Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. XLV, вып. 3, 1964 г.

РАСЧЕТНЫЕ МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВ ОТВАЛЬНЫХ И ПРОМЕЖУТОЧНЫХ ПРОДУКТОВ НИКЕЛЬ-КОБАЛЬТОВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

С. Ф. Белов, С. П. Цыркин

В целях коренного улучшения нормирования расхода сырья и материалов в народном хозяйстве, внедрения технически и экономически обоснованных норм большое значение приобретает упорядочение и унификация методики составления плановых и отчетных балансов металлов и получение достоверных отчетных показателей извлечения металлов.

Как показал анализ производственной деятельности предприятий никель-кобальтовой промышленности, уровень показателей извлечения металлов устанавливается из балансов металлов. Достоверность этих показателей в значительной степени определяется качеством учета (взвешивания, опробования и химического анализа) сырья, полуфабрикатов, товарной и отвальной продукции, входящих составными статьями в приходную и расходную части баланса. Так как в основном нормирование показателей извлечения и потерь металлов основывается на отчетно-статистическом методе в сочетании с экспертной оценкой, очень важно, чтобы состояние учета на предприятиях было на должной высоте.

Однако некоторые предприятия никель-кобальтовой промышленности для балансовых определений применяют расчетные методы количественного определения продуктов металлургического производства: отвальных шлаков шахтных печей и электропечей; штейнов, конвертерных шлаков, агломератов, хвостов обогатительных фабрик и др. Расчетные методы, хотя и ограничивают круг произвольных допущений и обеспечивают единообразие расчетов, менее точны, чем непосредственное взвешивание жидких продуктов плавок или хотя бы количественное определение объемным способом (по числу ковшей, шлаковозных чаш и их емкости с учетом степени заполнения).

Отсутствие на предприятиях весового учета некоторых продуктов плавок и подмена этого учета расчетными методами объясняются рядом объективных причин:

1) особенностями технологического процесса, которые исключают возможность взвешивания отвальных продуктов (слив шлака по желобам на грануляцию, спуск хвостов обогатительных фабрик по пульпопроводу в хвостохранилище и др.);

2) значительной нагрузкой на крановое хозяйство при организации взвешивания;

3) возможностью замерзания жидких продуктов плавок в сосудах и нарушения синхронной работы смежных участков и агрегатов в процессе взвешивания;

4) отсутствием соответствующих весовых приспособлений и др.

Все эти доводы являются в какой-то мере обоснованными. Однако замена взвешивания расчетными способами не обеспечивает необходимой для балансовых целей точности и скрывает резервы для «корректировки»

отчетных показателей извлечения металлов в желаемом направлении. Кроме того, как показано ниже, количественный расчет соответствующих продуктов осуществляется на предприятиях разными способами. Это затрудняет сопоставление результатов работы родственных участков предприятий.

В основе расчетных методов, проводимых как правило в конце отчетного периода, заложены балансовые уравнения по количеству металлсодержащих материалов и флюсов, количеству сырья, железа, кремния и других компонентов. При составлении таких уравнений используется ряд экспериментальных или расчетных коэффициентов, учитывающих распределение отдельных компонентов шихты между продуктами плавок и специфику производства.

Так, например, на обогатительной фабрике Норильского горнометаллургического комбината количество отвальных хвостов, выданных фабрикой за отчетный период рассчитывается по формуле

$$X = Q - K, \tag{1}$$

где Q — вес исходной руды;
K — вес концентрата.

При таком методе расчета на хвосты списываются как безвозвратные (механические) потери металлов, так и погрешности учета (при взвешивании, опробовании, химическом анализе).

На обогатительных же фабриках комбинатов «Печенганикель» и «Североникель» при определении расчетным способом количества сбрасываемых в хвостохранилище хвостов дополнительно учитываются безвозвратные потери металлов.

На комбинате «Южуралникель» количество отвального шлака шахтных печей рассчитывается по балансовой формуле

$$Ш = P_а + P_ш - 0{,}3\,(P_а + P_ш) - 0{,}1\,(P_а + P_ш) + П_о + T_{об} + \\ + 0{,}15\,K + 0{,}17\,З + 0{,}55\,И + 0{,}4\,Г + 0{,}6\,Ж - С - П_б, \tag{2}$$

где $P_а$ и $P_ш$ — руда, поступающая, соответственно, в агломерацию и непосредственно в шахтную плавку;
$T_{об}$ — оборотный конвертерный шлак, нагружаемый в шахтные печи (определяется специальным расчетом);
$П_о$ — пыль из остатка, переработанная в текущем периоде;
K — кокс, загружаемый в шахтные печи;
$З$ — коксик, поступающий в агломерацию;
$И$ — известняк, загружаемый в шахтные печи;
$Г$ — гипс;
$Ж$ — колчедан, содержащийся в шихте шахтной плавки;
$С$ — штейн, полученный на шахтных печах за отчетный период;
$П_б$ — безвозвратно теряемая пыль (определяется специальным расчетом);
0,30 — содержание влаги в руде, доли единицы;
0,10 — потери при прокаливании руды, доли единицы;
0,15 и 0,17 — содержание золы соответственно в коксе и коксике, доли единицы (устанавливаются эпизодическим химическим анализом);
0,55 и 0,40 — окись кальция, перешедшая в шлак, доли единицы от веса содержащихся в шихте соответственно известняка и гипса (рассчитываются на основе предпосылки, что вся окись кальция, содержащаяся в известняке и гипсе, переходит в шлак);
0,6 — железо, перешедшее в шлак, доли единицы от веса содержащегося в шихте колчедана.

Количество безвозвратно теряемой пыли

$$П_б = \frac{M_1 \varepsilon - П_{ул}}{\alpha_п}, \quad (3)$$

где M_1 — количество никеля, поступающего с металлсодержащим сырьем в шахтную плавку;

ε — плановое извлечение никеля в пыль (по данным плановых балансов металлов), %;

$П_{ул}$ — количество уловленной пыли;

$\alpha_п$ — процентное содержание никеля в пыли, $\alpha_п = 1{,}1\%$.

Количество оборотного конвертерного шлака

$$Т_{об} = 7{,}5\,Ф - Т_{отв}, \quad (4)$$

где $Ф$ — файнштейн, полученный в конвертерном переделе за отчетный период;

$Т_{отв}$ — отвальные конвертерные шлаки (определяются объемным способом).

На Уфалейском никелевом заводе количество отвального шлака шахтных печей рассчитывается по формуле

$$Ш = [Р - 0{,}16\,Р - 0{,}08\,Р + Т_{об} + П_о + 18К + 0{,}53\,И + 0{,}4\,Г + 0{,}4\,Ж + 0{,}2\,П_р + 0{,}2\,Х]\,0{,}93 - С, \quad (5)$$

где $Р$ — подсушенная руда, поступающая из сушильного цеха на брикетирование (по отчетным данным);

$П_р$ — привозные металлоотходы, поступающие в шахтную плавку;

$Х$ — оборотные продукты кобальтового производства, поступающие в шахтную плавку;

$Ж$ — пирит, содержащийся в шихте шихтной плавки;

0,16 — содержание влаги в подсушенной руде, доли единицы;

0,18 — потери при прокаливании руды, доли единицы;

0,53 и 0,4 — окись кальция, перешедшая в шлак, доли единицы от веса содержащегося в шихте соответственно известняка и гипса;

0,4 — железо, перешедшее в шлак, доли единицы от веса содержащегося в шихте пирита;

0,18 — содержание золы в коксе (по ежемесячным данным химлаборатории), доли единицы;

0,2 — привозные металлоотходы и оборотные продукты кобальтового производства, переходящие в шлак, доли единицы от весового количества указанных материалов в шихте (по данным экспертной оценки);

0,93 — коэффициент, характеризующий степень перехода шихтовых компонентов в отвальный шлак с учетом пылевыноса на шахтных печах, доли единицы.

Так как на заводе не ведется весового учета штейна шахтной плавки и конвертерного шлака и существуют большие погрешности в опробовании конвертерного шлака на никель, техническим отделом предприятия разработана методика расчета количества указанных выше продуктов и определения содержания никеля в конвертерных шлаках.

Количество штейна шахтных печей, конвертерного шлака и содержание в нем никеля определяется решением системы трех уравнений, являющихся балансами по никелю, кобальту и железу

$$(С\,\alpha_н + М\,\beta_н)\,0{,}99 = Ф\,\gamma_н + Т\,\omega_н, \quad (6)$$

$$(С\,\alpha_к + М\,\beta_к)\,0{,}99 = Ф\,\gamma_к + Т\,\omega_к, \quad (7)$$

$$(С\,\alpha_ж + М\,\beta_ж)\,0{,}99 = Ф\,\gamma_ж + Т\,\omega_ж, \quad (8)$$

где $\alpha_ж$, $\alpha_к$, $\alpha_н$ — содержание в штейне соответственно железа, кобальта никеля;

M — количество привозного металлосодержащего сырья;

$\beta_ж$, $\beta_к$, $\beta_н$ — содержание в привозном сырье железа, кобальта, никеля;

$Ф$ — количество файнштейна;

$\gamma_ж$, $\gamma_к$, $\gamma_н$ — содержание в файнштейне железа, кобальта, никеля;

$\omega_ж$, $\omega_к$, $\omega_н$ — содержание в конвертерном шлаке железа, кобальта, никеля;

0,99 — извлечение никеля, кобальта и железа в файнштейн и конвертерный шлак с учетом пылевыноса при конвертировании, доли единицы.

Если обозначить $M\,\beta_н = a$, $M\,\beta_к = b$, $M\,\beta_ж = d$ и совместно решить уравнения (7) и (8), то получим

$$C = \frac{(0{,}99\,d - Ф\,\gamma_ж)\,\omega_к - (0{,}99\,b - Ф\,\gamma_к)\,\omega_ж}{0{,}99\,(\alpha_к\omega_ж - \omega_к\alpha_ж)}\,; \qquad (9)$$

$$T = \frac{(Ф\,\gamma_ж - 0{,}99\,d)\,\alpha_к - (Ф\,\gamma_к - 0{,}99\,b)\,\alpha_ж}{(\omega_к\alpha_ж - \alpha_к\omega_ж)}\,. \qquad (10)$$

Величины a, b и d определяются взвешиванием и химическими анализами привозного сырья, поступившего в конвертерный передел за отчетный период (режский штейн, привозные металлоотходы и т. д.); Ф — взвешиванием файнштейна, выданного плавильным цехом за отчетный период; $\alpha_н$ и $\omega_к$ — статистически на основе сменных и суточных анализов; $\omega_ж$, $\alpha_к$, $\alpha_ж$, $\gamma_н$, $\gamma_к$, $\gamma_ж$ — по данным среднемесячных анализов.

Вначале определяются a, b и d. Затем, подставив в формулы (9) и (10) a, b, d и соответствующие содержания металлов, определяют количества штейна и конвертерного шлака, полученные в плавильном цехе за отчетный период. По формуле (6) определяется содержание никеля в конвертерном шлаке.

На комбинате «Печенганикель» отвальные шлаки электропечей и конвертерных шлаков рассчитываются методом приближения — путем последовательного составления и решения нескольких уравнений материальных балансов (по массе, сере, железу и кремнию). В полученные при этом количества отвальных и конвертерных шлаков вносятся уточняющие коррективы, учитывающие результаты решения составленных уравнений. Практически задача решается следующим образом.

1. Расчет отвальных шлаков электропечей. В электропечах плавильного цеха перерабатываются подсушенная руда, флотационный концентрат с содержанием влаги до 7% и агломерат (окатыши концентрата).

Обозначим: $P_п$ и $P_с$ — подсушенная и сухая руда;

$K_п$ и $K_с$ — подсушенный и сухой флотационный концентрат;

A — агломерат;

$M_в$ и $M_с$ — кварц на влажный и сухой вес;

$П$ — пылевынос по цеху;

W — влага в шихтовых материалах;

S — потери серы с газами;

$Ж$ — железо в отвальном шлаке электропечей;

B — окись кремния в отвальном шлаке электропечей;

$Н_{изп}$ — количество незавершенного производства;

$Ш$ — отвальный шлак электропечей;

$S_Р$, $S_А$, $S_К$, $S_Ф$, $S_Ш$, $S_Н$; $\omega_Р$, $\omega_А$, $\omega_К$, $\omega_Ф$, $\omega_Н$, $\omega_М$, $\omega_Ш$;

$\gamma_Р$, $\gamma_А$, $\gamma_К$, $\gamma_М$, $\gamma_Н$, $\gamma_Ш$ — процентное содержание серы, железа и окиси кремния в указанных выше продуктах;

$П$ — пылевынос по цеху, $П = 100 - 150$ *т/месяц*.

Вначале составляется балансовое уравнение по сере. Для этого в первом приближении задаются ориентировочным выходом отвального шлака: 100—105% от веса загружаемой шихты

$$Ш_1 = (1{,}0 - 1{,}05)(Р + К + А + М). \tag{11}$$

Затем составляется баланс по сере

$$S = PS_Р + AS_А + KS_К \pm H_{изп}S_Н - ФS_Ф - Ш_1S_Ш \tag{12}$$

и определяется количество влаги в шихте

$$W = (Р_П - Р_С) + (К_П - К_С) + (М_В - М_С). \tag{13}$$

Содержание влаги в кварце принимается 3—3,5% от веса кварца. Потери по цеху

$$\varepsilon = S + W + П \tag{14}$$

подставляют в уравнение материального баланса для определения во втором приближении уточненного количества отвального шлака электропечей

$$Ш_2 = Р_С + А + К_С \pm H_{изп} + \varepsilon - Ф. \tag{15}$$

Уточненное количество отвального шлака подставляется в баланс металлов и по разности приходной и расходной частей баланса определяется величина безвозвратных потерь металлов. Определенное указанным выше способом количество отвальных шлаков снова уточняется последовательным составлением уравнений балансов по железу [формула (16)] и окиси кремния [формула (17)]

$$Ж = Р_С\,\omega_Р + А\,\omega_А + К_С\,\omega_С + М_С\,\omega_М \pm H_{изп}\,\omega_Н - Ф\,\omega_Ф; \tag{16}$$

$$В = Р_С\,\gamma_С + А\,\gamma_А + К\,\gamma_К + М\,\gamma_М \pm H_{изп}\,\gamma_Н. \tag{17}$$

Отвальный шлак в третьем приближении

$$Ш_3 = \frac{Ж}{\omega_Ж}, \tag{18}$$

в четвертом приближении

$$Ш_4 = \frac{В}{\gamma_Ш}. \tag{19}$$

При расчетах соблюдаются равенства

$$Ш_2 = Ш_3 = Ш_4.$$

При несовпадении сравниваемых данных изменяется количество отдельных шихтовых продуктов.

Расчеты считаются законченными, если расхождение количества отвального шлака, определенного через потери и по железу, не превышает 1000 *т*, а по кварцевому песку 100—500 *т*.

2. Расчет конвертерных шлаков. Вначале определяется количество штейна, загруженного в конвертеры за отчетный период

$$С = \frac{Ф}{Е\,\Psi}, \tag{20}$$

где $Е$ — извлечение никеля из штейна в файнштейн и в незавершенное производство по отчетным данным за прошедший месяц, %;

Ψ — среднее содержание никеля в штейне за прошедший месяц.

Затем в первом приближении задаются ориентировочным выходом конвертерного шлака 106—107% от веса штейна

$$T_1 = (1{,}06 - 1{,}07)\,C. \tag{21}$$

Составляется балансовое уравнение по сере

$$S_к = CS_с \pm H_{изп}S_н - ФS_ф. \tag{22}$$

Потери по конвертерному переделу

$$\varepsilon_к = S_к + П_к, \tag{23}$$

где $S_к$ — потери серы с газами в конвертерном переделе;
$П_к$ — пылевынос в конвертерном переделе.

Составляется материальный баланс по конвертерному переделу и определяется уточненное количество конвертерного шлака

$$T_2 = C - Ф - \varepsilon_к, \tag{24}$$

а затем рассчитывается баланс металлов по конвертерному переделу.

Сопоставление приведенных выше расчетных методов количественного определения жидких продуктов плавок, осуществляемых на предприятиях никель-кобальтовой промышленности, свидетельствует о более или менее близком совпадении методик расчета отвальных шлаков шахтных печей комбината «Южуралникель» (ЮУНК) и Уфалейского никелевого завода (УНЗ). Правда, оба предприятия вводят ряд коэффициентов, связанных со спецификой производства: на УНЗ учитывается дополнительное увеличение количества отвальных шлаков за счет перехода в шлаки шлакообразующих компонентов из привозных металлоотходов и оборотов кобальтового цеха; на ЮУНКе, в отличие от УНЗ, используется ряд заранее заданных показателей без ежемесячного изменения по данным химлаборатории — содержание золы в коксе и коксике, содержание окиси кальция в известняке, гипсе и др.

Различные коэффициенты учитывают и содержание влаги в руде, так как на УНЗ на шахтную плавку поступает уже частично подсушенная руда, а на ЮУНК — сырая и т. п.

По различной методике рассчитывается количество оборотных конвертерных шлаков и безвозвратно теряемой пыли. В то же время методика расчетов количественного определения продуктов плавок, применяемая на ЮУНКе и УНЗ в значительной степени отличается от методики, применяемой на комбинате «Печенганикель».

Так, например, в отличие от расчетов, проводимых на комбинате «Печенганикель», на ЮУНКе и УНЗ при определении количества отвальных и конвертерных шлаков не учитывается изменение незавершенного производства, что является неправильным.

По-видимому, метод последовательного уточнения количества продуктов плавок на основе решения нескольких балансовых уравнений по различным шихтовым компонентам, применяющийся на комбинате «Печенганикель» обеспечивает более достоверные результаты, чем расчетные методы (по массе или металлам) ЮУНКа и УНЗ.

Однако, как указано выше, все расчетные методы обеспечивают меньшую точность, чем непосредственное взвешивание жидких продуктов плавок и является вынужденной мерой.

Для обеспечения достоверности отчетных показателей необходим переход на взвешивание жидких продуктов плавок или определение их количества объемным способом, или по крайней мере, периодическую проверку весовых количеств, полученных расчетным методом, объемным или весовым.

Выводы

1. Применяемые некоторыми предприятиями никель-кобальтовой промышленности в отчетных балансах расчетные методы определения количества штейна, отвальных шлаков шахтных печей и электропечей, конвертерных шлаков, хвостов обогатительных фабрик и других продуктов, выданных предприятием за отчетный период не обеспечивают необходимой для балансовых целей точности и создают скрытые резервы для «корректировки» отчетных показателей извлечения металлов в желаемом направлении и перераспределения потерь из одной статьи баланса на другую.

2. Различие методик проведения таких расчетов при определении количества аналогичных продуктов на отдельных предприятиях затрудняют сопоставление результатов работы родственных участков.

3. Для получения более достоверных показателей, характеризующих работу основных участков предприятия за отчетный период, и подготовки условий для перехода на технически обоснованные нормы расхода сырьевых ресурсов необходимо расчетные методы количественного определения продуктов металлургического производства заменить взвешиванием и правильным опробованием.