

## Согласование баланса металлов уранового производства

Диана Манго<sup>1</sup> (Diana MANGO), Стефан Брошо<sup>2</sup> (Stéphane BROCHOT),  
Салтанат Сапарова<sup>3</sup> (Saltanat SAPAROVA), Адиль Кобжанов<sup>3</sup> (Adil KOBZHANOV)

<sup>1</sup>ORANO Mining, SA, пл. Жана Миле, 1, г. Курбевау, Франция

<sup>2</sup>CASPEO, SARL, ул. Авеню Клода Гиймен, 3, г. Орлеан, Франция

<sup>3</sup>СП КАТКО, ТОО, ул. Кунаева, 29/1, г. Нур-Султан, Казахстан

Труды конференции Uranium 2020, г. Саскатун, Канада, Октябрь 2020 (виртуальная)

### АННОТАЦИЯ

ТОО «СП «КАТКО» (совместное предприятие компаний ORANO Mining, SA и АО «НАК «Казатомпром») осуществляет обработку месторождений Мойынкум и Торткудук в Южном Казахстане и является одним из крупнейших в мире предприятий по добыче урана, применяющих технологию подземного скважинного выщелачивания. После извлечения из месторождения, уран очищается на трех обогатительных фабриках, расположенных рядом.

При поддержке ORANO Mining и CASPEO в 2018м и 2019м годах на площадках КАТКО был выполнен обширный проект основной целью которого было улучшение системы учета урана. Настоящая статья описывает этот проект и основные изменения, которые последовали за его выполнением. Для учета урана на предприятиях КАТКО до этого применялся подход «черного ящика». Вместе с тем, в таких ситуациях рекомендуется использовать все доступные измерения и разработать модель согласования данных (разнесения невязок) между группами скважин и фабриками, поскольку это способствует общему снижению неопределенности измерений и обеспечит более точный баланс урана. В рамках реализации проекта на КАТКО среди прочего были изменены и переопределены правила и алгоритмы формирования итогового отчета по учету урана, соответствующие диаграммы учитываемых по балансу материальных потоков, операций, остатков, правила расчета ключевых производственных показателей.

Для согласования балансовых данных (для разнесения невязок баланса урана) в рамках разработанной системы учета металла начал применяться алгоритм, рассчитывающий наиболее вероятные (обладающие минимальными погрешностями) значения качественно-количественных балансовых показателей. Все такие расчеты стали выполняться с учетом ограничений законов сохранения массы, а согласование, т.е. разнесение невязок, полученных расчетных данных стало выполняться строго в пределах допустимых погрешностей измерения каждого параметра каждого учитываемого потока. Соответствующие значения погрешностей были предварительно посчитаны на основе бюджетов неопределенности измерений. Бюджет неопределенности измерения представляет собой разложение полной погрешности измерения на отдельные компоненты, возникающие на различных этапах отбора проб, в рамках измерения расхода, в рамках выполнения аналитической процедуры, и включает оценку каждого такого компонента. Такие бюджеты помогают определить конкретные шаги сквозной измерительной процедуры, на которых, с целью увеличения точности измерения, могут быть необходимы улучшения, а также объем соответствующих инвестиций.

### ВВЕДЕНИЕ

ТОО «СП «КАТКО» (совместное предприятие компаний ORANO Mining, SA и АО «НАК «Казатомпром») осуществляет обработку месторождений Мойынкум и Торткудук в Южном Казахстане и является одним из крупнейших в мире предприятий по добыче урана, применяющих технологию подземного скважинного выщелачивания (ПСВ). После извлечения, уран очищается на трех обогатительных фабриках, расположенных рядом с месторождениями.

При поддержке ORANO Mining и CASPEO в 2018м и 2019м годах на площадках КАТКО был выполнен обширный проект основной целью которого было улучшение системы учета урана. Настоящая статья описывает этот проект и основные изменения, которые последовали за его выполнением. Для учета урана на предприятиях КАТКО до этого применялся подход «черного ящика». Вместе с тем, в таких ситуациях рекомендуется использовать все доступные измерения и разработать модель согласования данных (разнесения невязок) между группами скважин и фабриками, поскольку это будет способствовать общему снижению неопределенности измерений и обеспечит более точный баланс урана.

Новый внедренный подход к расчету, часть программной платформы INVENTEO для автоматизации расчета баланса металлов с учетом погрешностей измерения, включает алгоритм, рассчитывающий, с учетом ограничений законов сохранения массы, наиболее вероятные (обладающие минимальными погрешностями) значения качественно-количественных балансовых показателей. Согласование расчетных данных, т.е. разнесение невязок баланса металлов, выполняется полностью автоматически и строго в пределах допустимых погрешностей измерения каждого параметра, отслеживаемого по балансу. Диапазоны погрешностей измерения рассчитываются в рамках внедрения путем составления и оценки бюджетов неопределенности каждого измерения.

Такой подход позволяет использовать данные всех доступных измерений с целью снижения невязки баланса металлов. Он предполагает, что при выполнении измерений отсутствуют систематические погрешности и, вместе с тем, помогает определить наличие таковых путем изменения значений погрешностей для различных балансовых параметров. Расчетные значения, полученные в рамках согласования данных (разнесения невязок) с помощью такого подхода, являются более точными в сравнении с исходными измерениями. Очевидно, в такой ситуации качество выполнения измерений становится очень важным, поскольку результаты зависят от него напрямую.

## **УЧЕТ МЕТАЛЛОВ**

Современные подходы к металлургическому учету все больше и больше применяются производителями металлов. Как написано в Кодексе лучших практик учета металлов AMIRA P754 (AMIRA, 2007), основными результатами, ожидаемыми от процесса металлургического учета, являются: точная оценка питания фабрики (вес и содержание), точная оценка складов и НЗП (вес и содержание), свободная от систематических погрешностей, контроль качества проданных продуктов, а также контроль учтенных и неучтенных потерь. В то время, как для прямого измерения питания и продуктов прилагаются определенные усилия, измерение потерь и остатков как правило являются достаточно сложными и ими могут пренебрегать. Применение подхода согласования данных с учетом погрешностей измерения является единственным способом улучшения всех измерений, выполняемых в рамках технологического процесса (Brochot & Durance, 2012). Этот статистический подход требует знания значений дисперсии измерений (из которой рассчитываются соответствующие погрешности), которая вычисляется на основе бюджетов неопределенности и включает расчет дисперсии (и затем погрешности) отбора проб (Brochot, 2011).

### **Согласование данных с учетом погрешностей измерения**

Выполняемые на площадках КАТКО измерения типичны для процесса ПСВ, поскольку продукт рудного передела представляет собой жидкий раствор. Твердое представлено в виде смол или товарного продукта – закиси-окси урана  $U_3O_8$  (ЗОУ). Для составления баланса урана выполняются следующие измерения:

- Объемы растворов (впрыскиваемый, продуктивный, десорбат, возвратные) с помощью расходомеров в потоках и с помощью уровнемеров или вручную в чанах, прудах и реакторах;
- Объемы смол с помощью расходомеров в потоках и с помощью уровнемеров в колоннах;

- Масса десорбата при перевозке грузовиками, с помощью платформенных весов;
- Масса ЗОУ, с помощью весов;
- Плотность растворов и пульп, путем опробования;
- Содержание урана, путем опробования.

Все эти измерения неидеальны и выполнялись с различной степенью неопределенности. Как следствие, при расчете материального баланса возникали отклонения между измерениями входов и выходов каждой балансовой операции на фабрике. Основной причиной появления таких невязок, наблюдаемых как для общего количества материала (например, для объема раствора), так и для массы урана, являются погрешности измерения.

Согласование данных (разнесение невязок) баланса урана с учетом таких погрешностей позволяет получить набор оценочных значений балансовых качественно-количественных показателей, которые будут максимально близкими к измеренным значениям (которые, в частности, будут отличаться от измеренных не более, чем на размер соответствующих погрешностей измерения), и которые в то же время будут удовлетворять всем законам сохранения материала (в данном случае, речь о сохранении количества раствора и количества урана). Такие оценочные значения будут являться наиболее вероятными. При применении такого согласования данных, для каждого оценочного значения системой также рассчитывается соответствующая погрешность. Особенностью предлагаемого подхода является то, что оценочные значения будут более точными, т.е. будут обладать меньшей погрешностью, чем исходные измерения (Brochot & Durance, 2012).

Такое увеличение точности может быть усилено путем использования избыточного объема измерений при согласовании баланса металлов. Этого возможно достичь, например, путем замены схемы «черного ящика» на более подробную схему балансовых узлов и потоков, включающую также и измерения промпродуктов фабрики. Еще одним преимуществом увеличения детализации схемы расчета баланса металлов является возможность получения более точных значений показателей производительности фабрики на различных производственных участках. Это поможет сфокусироваться на улучшениях там, где они действительно необходимы и наиболее выгодны.

### **Полная погрешность измерения**

Погрешность измерения определяется как разница между значением параметра, полученным при выполнении процедуры измерения, и истинным значением параметра, которое по определению является неизвестным. В силу естественной изменчивости, свойственной любой процедуре измерения, погрешность измерения является случайной переменной, следующей закону распределения вероятностей, который возможно вывести с помощью различных подходов: статистического и вероятностного. Комбинацию этих двух подходов возможно использовать для оценки полной погрешности измерения (Brochot, 2011).

Моменты распределения вероятностей применяются для характеристики погрешности измерения. Первый момент, математическое ожидание, дает оценку систематической погрешности, систематического отклонения между измерениями и истинными значениями. Он представляет собой меру точности измерения. Таких систематических погрешностей необходимо избегать путем применения лучших практик при выполнении измерений, но в то же время, их невозможно увидеть без проведения специальных тестов. Второй момент, дисперсия, оценивает воспроизводимость (или прецизионность) измерения. Его можно увидеть и его возможно рассчитать.

### **Бюджет неопределенности**

Бюджет неопределенности перечисляет все компоненты полной погрешности измерения (OE) и их соответствующие веса. Согласно классификации Пьера Ги (Gu, 1979), двумя основными компонентами полной погрешности измерения являются полная погрешность отбора проб (TE) и

аналитическая погрешность (AE). Оценка аналитической погрешности требует разложения соответствующих регламентов и процедур на этапы для нахождения источников погрешностей. Для расчета полной аналитической погрешности используются специальные расчетные правила и метрологический подход. Лаборатории как правило выполняют такие расчеты, как это было и в случае КАТКО.

Полная погрешность отбора проб должна принимать во внимание последовательность операций, выполняемых при отборе. Операции подготовки проб формируют погрешность подготовки (PE). Операция отбора небольшого объема материала от партии для получения пробы формирует непосредственно погрешность отбора проб (SE). Она в свою очередь может быть разложена на несколько компонентов, некоторых из них возможно избежать путем применения лучших практик при выполнении соответствующих шагов, других избежать невозможно, поскольку они зависят от неоднородности опробуемого материала. Последние включают погрешность краткосрочных колебаний качества ( $QE_1$ ), включающую фундаментальную погрешность отбора проб и погрешность группировки и сегрегации, происходящую из неоднородности состава материала, а также погрешности долгосрочных ( $QE_2$ ) и периодических ( $QE_3$ ) колебаний качества, происходящие из неоднородности распределения материала во времени. Эти три компонента могут быть оценены с помощью подхода вариограмм.

На практике погрешность отбора проб как правило выше погрешности химического анализа. Но это в меньшей степени верно для отбора проб жидких продуктов, поскольку они в большинстве своем более однородны, нежели твердое, за исключением случаев больших колебаний расхода или содержания во времени, что является следствием неоднородности распределения.

С измерениями всегда связан финансовый риск, увеличивающийся вместе с соответствующей погрешностью. Поэтому очень точные измерения не имеют смысла если соответствующий финансовый риск низок. И наоборот, точность измерения необходимо увеличивать при наличии высокого финансового риска. При этом стоимость измерения растет вместе с его точностью, что требует нахождения хорошего компромисса между стоимостью и качеством.

Для определения конкретных измерений, которые необходимо улучшить для обеспечения большей точности результатов, применяются несколько методов. Анализ распределения компонентов погрешности измерения позволяет сконцентрироваться на улучшении наиболее значимых компонентов и воздействовать на источники неопределенности, являющиеся причинами формирования таких компонентов.

Такое исследование бюджетов неопределенности было выполнено для всех измерений, используемых в рамках расчета баланса урана на обеих площадках КАТКО – Торткудук и Мойынкум.

### **Управление данными**

Качество управления первичными данными измерений столь же важно, сколь и качество самих измерений. Между реальным миром (оборудование фабрики и перерабатываемый материал) и отчетом по балансу металлов существует целая цепочка операций (см. рисунок 1 ниже), каждое звено которой представляет собой источник погрешности и ошибок:

- Восприятие реального мира: действительно ли мы измеряем то, что мы думаем, что измеряем?
- Как описано выше, любое измерение является неопределенным, независимо от способа его выполнения:
  - Прямое измерение с помощью оборудования, у которого есть несовершенства;
  - Измерение на пробе, к которому всегда есть вопросы в части ее представительности;
  - Химический анализ с использованием лабораторного оборудования и процедур.

- Передача данных результатов (значений) измерений в хранилище:
  - Процедура автоматической передачи с измерительного устройства в базу данных через контроллер устройства, сеть, АСУТП, с последующей передачей файла и обработкой данных (промежуточные расчеты, например, объема через расход), каждый шаг которой обладает своими источниками ошибок и погрешностей;
  - Процедура ручной передачи данных человеком путем чтения значения с устройства, последующей ручной записи и дальнейшего редактирования на компьютере для хранения, также является источником ошибок, которые определенно возникают чаще других.
- Независимо от системы, используемой для хранения значений показателей (АСУТП, Historian, LIMS, ERP, и др.), такие значения хранятся в таблицах, структурированных для ассоциации их с другими параметрами, такими, как временные шаги или номера партий. Даже если сохранены правильные значения измерений, с ассоциированными параметрами могут возникать ошибки.
- Первичные данные измерений, формируемые за смену или за сутки, должны быть обработаны для расчета общих показателей количества и средних показателей качества, необходимых для составления периодического материального баланса, например баланса за месяц. Это делается с помощью специальных расчетных методов, в INVENTEO называемых «фильтрами». Полученные расчетные периодические данные называются «базисными». Такая обработка данных также является источником ошибок и погрешностей.
- Как только потоки и остатки измерены, а соответствующие значения посчитаны за период, материальный баланс следует модели, описывающей различные производственные операции, их питающие и продуктовые потоки, их НЗП и применимые законы сохранения материала. Модель согласования баланса INVENTEO включает все эти аспекты и должна быть настроена в соответствии с фактическими перемещениями материала, что не всегда возможно явно отследить.
- В заключение, отчет по металлургическому учету формируется на основании посчитанных данных материального баланса и должен соответствовать правилам учета.



Рисунок 1 – Процесс учета металлов: от первичных измерений до итогового отчета

Качество и точность учета металлов зависит от всех этих шагов, самое слабое звено навязывает свои правила.

## Проверка качества данных

Определить небольшую систематическую погрешность измерения на практике достаточно сложно. При этом анализ невязок в рамках процесса учета металлов позволяет сделать это в силу накопления такой погрешности в течение длительного периода времени. При этом, хотя любая невязка является проявлением проблемы, корень такой проблемы может быть повсюду, и могут быть вовлечены множество источников ошибок. Традиционно в первую очередь в качестве такого источника указывают лабораторию, т.е. измерение качества материала. Но опыт показывает, что это достаточно редкий случай. Причиной такого ошибочного решения при поиске ошибки очевидно заключается в том, что QAQC процедуры хорошо определены и применяются на уровне лаборатории и их проще контролировать. При этом правильный процесс поиска заключается в проверке качества данных в направлении, обратном процессу учета металлов, отраженному на рисунке 1 выше:

1. Первый шаг заключается в проверке корректности модели расчета баланса металлов: все ли входные и выходные потоки учитываются? Склады/НЗП? Возможно ли наличие некоторых неучтенных потерь?
2. Далее необходимо проверить способ расчета количества и качества при передвижении материала (т.е. в потоках) и в остатках.

Эти два этапа необходимо выполнять время от времени в случае модернизации фабрики или карт технологического / аналитического контроля (измерительной системы). Когда оба пункта проверены, поиск источников ошибок необходимо продолжить в рамках двух следующих этапов, где такие источники встречаются чаще:

3. Необходимо проверить первичные данные измерений, доступные в базах данных и используемые для расчета периодических и неизмеряемых значений балансовых показателей (т.н. «базисных» данных), все ли ожидаемые данные присутствуют? Если часть данных не хватает, в чем причина? Хорошо ли соотносятся количественные и качественные показатели? Все наблюдаемые ошибки должны быть исправлены в базе данных и, если возникают слишком часто, изучены в части причины возникновения и возможностей избежания.
4. Предыдущий этап может вскрыть некоторые показатели, правильно представленные и параметризованные, но обладающие неожиданными значениями. Необходимо исследовать, в чем причина появления именно такого значения, и в первую очередь необходимо проверить передачу данных. Если такая передача осуществляется путем записи на бумагу или ручного редактирования, это может быть первой причиной появления ошибки. Необходимо уделять большое внимание такой ручной передаче данных, и стремиться к ее автоматизации. При этом, даже при автоматизированной передаче могут возникать некоторые ошибки, в особенности при наличии расчетных процедур между измеренным значением (или группой значений) и первичными данными измерений, хранимыми в базе данных. Например, иногда наблюдается разница между значением суммирующего устройства, установленного на контроллере расходомера, и значением, отображаемым в АСУТП, первое является более точным.

Когда предыдущие два этапа, касающиеся управления данными, проверены, любая наблюдаемая невязка или неожиданные значения первичных данных могут быть объяснены самим измерением или объектом такого измерения.

5. Легче начать с контроля устройств, оборудования и средств, используемых для выполнения измерений. Подразумевается предупредительный контроль, включающий, например, калибровку оборудования, которая должна проводиться настолько часто, насколько это

возможно, или QAQC процедур лаборатории. Могут проводиться специальные тесты, в основном, если проблемное измерение сложно определить.

6. В то же время и объекты реального мира также могут быть поставлены под вопрос. Фактически мы говорим о разнице между тем, что мы думаем, что мы измеряем, и тем, что мы фактически измеряем. Такое может случаться чаще, чем это принято считать. Например, прерывистая подача материала может приводить к противотоку и двойному учету части объема расходомером, что в свою очередь может приводить к систематической переоценке измеренного объема.

Внедрение автоматизированной системы учета металлов помогает проводить такую проверку качества данных и может вскрыть некоторые слабости как существующей измерительной системы (количественные и качественные измерения), так и в управлении и контроле процессов, которые ранее не были обнаружены.

## **ВНЕДРЕНИЕ СИСТЕМЫ УЧЕТА МЕТАЛЛОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ КАТКО**

Программная платформа INVENTEO для автоматизации расчета баланса металлов с учетом погрешностей измерения была внедрена на фабриках КАТКО на обоих месторождениях, Торткудук и Мойынкум. Как было описано выше, решение автоматизирует расчет материального баланса и отслеживает передвижения материала (потоки) и остатки (склады и НЗП).

В рамках учета металлов на предприятиях КАТКО отслеживались материалы трех типов:

- Растворы: впрыскиваемый, продуктивный, десорбат, возвратные;
- Твердое: смола, желтый кек;
- Пульпы: осадки, глина в суспензиях и прудах.

Строго говоря, в силу изменений плотности, которые могут происходить в процессах, сохраняется только масса, не объем. Тем не менее, большинство жидких потоков количественно выражались именно в объеме. Для многих операций такой объем сохранялся. Кроме этого, за исключением десорбата, растворы обладали удельной плотностью, близкой к 1. По этим причинам, количество выражалось в объеме, который сохранялся для многих операций. Товарный продукт учитывался напрямую через массу урана.

Масса урана рассчитывалась из количества и содержания в каждом потоке и каждом остатке. Для всех операций было верно, что масса урана сохраняется.

Следующие первичные данные измерений использовались для материального баланса:

- данные, поступающие из процессов: объемы с расходомеров и уровнемеров, массы с платформенных автовесов или весов для емкостей;
- содержания: металл, плотности, измеренные на пробах, которые могли быть как составными, так и точечным, взятыми автоматически или вручную.

Базисные данные (периодические, пересчитываемые) рассчитывались из первичных данных измерений с помощью соответствующих фильтров INVENTEO (алгоритмов, автоматически рассчитывающих, например, суммарные или средневзвешенные значения) и представляли период производства. Для расчета соответствующих погрешностей применялись модели дисперсии, также реализованные в INVENTEO. Для составления производственных отчетов по учету урана использовались согласованные данные, т.е. данные, полученные после автоматического разнесения невязок системой строго в пределах погрешностей измерения соответствующих показателей.

Параллельно с конфигурацией и внедрением программной части INVENTEO, было выполнено исследование бюджетов неопределенности всех участвующих в балансе измерений.

Следующие два примера приведены для иллюстрации общих правил, описанных в разделе выше: первый касается потока сточных вод, для которого требовалось улучшение процедуры отбора проб, второй – поиску проблемного расходомера.

### Улучшение процедур отбора проб

Для изучения погрешности, возникающей в различных контрольных точках фабрики, для всех потоков были построены вариограммы содержания урана. Вариограмма позволяет оценить краткосрочную (представленную  $QE_1$ ) и долгосрочную (представленную  $QE_2$ ) части погрешности отбора проб. Для примера, на рисунке 2 приведена вариограмма потока возвратного раствора, построенная на основе сменных измерений. По оси X отложены промежутки между двумя измерениями, выраженные в 12ти часовых сменах. По оси Y – автоковариация содержания урана, разделенная такими промежутками.

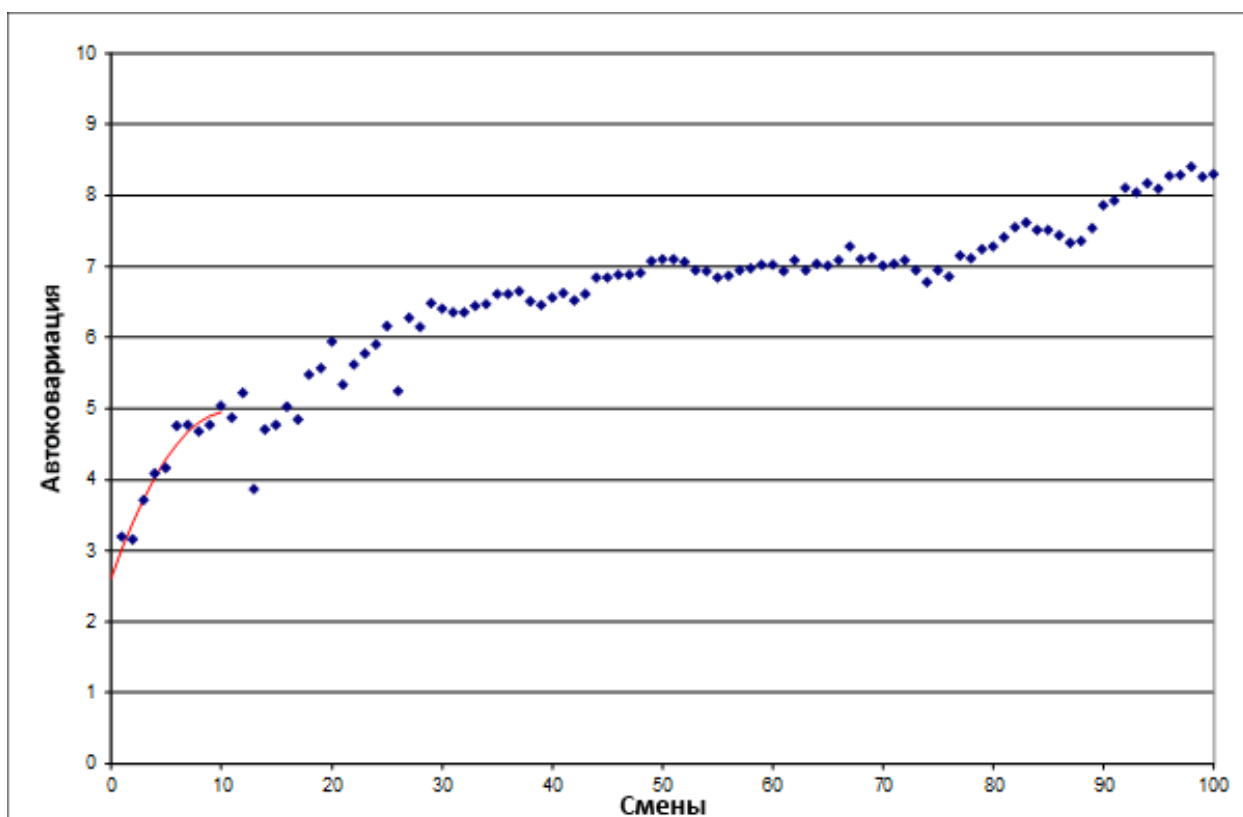


Рисунок 2 – Вариограмма содержания урана в потоке возвратного раствора

Самой важной частью вариограммы является ее начало, для которого красной линией показано расчетное приближение. Экстраполяция на нулевую точку дает дисперсию компонента  $QE_1$ , включающего погрешность отбора проб, а также аналитическую погрешность. Наклон показывает изменчивость содержания во времени. Большой наклон, в частности, свидетельствует о больших и быстрых колебаниях. Если вариограмма достаточно постоянна до конца, это значит, что то что происходит ближе к окончанию не связано с тем, что происходит в начале процесса.

Для некоторых потоков наблюдались большие колебания расхода и содержания, провоцировавшие большую погрешность отбора проб. Это верно и для рассматриваемого случая потока возвратного раствора, для которого каждую смену отбиралась одна точечная проба. Как показано на рисунке 2, дисперсия компонента  $QE_1$  значительно превышает 1, что свидетельствует о большой погрешности отбора проб, поэтому эти измерения не имеют смысла и не могут быть использованы для учета металлов. Замена точечного ручного отбора проб на отбор по каплям для формирования составной сменной пробы (т.е. отбор по капле раствора каждые несколько секунд через специальное



отверстие) позволила снизить погрешность измерения до 12%, что было приемлемо для этого потока в рамках расчета материального баланса.

По многим причинам, и отбор по каплям не является панацеей, в особенности при наличии больших колебаний расхода. Предпочтительнее установка автоматического пробоотборника, который делал бы одну отсечку на каждый объем  $\Delta V$  м<sup>3</sup>. Для определения значения такого объема возможно провести более точное исследование с вариограммой. Предприятия КАТКО уже используют такие пробоотборники для основных потоков. Некоторые из них действуют по времени (время между двумя отсечками постоянно) поскольку расход отбираемого потока относительно постоянен, другие – по объему и управляются расходомерами.

### **Определение проблемного расходомера**

Анализ месячных базисных данных показал наличие систематической невязки по объему раствора и массе урана в промежуточном чане. Питанием этого чана служили два потока: один из них представлял собой раствор, поступающий через трубу с расходомером, измеряющим объем, и автоматическим пробоотборником, собирающим составную сменную пробу. Второй – раствор, подвозимый грузовиками, каждый из которых взвешивался и опробовался на плотность (для пересчета объема) и на содержание урана. Раствор сливался из чана через единственную трубу, оборудованную расходомером для измерения объема, и из которой осуществлялся ручной отбор пробы на качество. В начале и окончании периода в чане, для целей определения объема раствора, измерялся уровень, в то же время внутри чана отбиралась проба.

Фактически, невязка по массе урана была обусловлена невязкой по объему, что указывало на проблему с измерением последнего. Но что из двух расходомеров, автовесов и уровнемера дает плохое значение? Для ответа на этот вопрос было выполнено испытание материала с целью контроля точности расходомеров. Особое внимание было уделено промежуточным измерениям (уровни, массы). Это позволило определить и заменить проблемный расходомер. Последующее его тестирование на контрольно-испытательном стенде подтвердило это заключение.

### **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

При внедрении автоматизированной системы учета металлов, такой, как INVENTEO, для получения хорошей количественной оценки полных погрешностей измерения основных балансовых показателей, необходимо провести тщательный анализ существующей измерительной системы и системы отбора проб. Такие погрешности задают точность измерения в ключевых контрольных точках и напрямую используются системой для согласования данных (разнесения невязок) баланса металлов. Дополнительно к этому, анализ бюджетов неопределенности, проводимый в рамках расчета полной погрешности измерения, позволяет выделить те этапы измерительных процедур и соответствующие компоненты погрешности, которые необходимо улучшить в первую очередь. Анализ невязок и того, как алгоритм согласования данных системы их разносит, позволяет определить некоторые проблемы измерений и сфокусироваться на соответствующих источниках ошибок или систематических погрешностей. Исправление таких проблем вносит свой вклад в общее улучшение производительности предприятия с технической и экономической точек зрения.

Компания с ограниченной ответственностью Caspeo  
BP 36009 - 45060 ORLEANS CEDEX 2 - Франция  
Тел.: 02 38 64 31 96 - Факс 02 38 25 97 42 - e-mail: [info@caspeo.net](mailto:info@caspeo.net)

Эксклюзивный дистрибьютор Caspeo в РФ и СНГ:  
Вычислительные Системы, ООО  
ул. Кутателадзе, 4г, г. Новосибирск, РФ, 630128  
Тел.: +7 (383) 214-09-53, web: <http://www.procsim.ru/>, e-mail: [sales@procsim.ru](mailto:sales@procsim.ru)

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

**AMIRA** (2007) Metal Accounting Code of Practice and Guidelines - Release 3.

**Brochot, S.** (2011) The application of sampling theory in metallurgical accounting process – Inveneo methodology implementation. *Proceedings of the 5th World Conference on Sampling and Blending*, Ed. M. Alfaro, E. Magri & F. Pitard, Gecamin, Santiago, Chile.

**Brochot, S. & Durance, M.-V.** (2012) A new approach to metallurgical accounting. *Proceedings of the 11th Mill Operators' Conference*, AusIMM.

**Gy, P.M.** (1979) Sampling of particulate materials – Theory and practice, Elsevier, Amsterdam-Oxford-New York.