим пример применения метода для расчета соотношения компонентов шихты вельц-печей. Допустим, что получен оперативный анализ шихты: $C_{Zn,ш} = 15\%$, $C_{Pb,ш} = 3\%$, $C_{Cd,ш} = 0,1\%$.

Для того чтобы использовать в расчете значения $C_{Cd,ш} = 0,1\%$, определим соотношение кек–шлак в шихте, зная, что за данный месяц $C_{Zn,к} = 22\%$, $C_{Zn,шл} = 12\%$, $C_{Pb,к} = 4\%$, $C_{Pb,шл} = 2\%$.

Причем будем считать, что данные по кеку менее точны, чем по шлаку.

Составим уравнения материального баланса цинка и свинца в соответствии с (9):

$$\begin{cases} 15 = 22\alpha_k + 12\alpha_{шл} \\ 3 = 4\alpha_k + 2\alpha_{шл} \end{cases}$$

Умножим каждое из них на коэффициент при α_k :

$$\begin{cases} 15 * 22 = 22 * 22\alpha_k + 12 * 22\alpha_{шл} \\ 3 * 4 = 4 * 4\alpha_k + 2 * 4\alpha_{шл} \end{cases}$$

После суммирования этих уравнений получим:

$$342 = 500\alpha_k + 262\alpha_{шл}$$

Тогда система нормализованных уравнений будет иметь вид:

$$\begin{cases} 342 = 500\alpha_k + 262\alpha_{шл} \\ 1 = \alpha_k + \alpha_{шл} \end{cases}$$

В результате решения этой системы получим: $\alpha_k = 0,336$ и $\alpha_{шл} = 0,664$.

Точность полученных расчетных значений доли кека и шлака в шихте можно проверить по описанной выше методике следующим образом.

Исходя из того, что в соответствии с табл. 2 $C_{Cd,к} = 0,18\%$, а $C_{Cd,шл} = 0\%$, расчетное значе-

Таблица 2

Химические составы основных компонентов шихты вельцевания

Компоненты шихты	Содержание, %							
	Zn	Pb	Cu	Cd	In	Fe	SiO ₂	S
Цинковый кек	22,59	4,68	0,85	0,18	0,0023	24,3 1	8,4	7,79
Свинцовый шлак	12,38	1,5	0,31	–	0,0046	24	21,2	–
Руда окисленная	51,07	7,07	2,49	0,21	0,0004	2,55	11,5	–
Свинцовая пыль	28,5	39,3	0,2	2,34	0,031	2,3	1,8	7,74

ние содержания кадмия в шихте должно быть

$$0,336 \times 0,18 = 0,061\%.$$

Полученные значения содержания кадмия в шихте проверяются по соотношению $C_{Cd,ш} / C_{Cd,ок}$, и если оно соответствует заданной точности, то рассчитываются значения расходов материальных потоков процесса и потери металлов с клинкером. В противоположном случае используются данные анализа повторных или предыдущих проб для составления дополнительных уравнений баланса компонентов, то есть количество уравнений в системе (9) и используемых в процедуре нормализации необходимо увеличивать до тех пор, пока не будет обеспечена стабильность результатов и требуемая точность расчета.

В случае если погрешность измерения составов случайна и аддитивна, метод Гаусса дает наилучшую корректировку, причем точность нахождения переменных тем выше, чем больше уравнений участвовало в нормализации.

С увеличением числа компонентов в шихте система уравнений должна дополняться уравнениями баланса кадмия, в случае введения в шихту пыли свинцового производства, меди – при переработке окисленной руды и CaO – свинцового шлака. По приведенному выше алгоритму в случае необходимости могут быть скорректированы все элементы формулы (6).

Таким образом, по оперативным данным анализов шихты и вельцооксидов можно получать оперативные оценки выходов продуктов и другие параметры процесса вельцевания.

В процессе гидрометаллургической переработки вельцооксидов, технологическая схема которого приведена на рис. 3, а химические составы материальных потоков – в табл. 3, опорным компонентом для аналогичных расчетов является свинец. Он в процессе переработки практически полностью остается в кеках.



Рис. 3. Технологическая схема гидрометаллургической переработки вельцооксидов

Выходы свинцового и меднохлорного кеков можно определить из системы уравнений

$$\begin{cases} Q_{Pb,ок} = C_{Pb,1} Q_1 + C_{Pb,2} Q_2 \\ \Delta Q_{Cu,ок} = C_{Cu,1} Q_1 + C_{Cu,2} Q_2 \end{cases}, \quad (10)$$

где 1, 2 и далее 3 – индексы, относящиеся соответственно к свинцовому, меднохлорному кекам и цинковому раствору; $\Delta Q_{Cu,ок}$ – суммарный массовый расход меди в кеках.

Расход свинца в вельцооксидов определяется из формулы

$$Q_{Pb,ок} = Q_{ок} C_{Pb,ок} = Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Pb,ок}. \quad (11)$$

$\Delta Q_{Cu,ок}$ на первом этапе расчета можно принять, в соответствии со статистическими данными, равным $0,5 Q_{Cu,ок}$, а в случае необходимости откорректировать после проведения всех расчетов, то есть по аналогии с (11):

$$\Delta Q_{Cu,ок} = 0,5 Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Cu,ок}. \quad (12)$$

Таблица 3

Химический состав продуктов переработки вельцооксидов

Наименование продуктов	Содержание компонентов, %				
	Zn	Pb	Cu	Cd	In
Свинцовый кек	7,46	39,48	0,38	0,12	0,0245
Меднохлорный кек	6,99	10,74	30,11	0,5	сл.
Цинковый раствор*	120	0,016	1,65	0,903	–

* – содержание дано в г/л.

Решение системы уравнений (10) дает следующие формулы для вычисления расходов обоих видов кеков:

$$\begin{cases} Q_1 = \frac{Q_{Pb,ок} C_{Cu,2} - \Delta Q_{Cu,ок} C_{Pb,2}}{C_{Pb,1} C_{Cu,2} - C_{Cu,1} C_{Pb,2}} \\ Q_2 = \frac{\Delta Q_{Cu,ок} C_{Pb,1} - Q_{Pb,ок} C_{Cu,1}}{C_{Pb,1} C_{Cu,2} - C_{Cu,1} C_{Pb,2}} \end{cases} \quad (13)$$

Расход цинка, перешедшего в цинковый раствор из вельцооксидов, найдется по разности:

$$Q_{Zn,3} = Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Zn,ок} - Q_1 C_{Zn,1} - Q_2 C_{Zn,2} \quad (14)$$

Объемный расход цинкового раствора составит:

$$V_3 = \frac{Q_{Zn,3}}{C_{Zn,3} - C_{Zn,эл}}, \quad (15)$$

где V – объемный расход; эл – индекс, соответствующий цинковому электролиту.

Для контроля принятого в начале расчета значения выхода меди в кеки можно использовать зависимость

$$\Delta Q_{Cu,ок} = Q_{ш} \frac{C_{Cd,ш}}{C_{Cd,ок}} C_{Cu,ок} - V_3 C_{Cu,3} \quad (16)$$

Примеры использования метода опорных компонентов в производстве цинка показывают, что этот метод можно эффективно использовать для контроля и оперативного управления различными технологическими процессами.

Литература

1. *Снурников А.П. Гидрометаллургия цинка.* – М.: Металлургия, 1981.
2. *Ивахненко А.Г. Система эвристической самоорганизации в технической кибернетике.* – К.: Техника, 1971.

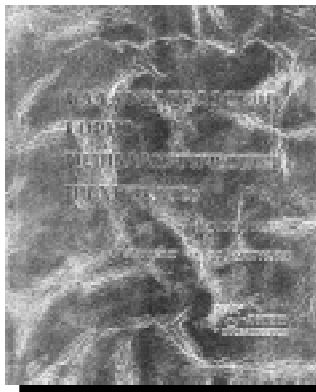
В МИРЕ КНИГ

Владикавказский горно-металлургический техникум: история в лицах и событиях, 1931–2006 гг.

Издательско-полиграфическое предприятие им. В. Гассиева. Владикавказ, 2006. 226 с.

Издание бесспорно интересное, поучительное и своевременное. Изучение истории народного образования было и будет актуальным, тем более, когда дело касается Владикавказского горно-металлургического техникума, единственного среднего профессионального учебного заведения на Северном Кавказе, где осуществляется подготовка специалистов по жизненно необходимым направлениям «горное дело» и «металлургия». Книга, несомненно, будет востребована не только студентами ВГМТ (бывшими и настоящими), но и общественностью республики. Студентам ВГМТ будет полезно ознакомиться с ее содержанием для того, чтобы ощутить себя частицей великого коллектива с богатейшей историей, сохранить и передать ту преемственность поколений, которую бережно хранит студенческий и преподавательский состав техникума, почувствовать ответственность перед родным славным учебным заведением.

Благодаря кропотливой работе коллектива авторов В.Д. Дзидзоева, Т.Ю. Кетоевой и Г.Г. Басиевой мы



сегодня имеем возможность проследить на страницах книги всю динамику развития учебного заведения, которому исполнилось 75 лет. В истории техникума были взлеты и падения, связанные со становлением нового российского государства, но коллектив с честью вышел из всех передряг, сохранив уникальный потенциал и приумножив его богатые традиции. Сегодня ВГМТ – динамично развивающееся учебное заведение. Он растет и развивается, становится все более востребованным среди молодежи. А значит, у юбиляра еще все впереди.

Особенно ценны сведения о наиболее выдающихся выпускниках ВГМТ, создавших славу республики и востребованных по всей стране. За 75 лет техникум собрал немало наград, но самая главная их них – ее выпускники, имена которых украшают не одну страницу трудовой славы предприятий важнейшей отрасли экономики страны.

Данная работа представляет интерес для широкого круга читателей: студентов, аспирантов, преподавателей, исследователей народного образования, руководителей других учебных заведений республики.