

Учет металлов, основная обязанность инженеров-технологов

Lorenzo Cappai¹, Manuel González², Stephane Brochot¹ и Pierre Vix³

1. Caspeo, Орлеан, Франция
2. Caspeo Chile, Сантьяго, Чили
3. Glencore, Швейцария

АННОТАЦИЯ

Учет металлов это один из основных инструментов финансового и технического управления в индустрии производства металлов. Учет металлов основывается на измерениях и должен принимать во внимание неопределенность, свойственную процессам измерения, создающую финансовый риск. В 2005 году в рамках проекта AMIRA P754 был создан кодекс лучших практик для внедрения эффективных и надежных систем учета металлов.

Необходимо подчеркнуть, применение кодекса AMIRA заключается не только в использовании определенного программного обеспечения, независимо от возможностей, которые оно позволяет получить, и функциональности, которую оно может предоставить. Для внедрения достоверной системы учета металлов в первую очередь важно участие в этом процессе всей компании, включая высшее руководство, финансовые службы, службу контроля качества, производство, лабораторию, представители которых должны быть готовы участвовать в внедрении на различных этапах.

Отправной точкой эффективной системы учета металлов является точное понимание всех процессов и сопутствующих операций, основанное на опробовании и измерениях. Алгоритм согласования данных позволяет посчитать нулевой (согласованный) материальный баланс из первичных измеренных значений показателей, повышая их точность путем статистического распределения погрешностей измерения, и позволяя контролировать их качество.

В соответствии с кодексом AMIRA, "Результаты учета должны предоставляться своевременно, чтобы удовлетворять оперативным потребностям производства, включая обеспечение наличия такой информации в других действующих учетных информационных системах и содействие корректировочным мерам или расследованиям". Программное решение, такое, как INVENTEO, автоматизирует все повторяющиеся задачи, процесс расчета и его контролепригодность, а также оперативно предоставляет отчетность.

Настоящая статья описывает алгоритм согласования данных и объясняет необходимость расчета погрешностей измерения. Затем перечисляет основные этапы внедрения достоверной системы учета металлов и иллюстрирует их с помощью различных примеров. Примеры демонстрируют решение конкретных задач и включают управление запасами, балансы обогатительной фабрики, плавильного или аффинажного заводов

Ключевые слова: Учет металлов, Опробование, Погрешность измерения, Проектирование процессов

ВВЕДЕНИЕ

Учет металлов оценивает количество товарных металлов, произведенных в определенный период времени (Morrison, 2008a). Учет металлов широко используется для количественного выражения производительности предприятий и для максимально достоверной оценки количества металлов в товарных запасах и незавершенном производстве. Точность такой информации очень важна, поскольку позволяет снизить финансовые риски, связанные с неправильной оценкой запасов, а также оперативно определить потери и узкие места в процессах.

В таком контексте, в рамках проекта AMIRA P754 был создан кодекс лучших практик для внедрения эффективных и надежных систем учета металлов. Такие системы часто используют статистический алгоритм согласования данных для расчета согласованного (нулевого) материального баланса на основе первичных измеренных значений показателей. А также для увеличения точности таких данных путем статистического распределения погрешностей измерения.

На текущий момент существует ряд программных решений, способствующих достижению соответствия кодексу AMIRA. Вместе с тем, одного использования программного обеспечения, вне зависимости от его функциональности, недостаточно для применения лучших практик. Внедрение надежной системы учета металлов это прежде всего проект, требующий участия всей компании, начиная высшим руководством и заканчивая специалистами химической лаборатории, в рамках которого каждый участник несет свою часть ответственности за успешное выполнение.

Среди прочих, роль инженера-технолога выделяется особенно в силу обязанностей по оперативному ежедневному управлению процессами и точному пониманию соответствующих операций, возложенных на таких специалистов. Уникальные знания в части управления процессами позволяют технологам в значительной степени содействовать первичной настройке системы учета металлов, поддерживать ее конфигурацию в соответствии с текущей ситуацией на предприятии, поскольку процессы могут изменяться со временем, и использовать результаты расчетов для корректировки процессов с целью их оптимизации.

Настоящая статья сначала представляет статистический алгоритм согласования данных и показывает, как улучшить результаты его работы, подчеркивая необходимость расчета погрешностей измерения. Затем описывает основные шаги и действия, необходимые для внедрения достоверной системы учета металлов, и иллюстрирует их на различных примерах. На каждом шаге будут выделены основные зоны ответственности инженеров-технологов. Решения конкретных задач по управлению запасами, расчету баланса обогатительной фабрики, плавильного или аффинажного заводов будут продемонстрированы на действующих примерах внедрения программного пакета INVENTEO для учета металлов.

МЕТОДОЛОГИЯ

В рамках учета металлов статистическое согласование данных часто рассматривается как необходимое, поскольку законы сохранения для первичных измеренных значений показателей не выполняются - данные являются несогласованными (Hodouin & Everell, 1980; Herbst, Metha & Pate, 1988; Fourniguet et al, 1997). Чтобы оценить такую несогласованность, необходимо выполнить достаточное количество измерений, результаты которых должны

образовывать избыточный объем данных. Избыточность обозначает наличие большего объема данных, чем минимально необходимый для расчета материального баланса.

В действительности, когда мы рассматриваем завод целиком или отдельную его секцию, сумма измеренных масс входящих потоков никогда не будет равна сумме измеренных масс выходящих потоков, ни для общей массы, ни для масс металлов в отдельности, даже в условиях установившегося режима работы предприятия. Это объясняется тем, что измерения массы, влаги и содержаний металлов являются случайными процессами, и потому их результаты являются неопределенными. Такая неопределенность для каждого измерения выражается его погрешностью (Morrison, 2008b).

Полная погрешность измерения включает множество компонентов, которые, в соответствии с классификацией Пьера Ги (Gu, 1979), могут быть разделены на две основные категории: полная погрешность отбора проб и аналитическая погрешность. Анализ бюджета неопределенности полной погрешности измерения выделяет компоненты погрешности, над которыми можно работать в части улучшения (Brochot, 2011). Алгоритм согласования данных затем находит набор оценочных значений показателей, которые максимально близки к их исходным измеренным значениям в соответствии с погрешностями измерения, и для которых выполняются законы сохранения материала (Brochot & Durance, 2012).

Избыточный объем данных позволяет рассчитать набор согласованных оценочных значений показателей, более точных, чем их исходные измеренные значения (Ragot et al, 1990; Ragot & Maquin, 2006). Поэтому формирование избыточного объема данных и расчет полных значений соответствующих погрешностей измерения являются необходимой отправной точкой для согласования данных, которое позволит улучшить знание процессов (Durance, Brochot & Mugabi, 2004). Более того, точность результатов, полученных в рамках согласования данных, повышается с уровнем детализации и количества информации, использованной для расчета материального баланса. Поэтому при наличии на предприятии достаточного количества измерений, становится интересным учитывать при расчете баланса измерения внутренних потоков (Luman, 2005); влажную массу и соответствующее содержание влаги, вместо расчетной сухой массы (два показателя вместо одного); измерения компонентов, не являющихся товарными; рассчитывать баланс за период, дольше чем месяц (Brochot & Durance, 2012). При этом качество контроля и управления данными до выполнения их статистического согласования становится задачей приоритетной важности, для исключения эффекта “мусор на входе, мусор на выходе”.

Для выполнения учета металлов за период, необходимо собрать первичные измеренные значения таких показателей, как массы, содержание влаги, содержания металлов. Затем рассчитываются суммарные значения показателей количества и усредненные значения показателей содержания. Первое - путем суммирования множества измеренных значений массы, например, загрузка самосвалов или вес продуктов за смену. Второе – как средневзвешенные значения содержания множества проб. Такая агрегация всех первичных измеренных значений формирует набор базисных данных для расчета баланса.

Прежде чем применить алгоритм согласования к базисным данным, с каждым таким значением ассоциируется полная погрешность измерения. Достоверная оценка таких погрешностей, с использованием правил расчета их накапливаемых значений, является необходимым условием для корректного исключения несогласованности в процессе статистического согласования.

Подготовка набора базисных данных является ключевой операцией и может отнимать массу времени на предприятиях с большим числом измеряемых потоков. Использование программного решения для учета металлов, такого, как INVENTEO, позволит автоматизировать агрегацию данных, обеспечив при этом оперативность и прозрачность такого процесса, начиная сбором первичных измеренных значений показателей и заканчивая расчетом каждого базисного значения в строгом соответствии с установленными расчетными процедурами.

Все такие аспекты необходимо принимать во внимание в течение всего жизненного цикла системы учета металлов, начиная с ее опытной эксплуатации и заканчивая корректировками конфигурации, связанными с развитием производственных процессов предприятия с течением времени, а также в процессе проведения регулярных операций по расчету баланса и учету металлов.

Навыки и обязанности инженера-технолога ставят его на основную позицию в течение всего жизненного цикла системы учета металлов. В течение срока эксплуатации предприятия можно выделить различные уровни жизненного цикла учета металлов (Brochot & Durance, 2012) и инженеры-технологи участвуют во всех из них. Один из таких уровней относится непосредственно к системе учета металлов, он охватывает ее первичное внедрение и проверку в рамках опытной эксплуатации, основную фазу проведения регулярных расчетов и подготовки отчетности, и наконец последний вариант конфигурации системы, соответствующий периоду окончания эксплуатации предприятия.

В процессе внедрения инженер-технолог является одним из лучших кандидатов для определения целей учета металлов и ограничений системы в соответствии с наличием первичных измерений. Последнее также требует изучения документации по процессам и по существующей измерительной системе, а в случае отсутствия необходимой информации – определения лучших мест для установки дополнительных контрольных точек. В ходе тестирования и конфигурации исходной модели согласования данных, инженер-технолог, благодаря своим знаниям процессов, может проверять, являются ли результаты статистического расчета удовлетворительными и жизнеспособными.

После приемки и утверждения системы, инженер-технолог работает в ней, занимаясь подготовкой отчетов по балансу металлов и их учету. Более того, в его обязанности входит анализ возможностей оптимизации и улучшения модели согласования данных, и оценка возможностей усиления или ослабления ограничений системы. Изменения в модели согласования могут быть связаны с улучшениями в измерительной системе предприятия и в процессах управления данными, с изменением производственных процессов, с добавлением новых материалов, новых продуктов или новых узлов оборудования. После определения необходимости обновления модели согласования данных и реализации такого обновления в системе, требуется также провести новую серию испытаний и корректировок для утверждения и приемки обновленной конфигурации. Инженер-технолог также может определять перечень действий по общему повышению эффективности, прозрачности и контролируемости процессов на длительный период. Например, изменение в управлении складами в форме использования, где возможно, параллельно расположенных отвалов меньшего размера.

После принятия решения об окончании эксплуатации площадки, необходимо сконфигурировать последнюю модель согласования данных. Она будет использоваться для

учета вывоза складов, удаления и обезвреживания хвостов, управления загрязнениями, произведенными в процессе демонтажа предприятия.

Регулярный расчет баланса металлов и подготовка соответствующей отчетности обладают собственным жизненным циклом, в рамках которого инженер-технолог отвечает за проверку наличия и корректности первичных измеренных значений показателей, а также за определение значительных событий, которые могут повлиять на материальный баланс, что часто случается в течение учетного периода. Например, некоторые узлы оборудования или контрольные точки могут выйти из строя, или на каком-либо складе может случиться нетипичное перемещение материала, связанное с неожиданной проблемой. Здесь близость инженера-технолога к процессу и его опыт являются значительным преимуществом.

Когда все первичные данные собраны, проверены и скорректированы, технолог запускает и управляет процессом статистического согласования, а также анализирует промежуточные отчеты до передачи их на утверждение руководству. Программное решение для учета металлов, такое, как INVENTEO, позволяет выделять ошибки первичных данных с помощью автоматических средств диагностики. Оно позволяет управлять процессом, отслеживает и фиксирует каждый его шаг от извлечения первичных измеренных значений показателей из баз данных действующих информационных систем предприятия, до расчета на их основе базисных (суммарных, усредненных) значений показателей, включая возможность их ручной корректировки и утверждения.

Следующий раздел представит несколько случаев из реальной практики внедрения систем учета металлов на базе программного пакета INVENTEO.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Настоящий раздел представляет ряд подходов, позволяющих получить наилучшие результаты при статистическом расчете материального баланса. Подходы проиллюстрированы реальными ситуациями, случившимися в рамках внедрения программного пакета INVENTEO. Как будет показано, схожие принципы могут применяться к множеству процессов, связанных с производством различных металлов.

Материальный баланс цикла флотации ЗИФ

Недостаток измерений количественных показателей произведенных концентратов и хвостов является обычным делом в секциях флотации. Такое часто происходит, когда концентрат немедленно отправляется ниже по процессу. Похожим образом, количество и процент твердого в хвостах измеряются или редко, или недостаточно точно. Очень часто указанные показатели рассчитываются по формуле “двух продуктов” или по формуле “трех продуктов”, когда производятся два концентрата. В таком случае основой расчета является количество материала питания секции флотации и содержание одного из компонентов в питании, концентратах и хвостах. Формула основывается на предположении что в секции не происходит накопление материала (уровни в камерах постоянны). В случае производства только одного концентрата, для расчета количества концентрата и хвостов используются формулы (1) и (2) соответственно:

$$K = P \frac{(p-x)}{(k-x)} \quad (1)$$

$$X = P \frac{(k-p)}{(k-x)} \quad (2)$$

Где P , K и X — это количества питания, концентрата и хвостов; p , k и x — содержания одного из компонентов в них. Необходимо подчеркнуть, что такая процедура, согласно кодексу AMIRA, является исключением, применение которого должно быть строго обосновано в нормативных документах предприятия, регулирующих учет металлов, и может иметь место быть только в случае отсутствия прямых измерений. Поэтому, когда возможно, для получения более точных цифр, необходимо рассмотреть установку потокомеров или конвейерных весов.

Тем не менее, даже если используется формула, существуют способы улучшения результатов расчетов. Прежде всего, металл или компонент, используемый в формуле, должен быть хорошо определен: это может быть как товарный металл, так и любой другой компонент, который может быть очень точно измерен. В частности, увеличить точность расчетов может компонент, не представляющий экономической ценности. Необходимо учесть, что, чем больше погрешность измерения содержаний, тем больше будет погрешность расчетных показателей количества.

Далее следует пример цикла флотации ЗИФ, в котором количество твердого в концентрате и в хвостах рассчитывается с помощью трех значений содержания золота и сухой массы питания по формуле “двух продуктов”. Как видно из Таблицы 1, оценки стандартных отклонений содержания золота в питании, хвостах и концентрате, учитывающие полную погрешность отбора проб и аналитическую погрешность, демонстрируют заметную неопределенность - проблему, часто встречающуюся при работе с содержанием золота. Соответствующие погрешности измерения, посчитанные как удвоенные стандартные отклонения, лежат в интервале от 12 до 19%.

Таблица 1 Содержание золота в питании, хвостах, концентрате, и оценки их стандартных отклонений

Поток	Au (г/т)	Относительное стандартное отклонение (%)	Абсолютное стандартное отклонение (г/т)
Питание	2	6	0,12
Концентрат	29	7	2,03
Хвосты	0,4	9,5	0,04

Таблица 2 показывает стандартные отклонения расчетных значений количеств концентрата и хвостов, полученных путем применения формулы распространения погрешностей. Результаты не включают стандартное отклонение количества питания. При этом в Таблице 3 наблюдаем значительную неопределенность значения количества золота в концентрате. Колебание этого показателя, возникшее из-за применения формулы “двух продуктов”, выражается абсолютным стандартным отклонением в 1,27 кг золота в сутки. Отсюда

количество золота в концентрате оценивается в $16,22 \pm 2,54$ кг в сутки, что имеет значительные финансовые последствия. Данный расчет предполагает, что пробы отобраны и подготовлены корректно, исключая систематические погрешности. Если систематическая погрешность затронет хотя бы одно из используемых значений содержания, ситуация только ухудшится.

Интересно изучить, как формула “двух продуктов” может быть использована в рамках согласования данных, где результат расчетов по ней является только исходным значением базисных показателей массы концентратов и хвостов. В то время, как их наиболее вероятные значения будут посчитаны при последующем применении алгоритма согласования данных баланса материалов. Расчет материального баланса на основе избыточного объема данных повышает точность учета металлов (Morrison, Gun & McCallum, 2002; Guerney, Dungleison & Cameron, 2005). Если в расчете баланса участвует только компонент, используемый в формуле, избыточность данных незначительна - это является лишь достаточным (т. е. не избыточным) объемом данных для расчета баланса.

Таблица 2 Расчетные значения количеств концентрата и хвостов и соответствующие стандартные отклонения, посчитанные с применением формулы распространения погрешностей

Поток	Масса (т/сутки)	Относительное стандартное отклонение (%)	Абсолютное стандартное отклонение (т/сутки)
Питание	10000		
Концентрат	559,4	10,57	59,1
Хвосты	9440,6	0,63	59,1

Таблица 3 Количество золота в концентрате и хвостах и соответствующие стандартные отклонения, посчитанные с применением формулы распространения погрешностей

Поток	Масса Au (кг/сутки)	Относительное стандартное отклонение (%)	Абсолютное стандартное отклонение (кг/сутки)
Питание	20		
Концентрат	16,22	7,83	1,27
Хвосты	3,78	9,65	0,36

В секции флотации, представленной выше, отсутствует избыточность данных. Поэтому улучшение баланса секции не представляется возможным без измерения хотя бы еще одного компонента каждого потока.

Эти аспекты были учтены при внедрении INVENTEO. Железо, мышьяк и двуокись кремния были добавлены для формирования избыточного объема данных для расчета материального баланса. К сожалению, содержание серы не измерялось для всех потоков на регулярной основе, что привело к нестабильной избыточности данных в части этого компонента и потому к невозможности его использования в рамках периодического учета. Поскольку содержание таких компонентов можно измерить с большей точностью, чем содержание золота, двуокись кремния была использована вместо золота в формуле “двух продуктов” для более точного расчета исходных базисных данных, на которых затем запускался алгоритм согласования.

Двуокись кремния была выбрана из всех других компонентов поскольку обладала самыми значительными показателями содержания – от 23% до 66% сухой массы, что составляло более половины сухой массы питания и хвостов. Кроме этого, поскольку двуокись кремния в питании в основном отходит в хвосты, ее содержание позволяло лучше описать соотношение масс этих двух потоков. При согласовании данных во внимание принимаются все показатели. В частности, значения содержаний золота и мышьяка использовались для расчета более точных значений показателей концентрата, в то время как показатели двуокиси кремния - для расчета более точных значений показателей хвостов.

Этот пример показывает важность избыточности объема данных, принимаемых во внимание при сведении согласованного баланса, и важность расчета полных значений их погрешностей измерения, а также, как все это позволяет извлечь максимум из данных даже в неблагоприятных условиях.

Управление складами и переработка партий на медеплавильном заводе

Плавильные заводы перерабатывают большие объемы концентратов из различных источников. Их хранение, распределение и шихтовка требуют большого числа складов. Накопление сырья способствует также появлению незавершенного производства и промежуточных складов оборотных материалов. Склады очень важны с точки зрения учета металлов, поскольку они аккумулируют большое их количество, в особенности на последних стадиях плавильных и аффинажных производств. Таким образом складские запасы включают в себе высокую стоимость, и при этом нередко оцениваются менее точно, чем перемещения материалов (Wortley, 2008; Holmes, 2008; Connelly, 2009).

Для формирования избыточного объема данных с целью увеличения точности результатов, при расчете баланса интересным представляется принятие во внимание каждого склада в отдельности. Это может быть сделано через отображение склада как отдельного узла диаграммы материальных потоков. Один или несколько потоков могут выступить поступлением на склад, один или несколько потоков могут выступить отгрузкой с него. Качественно-количественные показатели складов учитываются на начало и окончание рассматриваемого периода. Запасы на начало периода отображаются первым входящим потоком, запасы на окончание периода – последним выходящим. Запасы на окончание текущего периода автоматически становятся запасами на начало следующего. Такой подход позволяет не только добавить избыточный объем данных, но и оценить качественно-количественные показатели склада в данный момент времени.

Если прямые измерения складов являются трудновыполнимой задачей или не являются представительными (например, по причине сегрегации частиц разных размеров и разных плотностей, корректно отобрать пробу отвала в целом невозможно), предпочтительным представляется пересчет количества и/или содержаний в запасах на основе данных поступления и отгрузки со склада. Эти показатели измеряются как параметры движущихся потоков. В таком случае, “модель склада” рассматривает потоки поступления и отгрузки и их расписание (количество и качество поступающего/отгружаемого материала по времени) чтобы построить картину последовательных качественно-количественных показателей таких поступлений/отгрузок. При этом каждый факт поступления и отгрузки фиксируется как лот. Для расчета средневзвешенных значений, массы могут быть связаны с соответствующими показателями содержания через такое расписание или номера лотов.

Модель склада может представлять собой идеальный смеситель (чан с перемешиванием, усреднительный штабель), FIFO (первая партия на приход – первая в расход, например, бункер) или LIFO (последняя партия на приход – первая в расход, например, короб). Основные риски такого подхода заключаются в том, что склад может не работать строго по одному из указанных алгоритмов, а также в возможности накопления неточностей, связанных с движениями материала на склад. Поэтому такой расчет через длительный промежуток времени может показать цифры, далекие от действительности. Как следствие он используется только для целей получения исходных значений показателей складов, необходимых для инициализации работы алгоритма согласования данных. Для каждого такого показателя склада обязательно оценивается полная погрешность.

Пример расписания представлен в Таблице 4 и показывает параметры поступлений и отгрузок отвала медного концентрата в течение учетного периода. Таблица показывает известные количественные показатели содержания меди, перемещений материала и запасов. Содержание Отгрузки 1, количество и содержание в Запасах на окончание периода должны быть пересчитаны.

Таблица 4 Количественные и усредненные показатели содержания меди для перемещений материала и запасов

Перемещение/Запасы	Масса (т)	Cu (%)	Время
Запасы на начало периода	73	20	t0
Поступление 1	52	28	t1
Отгрузка 1	54	Не измерено	t2
Поступление 2	56	29	t3
Запасы на окончание периода	Не измерено	Плохое опробование	t4

В Таблице 5 представлены различные варианты пересчета указанных выше параметров.

В рамках первого подхода считается, что материальный баланс за весь учетный период выполнен, а содержания в отгрузке и в запасах на окончание периода одинаковы. Этот подход

неправильный, поскольку не учитывает время выполнения перемещений: содержание в Отгрузке 1 в момент времени t_2 учитывает также Поступление 2, случившееся позже в момент t_3 .

В рамках второго подхода к расчету параметров склада применяется модель идеального смесителя: потоки поступлений идеально смешиваются с существующими запасами. Поступление 2 не учитывается при расчете содержания в Отгрузке 1, но учитывается при расчете содержания в Запасах на окончание периода, что приводит к расчету двух различных значений содержания. Этот подход является более точным, чем первый. Основная проблема заключается в том, что рассмотрение отвала в качестве идеального смесителя само по себе является существенным предположением.

К сожалению, поскольку взять представительную пробу отвала невозможно, альтернативы указанному выше подходу нет. Представим, что отвал в момент времени t_2 представляет собой равносторонний конус идеальной формы, с “истинным” средним содержанием меди в 23,33%. Поступление 2 добавляется таким образом, чтобы получившийся конус по-прежнему оставался равносторонным. В момент t_4 “истинное” среднее значение содержания меди определяется на уровне 25,83%, как средневзвешенное. Как показано на Рисунке 1, если мы возьмем пробу данного конуса с помощью шнекового пробоотборника (посредине стороны отвала и перпендикулярно поверхности), полученная проба привнесет значительную погрешность при взвешивании навесок. Из-за геометрии системы, навески с двумя различными качественными показателями не будут пропорциональны соотношению их действительных масс в отвале. Такая проба приведет к сильно различающимся оценкам содержания меди в запасах на окончание периода, которое на основе геометрических предположений может быть принято равным 24,83%.

Этот упрощенный пример не учитывает феномен сегрегации в зависимости от плотности и классов крупности частиц, и тем не менее показывает, насколько сильно цифры подвержены влиянию непредставительного отбора проб. В зависимости от принятого подхода, содержание меди на окончание периода в данном конкретном отвале отличается более чем на тонну.

Таблица 5 Недостающие значения, рассчитанные различными способами

Подход	Перемещение/Склад	Масса (т)	Cu (%)	Cu (т)
Выполнение общего баланса масс	Запасы на окончание периода	127	25.08	31.86
	Огрузка 1	54	25.08	13.54
Модель идеального смесителя для склада	Запасы на окончание периода	127	25.83	32.80
	Огрузка 1	54	23.33	12.60
Опробование отвала	Запасы на окончание периода	127	24.83	31.53
	Огрузка 1	54	25.68	13.87

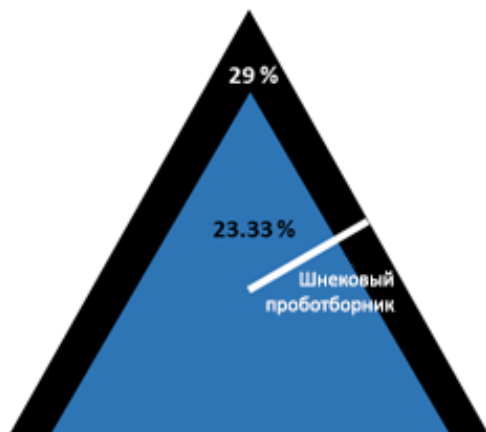


Рисунок 1 Упрощенная геометрия отвала

В такой ситуации, при наличии возможности, прежде всего рекомендуется пересмотр подхода к управлению складами, например, формирование относительно небольших, часто опустошаемых складов. Этого можно достичь путем создания небольших параллельных отвалов, с последующим осуществлением отгрузки из одного, оформлением поступления в другой, и т. п. Это позволит часто “обнулять” склады и избегать накопления в них огромной стоимости, снижая финансовые риски. Когда объемы материала относительно небольшие, интересным представляется полное избежание смешивания различных лотов продукции. Такая практика позволит формировать небольшие отвалы с хорошо известным содержанием металлов. Также, если оставшийся объем склада достаточно мал, вместо расчета сухой массы через измеренный объем и с предположительным значением плотности, имеет смысл воспользоваться возможностью взвесить его напрямую. Эти практики продиктованы здравым смыслом и позволяют значительно повысить знание и точность показателей складов.

Внедрение INVENTEO на указанном медеплавильном заводе определенно было эффективным за счет совмещения лучших практик учета с хорошо спроектированным управлением данными и статистическим расчетом баланса металлов. Благодаря автоматическим расчетным алгоритмам INVENTEO, показатели поступлений/отгрузок для большого количества складов автоматически агрегировались и затем использовались для расчета массы и содержания в запасах с помощью модели склада, выбираемой в зависимости от ситуации. Последующее статистическое согласование данных увеличивало точность показателей запасов. Роль технологов в данном внедрении сложно недооценивать, специалисты в значительной степени помогли улучшить эффективность процесса, его контролируемость и прозрачность.

Гидрометаллургия и учет жидкого на цинковом заводе

В рамках обогащения минералов значительную роль играет определение влажной массы, содержания твердого и металлов, поскольку это позволяет отслеживать металлы в твердом по ходу процесса. В гидрометаллургии металлы могут быть представлены как в жидкой, так и в твердой фазах, и могут переходить между ними. Поэтому необходимо более точное определение фаз. В процессе плавки цинка, операции выщелачивания и электролиза учитываются одновременно с операциями обжига и плавки. На Рисунке 2 показана

упрощенная схема такого процесса. Некоторые потоки представлены влажным твердым (питание печей обжига, цементы и кек выщелачивания), другие являются полностью сухими (огарок, катоды, слитки) или полностью жидкими (отработанный электролит, очищенный раствор). Возможность определения нескольких фаз является существенной функциональностью, которая позволит вести детальный учет металлов в таком процессе.

В зависимости от конкретных процессов на каждом шаге производства и от наличия измерений, необходимо определить различные законы сохранения для каждого узла диаграммы материальных потоков. Например, в узле, ассоциированном с операцией обжига, потери серы и влаги, а также добавление кислорода, изменяют общую влажную массу. Жидкое и твердое не сохраняются. Вместо этого сохраняются металлы в твердом – их количества должны совпадать в входящих и выходящих потоках. Для выщелачивания и цементации можно предположить сохранение общего количества жидкого. Более того, металлы могут переходить из жидкого в твердое и наоборот. Поэтому их общее количество также должно сохраняться для любой фазы. При приближении к окончанию производственного процесса, концентрация металлов, отличных от цинка, падают и часто измеряются некачественно. Например, в цехе электролиза в основном присутствует цинк, поскольку остальные металлы были удалены в рамках цементации. В таком случае только сохранение цинка учитывается при расчете баланса поскольку по другим металлам может не хватать информации. Для плавки катодов и отливки слитков можно предположить сохранение общей сухой массы и цинка в ней.

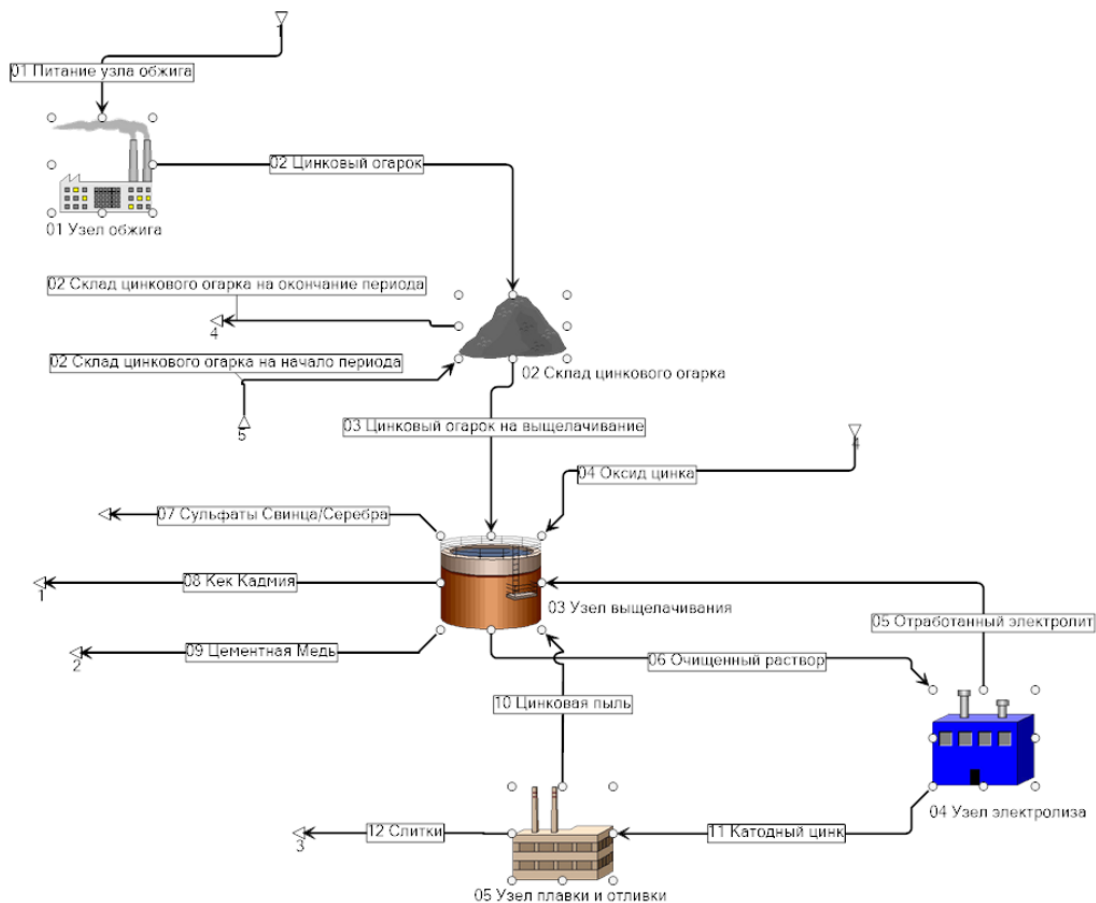


Рисунок 2 Упрощенная схема процесса плавки цинка

Таблица 6 показывает пример возможных невязок по некоторым законам сохранения, принимаемым во внимание при расчете материального баланса. Причинами появления таких невязок являются погрешности измерения и их можно математически “устранить” путем применения алгоритма статистического согласования данных. Положительные значения свидетельствуют о том, что входящие массы больше выходящих, отрицательные – выходящие массы больше входящих.

Таблица 6 Пример невязок до статистического согласования данных

Операция	Закон сохранения	Невязка (кг)
Обжиг	Сохранение цинка в твердой фазе	8291
	Сохранение свинца в твердой фазе	-1217
	Сохранение меди в твердой фазе	96,34
	Сохранение серебра в твердой фазе	2,793
Выщелачивание и цементация	Сохранение жидкой массы	-146700
	Общее сохранение цинка в твердой и жидкой фазах	-80560
	Общее сохранение свинца в твердой и жидкой фазах	1056
	Общее сохранение меди в твердой и жидкой фазах	-93,43
	Общее сохранение серебра в твердой и жидкой фазах	-8,586
Электролиз	Общее сохранение цинка в твердой и жидкой фазах	28390
Плавка и отливка	Сохранение твердой массы	-12100
	Сохранение цинка в твердой фазе	-12100

Как показано, определение законов сохранения должно быть очень гибким, а сами законы могут различаться в зависимости от процессов на каждом этапе производства и от наличия измерений таких процессов. Например, определенный металл может сохраняться в одном узле схемы и не учитываться в другом, если измерений этого металла на таком узле недостаточно для расчета баланса по этому узлу.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение карты контрольных точек предприятия и проверка выполняемых измерений послужат отправной точкой построению диаграммы материальных потоков в процессе внедрения системы учета металлов. Похожим образом, расчет полных значений погрешностей измерения укажет на возможности улучшения качества первичных измерений

еще до применения статистического согласования данных. Настоящая статья описывает примеры определения диаграммы материальных потоков, законов сохранения и количества учитываемых компонентов, позволяющие улучшить точность баланса металлов после применения согласования данных материального баланса.

Использование решения для учета металлов, такого, как INVENTEO, позволит решить задачи автоматической агрегации данных, повышения контролируемости процесса, начиная сбором первичных измеренных значений показателей и заканчивая получением нулевого (согласованного) баланса металлов, с обеспечением при этом строгого соответствия процедурам расчета каждого показателя и баланса в целом, определенным стандартами предприятия, и оперативности получения результатов.

Успех внедрения зависит от вовлеченности специалистов компании. В частности, инженеры-технологи играют ключевую роль в силу их обязанностей, связанных с ежедневным управлением процессами и точным пониманием соответствующих операций. Близость таких специалистов к процессам в значительной степени помогает при настройке системы учета металлов, корректировке конфигурации с течением времени, а также, что очень важно, при использовании результатов расчетов для оптимизации производственных процессов.

Разработчик INVENTEO:

Caspeo - BP 36009 - 45060 ORLEAN CEDEX 2 - Франция

Тел.: 02 38 64 31 96 - Факс 02 38 25 97 42 - e-mail: info@caspeo.net

Компания с ограниченной ответственностью.

RCS Орлеан. SIRET 451785 687 00018

Эксклюзивный дистрибьютор Caspeo в РФ и СНГ:

Вычислительные Системы, ООО

ул. Кутателадзе, 4г-238, г. Новосибирск, РФ, 630128

Тел.: +7-383-214-09-53, e-mail: sales@procsim.ru

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- AMIRA International (2007) *Metal Accounting: Code of Practice and guidelines*, Release 3, AMIRA International Africa.
- Brochot, S. (2011) 'The application of sampling theory in metallurgical accounting process – Inventeo methodology implementation', *Proceedings Fifth World Conference on Sampling and Blending*, M. Alfaro, E. Magri, F. Pitard, Santiago de Chile, pp. 185–193.
- Brochot, S., and Durance, M.V. (2012) 'A new approach to metallurgical accounting', *Proceedings 11th AusIMM Mill Operators' Conference*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 217–224.
- Connelly, D.E.G. (2009) 'Metallurgical accounting standards in process plants', *Proceedings Tenth Mill Operators' Conference*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 281–287.
- Durance, M.V., Brochot, S., and Mugabi, M. (2004) 'Material balance approach for parameter determination in Bioleaching process', *Proceedings 9th International Symposium on Computer Applications in Biotechnology (CAB9)*, Nancy.
- Fourniguet, G., Villeneuve, J., Rocchia, L., Védrine, H., Brochot, S., and Guillaneau, J.C. (1997) 'Analyse par bilans matière d'un procédé hydrométallurgique de recyclage de déchets d'aciéries électriques', *Proceedings Sixth French Congress of Process Engineering*, Société Française de Génie des Procédés, Paris.
- Guerney, P., Dungleison, M., and Cameron, P.M. (2005) 'Leveraging accuracy and precision – Multi-phase mass balancing and reconciliation as a tool for quality data management', *Proceedings Second World Conference on Sampling and Blending*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 121–125.
- Gy, P.M. (1979) *Sampling of particulate materials – Theory and practice*, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.
- Herbst, J.A., Mehta, R.K., and Pate, W.T. (1988) 'A hierarchical procedure for mass balance closure and parameter estimation: application to ball mill grinding', *Proceedings XVI International Mineral Processing Congress*, K.S.E. Forssberg, Elsevier, Amsterdam, pp. 1719–1732.
- Hodouin, D., and Everell, M.D. (1980) 'A hierarchical procedure for adjustment and material balancing of mineral process data', *International Journal of Mineral Processing*, vol. 7, pp. 91–116.
- Holmes, R.J. (2008) *An Introduction to Metal Balancing and Reconciliation*, Julius Kruttschmitt Mineral Research Centre, Indooroopilly, pp. 141–170.
- Lyman, G.J. (2005) 'Sampling, metallurgical accounting and reduction of balance estimation variance', *Proceedings Second World Conference on Sampling and Blending*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 127–135.
- Morrison, R.D. (2008)a *An Introduction to Metal Balancing and Reconciliation*, Julius Kruttschmitt Mineral Research Centre, Indooroopilly, pp. 3–23.
- Morrison, R.D. (2008)b *An Introduction to Metal Balancing and Reconciliation*, Julius Kruttschmitt Mineral Research Centre, Indooroopilly, pp. 27–75.
- Morrison, R.D., Gun, Y., and McCallum, W. (2002) 'Metal balancing from concentrator to multiple ore sources', *Proceedings Value Tracking Symposium 2002*, The Australasian Institute of Mining and Metallurgy, Melbourne, pp. 141–147.
- Ragot, J., Darouach, M., Maquin, D., and Bloch, G. (1990) *Validation de Données et Diagnostique*, Hermès Science Publications, Paris.
- Ragot, J., and Maquin, D. (2006) 'Validation et réconciliation de données. Approche conventionnelle, difficultés et développements', *Les Techniques de l'Industrie Minérale*, vol. 29, pp. 22–30.
- Wortley, M. (2008) *An Introduction to Metal Balancing and Reconciliation*, Julius Kruttschmitt Mineral Research Centre, Indooroopilly, pp. 77–139.