

ТЕХНОЛОГИЯ АЛЬБИОН И ВЫЩЕЛАЧИВАНИЕ ВЫСОКОМЫШЬЯКОВИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАУНТ-АЙЗА

Авторы

M. Hourn ¹, C.A. MacDonald ², P. Rohner ², P. Woodall ³

1. Xstrata Technology
2. Core Resources
3. Xstrata Copper Australia

Докладчик

Mike Hourn

MHourn@xstratatech.com.au

СОДЕРЖАНИЕ

1.	ВВЕДЕНИЕ	2
2.	ТЕХНОЛОГИЯ АЛЬБИОН	4
3.	ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ НА ПИЛОТНОЙ ФАБРИКЕ	7
4.	ПРОЕКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ФАБРИКИ	16
5.	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	19

1. ВВЕДЕНИЕ

ПРОЕКТНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Медеплавильный завод компании Xstrata Copper искал способ переработки пылей плавильного производства, образующихся в процессе медной плавки Isasmelt. Ранее газы, выходящие из обжиговой печи Fluosolids, очищались в электростатическом осадителе Cottrell. Улавливаемые пыли затем выщелачивали водой с получением сульфата меди, который затем использовался на свинцово-цинковой фабрике в Маунт-Айза. В 1992 г. печь Fluosolids была заменена печью Isasmelt и соответствующим электростатическим осадителем (ЭСО). Улавливаемая в ЭСО пыль содержит значительное количество меди и других летучих элементов, таких как мышьяк, свинец и сурьма. В процессе плавки в котел-утилизатор отходящего тепла Isasmelt добавляется известняк, образующий отдельную котельную пыль, также содержащую медь, сурьму и непрореагировавший известняк.

Через несколько лет после ввода в эксплуатацию печи Isasmelt эти пыли плавильного производства стало необходимым либо продавать на сторону для переработки, либо складировать на месте, поскольку их было невозможно возвращать назад в питание печи, так как они представляли собой продукт первичного удаления мышьяка из процесса плавки. Складирование пылей с высоким содержанием мышьяка не является экологически безопасной практикой, поэтому Xstrata Copper разработала гидрометаллургический процесс для извлечения меди из пыли и связывания содержащегося мышьяка в более стабильной форме. При сооружении фабрики выщелачивания пылей Xstrata предусмотрела поэтапный подход с извлечением меди и связыванием мышьяка в форме арсенатов железа и кальция на первом этапе проекта. На втором этапе проекта Xstrata предусматривает также выщелачивать медный концентрат с использованием Технологии Альбион для добавки в цикл выщелачивания дополнительного железа и связывания всего удаленного мышьяка в форме арсената железа. В настоящее время закончены строительные работы по первому этапу проекта, а выполнение второго этапа предусматривается в 2007 г.

В настоящем докладе изложены результаты программы испытаний, выполненных для содействия при проектировании обоих этапов проекта, а также описание первой очереди фабрики, пуско-наладка которой осуществляется в настоящее время в Маунт-Айза.

СТАДИИ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА

Процесс переработки пыли ЭСО первоначально был разработан в лаборатории в 1999-2000 гг. Затем оптимизированная технологическая схема была испытана в пилотном масштабе в исследовательских лабораториях гидрометаллургии Xstrata в г. Брисбен. Технологии первой и второй очередей фабрики выщелачивания пылей испытывались в рамках двух отдельных программ. По первой программе пыль ЭСО выщелачивали в отходах кислоты из Маунт-Айза, как это и происходит на фабрике, пуско-наладка которой осуществляется в настоящее время. По второй программе пилотных испытаний смесь пыли ЭСО и медного концентрата выщелачивали по Технологии Альбион для осуществления добавки в процесс достаточного количества железа для связывания мышьяка.

Пилотные испытания проводились на материале ряда различных низкосортных медных концентратов, обеспечивающих поступление необходимого количества железа для полного связывания мышьяка в форме арсената железа.

Существующая фабрика выщелачивания пыли ЭСО в 2007 г. будет расширена с включением цикла выщелачивания одного из этих низкосортных медных концентратов. Производительность секции выщелачивания существующей фабрики будет увеличена, и в схему будет включена мельница IsaMill, обеспечивающая повышение извлечения меди из пыли ЭСО и возможность переработки халькопиритных концентратов в цикле выщелачивания. По завершении, вторая очередь фабрики выщелачивания пылей ЭСО станет промышленной демонстрацией Технологии Альбион компании Xstrata.

ОПИСАНИЕ СЫРЬЕВЫХ МАТЕРИАЛОВ

При разработке технологической схемы испытывались три исходных продукта.

Пыль ЭСО печи медной плавки Isasmelt представляет собой смесь окисленных солей меди, неокисленного концентрата, металлической меди, извести и кремнезема. Большая часть меди в данном продукте растворима в воде или кислоте, однако в пыли присутствует небольшое количество неокисленных сульфидов меди. Более упорные минералы сульфидов меди требуют более агрессивных условий выщелачивания и в настоящее время не выщелачиваются на первой очереди фабрики, пуско-наладка которой осуществляется в Маунт-Айза.

Котельная пыль похожа на пыль ЭСО, однако она содержит больше известняка и повышенное содержание сульфидных минералов меди.

Низкосортный концентрат, полученный с медной обогатительной фабрики, состоит из нераскрытых минералов меди, которые переходят либо в хвосты фабрики, либо в концентрат (обеспечивая дополнительное извлечение меди). Минералы в концентрате представлены преимущественно халькопиритом, пиритом и кремнеземом. Низкосортный медный концентрат был наиболее предпочтительным источником железа для фабрики выщелачивания пылей, поскольку он имел высокое соотношение содержания железа к меди и содержал минералы с двойной или тройной ассоциацией, которые бы в противном случае снизили качество конечного медного концентрата.

Более подробный анализ каждого исходного продукта представлен в Разделе 3.5.

ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Для переработки пылей плавильного производства был выбран процесс выщелачивания, поскольку Xstrata определила арсенат железа в качестве наиболее предпочтительного соединения мышьяка для утилизации в хвостохранилище Маунт-Айза. Для образования экологически стабильного соединения мышьяка не имелось подходящего пирометаллургического процесса, а имеющиеся в наличии обширные литературные источники рекомендовали арсенат железа в качестве наиболее предпочтительной формы связывания мышьяка.

В качестве наиболее предпочтительного способа выщелачивания было определено кислотное выщелачивание из-за наличия дешевой низкосортной кислоты у Группы Xstrata, а также на кислотном заводе компании BHP Billiton в Маунт-Айза. Выщелачивание медного концентрата по Технологии Альбион было единственной принятой в расчет технологией окислительного выщелачивания для извлечения из низкосортного концентрата добавочного железа и меди, поскольку эта технология является собственностью Группы Xstrata и представляет собой наиболее экономически эффективный метод перевода в раствор упорных соединений меди.

ПРОЕКТНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ

Проект по выщелачиванию пылей ЭСО имел три основные цели.

Первой было перевести оксиды мышьяка из пылей плавильной печи в стабильный осадок арсената железа и объединить этот осадок с хвостами обогащения в хвостохранилище Маунт-Айза.

Второй целью было извлечь медь из пыли в форме, которую можно было бы возвращать назад в плавильную печь. Получение отдельного медного продукта, такого как катодная медь или сульфат меди, не предусматривалось и было отвергнуто на стадии оценки проекта из-за капитальных затрат и дополнительного усложнения технологии производства меди.

Третьей целью проекта было обеспечение платформы для демонстрации Технологии Альбион компании Xstrata. Технология Альбион является ключевой технологией, оцениваемой для

нескольких долгосрочных проектов Xstrata, и демонстрация технологии является важной для снижения степени риска этих проектов.

С целью минимизации затрат на транспортировку высокомышьяковистой пыли ЭСО и низкосортной кислоты, проект был расположен в непосредственной близости от медеплавильной установки Isasmelt.

В будущем фабрика выщелачивания будет также забирать пыль ЭСО из существующего отвала. Этот вопрос подлежит изучению и не был включен в проектирование как первой, так и второй очереди фабрики.

2. ТЕХНОЛОГИЯ АЛЬБИОН

ИСТОРИЯ ТЕХНОЛОГИИ АЛЬБИОН

Технология Альбион была разработана компанией Xstrata Plc для переработки концентратов, полученных из упорных руд цветных и драгоценных металлов. Технология была разработана в 1993 г. и запатентована по всему миру. Технология Альбион включает в себя горизонтальную бисерную мельницу IsaMill для получения активированного тонкоизмельченного концентрата при относительно низких удельных расходах энергии. Такой тонкоизмельченный концентрат затем выщелачивается при атмосферном давлении в обычных агитационных чанах. Благодаря простоте технологической схемы, капитальные затраты на строительство фабрики по Технологии Альбион могут быть значительно ниже, чем для сопоставимой фабрики бактериального или автоклавного выщелачивания.

ОПИСАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Ключевой в Технологии Альбион является стадия сверхтонкого измельчения. Процесс сверхтонкого измельчения приводит к высокой степени деформации, вносимой в кристаллическую решетку. В результате, количество поверхностных разрывов зерен и дефектов кристаллической решетки возрастает по величине на несколько порядков по отношению к неизмельченным минералам. Увеличение количества дефектов кристаллической решетки «активирует» минерал, способствуя выщелачиванию. Благодаря резкому увеличению площади поверхности минерала возрастает также и глубина выщелачивания.

За счет сверхтонкого измельчения также сводится к минимуму пассивация минеральной поверхности продуктами выщелачивания на основе серы. Обычно осадки, образующиеся на поверхности выщелачиваемого минерала, медленно пассивируют минерал, предотвращая доступ химреагентов к поверхности минерала. Пассивация обычно заканчивается, когда толщина слоя осадков достигает 2 - 3 микрон. Сверхтонкое измельчение минерала до крупности 80% класса мельче 8 - 12 микрон устраняет пассивацию, поскольку выщелачиваемый минерал разрушается до того, как слой осадка становится достаточным для пассивации минерала. Стадия окислительного выщелачивания осуществляется в агитационных чанах, эксплуатируемых при атмосферном давлении. Для содействия окислению в реакционную пульпу вводится кислород. Выщелачивание происходит автотермически, таким образом, что температура реакционной пульпы задается количеством тепла, высвобождаемым в процессе реакции выщелачивания. Тепло из внешних источников в реакционную емкость не поступает. Температура регулируется за счет расхода добавляемого кислорода и плотности реакционной пульпы.

Принципиальная технологическая схема извлечения меди из концентратов с использованием Технологии Альбион представлена на Рисунке 1. Тонкоизмельченный концентрат выщелачивают в рафинате из цеха экстракции меди, который является источником кислоты и железа в процессе выщелачивания. Для содействия выщелачиванию в реакционные емкости подается кислород. Плотность реакционной пульпы регулируют таким образом, чтобы обеспечить содержание меди в растворе на уровне от 20 до 30 г/л, в зависимости от конфигурации цеха экстракции. Затем обогащенную по меди пульпу нейтрализуют суспензией известняка для контроля содержания железа и кислоты перед циклом экстракции. Потом нейтрализованную пульпу фильтруют для удаления окисленного осадка, а обогащенный

раствор направляют на экстракцию. Для получения из обогащенного раствора катодной меди применяют обычную технологию экстракции растворителями и электрохимического извлечения.

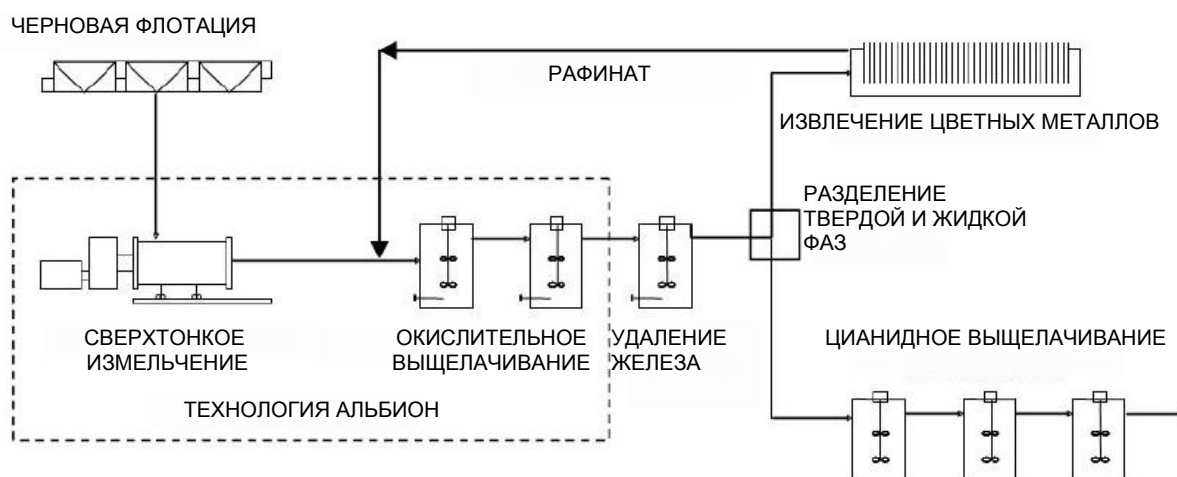


Рисунок 1. Принципиальная схема Технологии Альбион

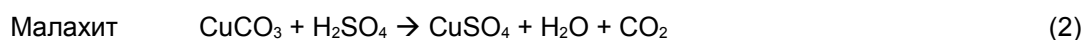
Технология Альбион нечувствительна к качеству концентрата и позволяет перерабатывать низкокачественные и загрязненные концентраты, которые невозможно переработать по традиционной технологии с плавкой. Кроме того, способность перерабатывать низкосортные концентраты обеспечивает возможность повышения извлечения меди в цикле флотации, а также упрощения схемы флотации. Мельницу IsaMill можно установить внутри флотационного цикла для обеспечения, при необходимости, лучшего раскрытия минералов и технологической гибкости, либо использовать для измельчения конечного флотационного концентрата. Обычно извлечение меди в цикле выщелачивания по Технологии Альбион составляет 97 – 99 весовых %. Благодаря простоте схемы выщелачивания, капитальные затраты по фабрике выщелачивания невелики по сравнению с автоклавным и бактериальным выщелачиванием.

ХИМИЗМ ПРОЦЕССОВ

Этот раздел описывает химические процессы, задействованные при выщелачивании основных минералов, присутствующих как в пыли ЭСО, так и в низкосортных медных концентратах, перерабатываемых на фабрике выщелачивания в Маунт-Айза.

Выщелачивание окисленных минералов меди

Большинство минералов меди в пыли ЭСО будут окисленными, представленными в основном малахитом и купритом. Эти минералы будут легко выщелачиваться при контакте с растворами серной кислоты по общей реакции:



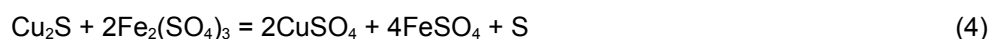
Выщелачивание халькопирита

Основным упорным минералом меди, представленным в низкосортных медных концентратах и пыли ЭСО, является халькопирит, и выщелачивание происходит через окисление трехвалентным железом. Обычно более 90% сульфидной серы в халькопирите переходит в остаток от выщелачивания в виде элементарной серы, поскольку температура при выщелачивании по Технологии Альбион и рабочее давление довольно низкие.



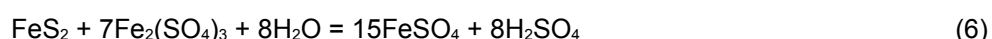
Выщелачивание халькозина и ковеллина

Другими обычными сульфидными минералами меди, представленными в пыли ЭСО, являются халькозин и ковеллин, и выщелачивание опять происходит через окисление этих сульфидов трехвалентным железом. Основные реакции выщелачивания по Технологии Альбион для халькозина и ковеллина приведены ниже. Обычно более 90% сульфидной серы в халькозине переходит в остаток от выщелачивания в виде элементарной серы.



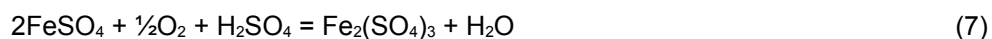
Выщелачивание пирита

В цикле выщелачивания по Технологии Альбион будет происходить растворение пирита, однако в целом значительное окисление пирита не будет наблюдаться до тех пор, пока не будет окислена большая часть минералов меди. Основной реакцией выщелачивания пирита является:



Окисление двухвалентного железа

Выщелачивание по Технологии Альбион является выщелачиванием трехвалентным железом, при котором трехвалентное железо в растворе постоянно регенерируется за счет реакции с растворенным кислородом. Кислород вводится путем вдувания в пульпу газообразного кислорода. Реакцией регенерации двухвалентного железа является:



Вдувание кислорода в реакционные чаны будет задействовано на второй стадии цикла выщелачивания в 2007 г.

Осаждение железа и мышьяка

Железо высвобождается из таких железосодержащих минералов в пыли ЭСО и низкосортных медных концентратах, как гематит, халькопирит и пирит. В процессе выщелачивания железо играет важную роль как источник трехвалентного железа, однако для предотвращения чрезмерного накопления железа в циркулирующем рабочем растворе необходима операция контроля. Наиболее предпочтительным методом контроля содержания железа по Технологии Альбион является осаждение в форме гетита. Температура в конце выщелачивания по Технологии Альбион обычно составляет порядка 80 – 90 °С и является идеальной для осаждения гетита.

На выходе выщелачивания пульпу нейтрализуют известняком до величины pH порядка 2,5 – 3, а время пребывания в цикле осаждения гетита регулируют таким образом, чтобы фоновый уровень содержания трехвалентного железа в непрерывно пополняемом цикле составлял менее 1 г/л. Потери меди с гетитовым осадком составляют порядка 1 – 3 %, однако они могут быть значительно снижены при правильной организации цикла осаждения гетита. Показатели осаждения и фильтрации гетитового осадка обычно превосходные. Цикл осаждения гетита работает с рециркуляцией в голову процесса 300 – 600 % сгущенного гетитового продукта, служащего источником зародышей кристаллизации и снижающего расход известняка. На фабрике выщелачивания в Маунт-Айза для нейтрализации реакционной пульпы и осаждения железа будет использоваться известь, однако известняк также может быть использован.

Основной реакцией осаждения железа является:

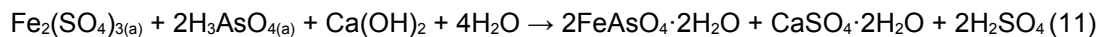


Пятиокись мышьяка будет растворяться непосредственно в кислой воде по общей реакции:

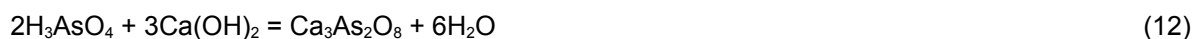


На первой очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза из пыли ЭСО будет выщелачиваться около 70% мышьяка, поступающего преимущественно из пентаоксида мышьяка. Полное растворение мышьяка будет достигнуто на второй очереди фабрики, после ввода в эксплуатацию окислительного выщелачивания по Технологии Альбион.

В идеале, мышьяк будет связываться в остаток от выщелачивания в виде арсената железа, образующегося на стадии осаждения гетита по реакции:



Там, где для образования арсената железа недостаточно железа, образуется также арсенат кальция по реакции:



Арсенат железа признан одним из наиболее стабильных соединений мышьяка, которое может быть осаждено в кислой сульфатной системе в широком интервале значений pH. Он имеет очень низкую растворимость, обычно менее 10^{-47} , с быстрым снижением растворимости при увеличении отношения железа к мышьяку в растворе. Общепринятое минимальное соотношение в растворе железа и мышьяка для получения стабильного осадка арсената железа составляет 3,5 : 1. При таких соотношениях в нейтрализованном растворе должно оставаться менее 20 ppm мышьяка. Остаточный уровень содержания мышьяка в растворе будет снижаться дальше при повышении pH, и при pH 3,5 и выше должен составлять менее 1 ppm. На первой очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза в растворе не будет достаточного количества железа для обеспечения осаждения мышьяка исключительно в форме арсената железа. Однако после ввода второй очереди железо будет извлекаться из низкосортного медного концентрата, и преобладающим мышьяковистым осадком станет арсенат железа.

3. ПРОГРАММА ИСПЫТАНИЙ НА ПИЛОТНОЙ ФАБРИКЕ

3.1 ПИЛОТНАЯ ФАБРИКА – ВВЕДЕНИЕ

В 2000 г. процесс выщелачивания пыли ЭСО и Технология Альбион были испытаны в пилотном масштабе в Лабораториях гидрометаллургических исследований компании Xstrata Technology в г. Брисбен. Задачами программы пилотных испытаний ставились:

- Испытать предлагаемую технологическую схему и определить узкие места в технологии.
- Испытать предлагаемые основные технологические операции и, там где возможно, получить данные для внешней оценки технологических операций поставщиками оборудования.
- Подготовить полный набор проектных параметров для экономической оценки и рабочего проектирования промышленной фабрики.

Предусматривалось, что пилотная фабрика будет иметь производительность 25 кг в сутки по твердому. Пилотная фабрика работала 24 часа в сутки и была в достаточной степени оснащена автоматическим управлением, чтобы в ночное время работать без присмотра.

В 2004 г. была также выполнена программа заключительных подтверждающих лабораторных испытаний для изучения самой последней пробы пыли перед завершением проектирования фабрики выщелачивания.

3.2 ПИЛОТНАЯ ФАБРИКА – ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА

Технологическая схема пилотной фабрики изображена на Рисунке 2.

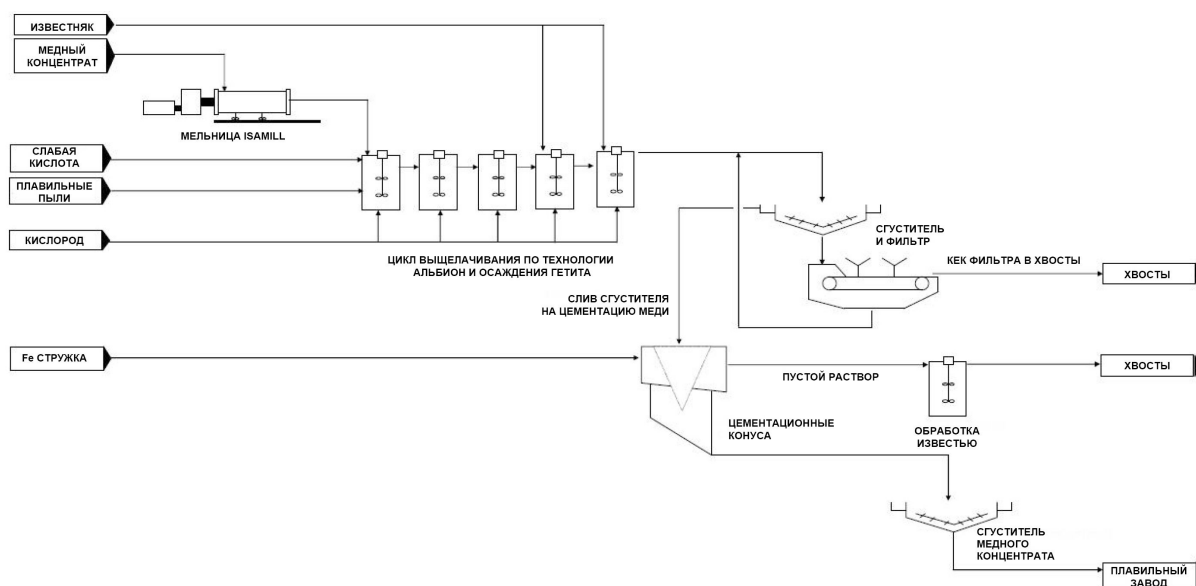


Рисунок 2. Технологическая схема пилотной фабрики

Фабрика включала в себя следующие технологические циклы:

Подготовка питания

Пилотная фабрика была рассчитана на переработку пыли ЭСО и котельной пыли медеплавильной печи в любом соотношении, а также низкосортных медных концентратов с медной обогатительной фабрики в Маунт-Айза. Поскольку медный концентрат требовал тонкого измельчения, а печные пыли не требовали, то пилотная фабрика включала два независимых цикла подготовки питания и измельчения.

Пыли плавильной печи смешивались в соотношении, приведенном ниже в Таблице 2, и распульповывались водой до плотности 1,5 г/см³. Затем пульпа рециркулировала через грохот и измельчалась до крупности 80% класса минус 106 микрон таким образом, чтобы смоделировать измельчение в шаровой мельнице в замкнутом цикле с гидроциклонами.

Медный концентрат распульповывался до 45% твердого и подвергался тонкому измельчению в мельнице IsaMill, где он измельчался до крупности 80% класса минус 6 – 9 микрон.

Пульпа измельченного питания из двух источников складировалась отдельно перед циклом выщелачивания.

Выщелачивание

Измельченное питание подавалось насосом в цепочку из трех агитационных чанов выщелачивания, соединенных последовательно, которые вместе обеспечивали время контакта 26 часов при выщелачивании медного концентрата или 6 часов при выщелачивании только пыли ЭСО. Общий объем цикла выщелачивания составлял 330 литров. Плотность твердого регулировалась таким образом, чтобы обеспечить концентрацию перешедшей в раствор меди 15-20 г/л. Воздух (для смесей, состоящих только из плавильных пылей) или кислород (для смесей, содержащих медные концентраты) вдувался через барботеры, расположенные под агитаторами. Во всех чанах применялись импеллеры Lightin A315 типа «гидрокрыло». Температура в чанах выщелачивания поддерживалась с использованием электрических иммерсионных нагревателей. Для смесей, содержащих только печные пыли, применялась температура 62°C, а для смесей, включающих медный концентрат - 85°C. Серная кислота подавалась непрерывно в первый чан выщелачивания. Расход кислоты регулировался автоматически путем замера pH в третьем чане.

Нейтрализация (осаждение гетита и мышьяка)

После выщелачивания пульпа самотеком поступала из цепочки выщелачивания в два агитационных чана нейтрализации, соединенных последовательно, где в обе емкости в виде суспензии подавался измельченный известняк, а воздух вдувался через барботеры, расположенные под агитаторами. Величина pH регулировалась на уровне от 2,0 до 2,6. Температура поддерживалась на уровне 80°C с использованием электрических иммерсионных нагревателей. Известняк подавался в крупности 80% класса минус 106 микрон и распульповывался до весового содержания твердого 30%. Суспензия известняка хранилась в 600-литровом баке-хранилище и подавалась в чаны нейтрализации через кольцевую магистраль с автоматическим дозированием по величине pH в заданной точке. Время пребывания в цикле нейтрализации составляло 6 часов при общем объеме 80 литров.

Сгущение и фильтрация

Нейтрализованная пульпа самотеком поступала в скоростной сгуститель с непрерывной разгрузкой песков в питающий чан фильтра. Сгущенная пульпа фильтровалась в прерывном цикле на фильтр-прессе, оснащенный плитами с выемками. Кек фильтра подавался конвейером в 200-литровый барабан для хранения и утилизации.

Цементация меди

Медь извлекалась из раствора с использованием цементации на железной стружке. Эта часть фабрики работала в прерывном режиме для того, чтобы обеспечить согласованность по производительности между циклом выщелачивания/нейтрализации и циклом цементации. Были задействованы два обычных последовательных цементационных конуса с возвратом цемента из второй колонны в первую колонну. Такое решение не предусматривалось на фабрике, построенной в Маунт-Айза, где вместо этого применялась цементация на медном концентрате. Это решение было обусловлено высокой стоимостью железной стружки в Маунт-Айза.

Нейтрализация стоков

Перед утилизацией рафинат из цикла ионного обмена нейтрализовался суспензией известняка и извести.



Рисунок 3. Чаны выщелачивания пилотной фабрики
3.3 ЭКСПЛУАТАЦИЯ ПИЛОТНОЙ ФАБРИКИ

Пилотная фабрика эксплуатировалась в течение 55 суток. Стадии окислительного выщелачивания и нейтрализации железа на пилотной фабрике в течение этого периода времени эксплуатировались непрерывно с достижением эксплуатационной готовности 96%. На пилотной фабрике было переработано примерно 1,5 тонны материала с производительностью по твердому 25 кг в сутки. Во время работы пилотной фабрики было получено около 210 кг цементной меди.

3.4 ПИТАНИЕ ПИЛОТНОЙ ФАБРИКИ

Пилотная фабрика была рассчитана на переработку пыли ЭСО и котельной пыли с медеплавильного завода в Маунт-Айза, а также низкосортного медного концентрата с обогатительной фабрики в Маунт-Айза. Фабрика перерабатывала различные смеси из трех исходных материалов для того, чтобы смоделировать прогнозируемые составы в течение первых лет эксплуатации. Перерабатываемый медный концентрат представлял собой смесь концентрата контрольной и перечистой операций, которая использовалась в качестве представительной для потока низкосортного концентрата, отводимого на фабрику выщелачивания в предстоящие годы.

Ниже приведен состав перерабатываемых материалов

Содержание - %	Пыль ЭСО	Котельная пыль	Низкосортный медный концентрат
Cu – общая	15,7	14,7	10,0
Cu – водорастворимая	9	6	2,0
Cu – растворимая в кислоте	24	8	1,9
Fe	12,9	16,4	22,2
Co	0,0406	0,0812	0,2000

S	7,2	9,1	22,7
As	4,28	0,091	0,20
Ca	8,88	4,68	0,60
CuFeS ₂	3,4	4,8	29
Cu ₂ S	2,4	2,1	2
CuS	2	2	
Cu ₅ FeS ₄	3,1	5,1	<2
CuO	9,5	8,5	
FeS ₂	2,2	3,1	30

Таблица 1. Состав питания пилотной фабрики

Смеси, используемые для моделирования состава питания будущей фабрики выщелачивания в Маунт-Айза, были следующими:

Продолжительность пилотных испытаний	% пыли ЭСО в питании	% котельной пыли в питании	% низкосортного медного концентрата в питании
17	100		
15	65	35	
7	45	25	30
16			100

Таблица 2. Состав смесей питания пилотной фабрики

3.5 РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ НА ПИЛОТНОЙ ФАБРИКЕ

3.5.1 Выщелачивание

Пилотная фабрика выщелачивания успешно проработала в течение восьми недель со средним весовым извлечением меди из всех исходных продуктов 92% при продолжительности выщелачивания 16-20 часов. Эффективность выщелачивания сильно не изменялась при изменении типа питания. Общее извлечение меди в раствор для объединенной смеси пыли ЭСО и котельной пыли составило 91% при измельчении до крупности 80% класса минус 55 микрон, и возможно, что при более тонком измельчении извлечение можно будет поднять до 95% или выше. Несмотря на это, в целях снижения капитальных затрат, измельчение пыли ЭСО не было предусмотрено на первой очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза.

Тонкоизмельченный концентрат хорошо подвергался выщелачиванию, как в сочетании с пылями плавильной печи, так и сам по себе. Среднее извлечение меди 97,5% было достигнуто из концентрата при температуре 82°C при подаче кислорода, с максимальным извлечением более 99,5%. При использовании воздуха вместо кислорода весовые извлечения из концентрата в раствор падали с 97,5% до 75%. Кислород будет использоваться на второй очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза.

Извлечение мышьяка в цикле выщелачивания обычно составляло 6% или меньше с переводом мышьяка из оксида мышьяка в преимущественно арсенат железа (скородит). Извлечение железа из питания в процессе выщелачивания было низким при максимальных значениях 12 – 15 %, достигаемых к концу выщелачивания. Первоначально мышьяк растворялся в цикле выщелачивания при извлечении более 70%, однако затем мышьяк в щелоче осаждался железом.

Средний расход кислоты при выщелачивании составлял 220 – 296 кг на тонну сухого питания при наивысшем расходе, наблюдавшемся для смеси пыли ЭСО и котельной пыли. Потребление кислоты значительно не изменялось для различных составов питания, испытанных на пилотной фабрике. В процессе эксплуатации пилотной фабрики было

обнаружено, что для предотвращения соосаждения меди и мышьяка в виде арсенита меди кислотность пульпы на выходе выщелачивания должна быть 8 г/л или выше. При проектировании первой очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза был заложен расход кислоты 250 кг на тонну пыли ЭСО.

Для использования в качестве гуммирующего покрытия чанов в циклах выщелачивания и нейтрализации хорошо зарекомендовали себя ЭПДМ, бутилкаучук и стеклопластик при величине коррозии/эрозии менее 0,1 мм в год. При проведении испытаний величины коррозии/эрозии для листовой стали марок SAF2205 и 316 были ниже пределов обнаружения, и оба материала были пригодными для изготовления корпуса чанов. В качестве материала для изготовления чанов в циклах выщелачивания и нейтрализации на фабрике выщелачивания в Маунт-Айза была принята мягкая сталь, гуммированная бутилкаучуком.

Данные по выщелачиванию всех смесей питания сведены в Таблицу 3.

3.5.2 Нейтрализация, сгущение и фильтрация

Продолжительность стадии нейтрализации составляла 8 – 10 часов, и системе было этого достаточно для достижения устойчивого состояния. Средний расход известняка на пилотной фабрике составлял 115 кг на тонну питания фабрики выщелачивания. Поскольку в конечном итоге для использования на фабрике выщелачивания в Маунт-Айза была выбрана известь, то пересчет на нее дал расход извести 80 кг/т, и фабрика выщелачивания в Маунт-Айза проектировалась на этой основе. Для промышленной фабрики был выбран проектный рабочий уровень pH на стадии нейтрализации 1,8 – 2,5 с эксплуатацией цикла нейтрализации при той же температуре, что и цикла выщелачивания.

Нейтрализованный остаток показал приемлемые характеристики осаждения и сгущения для всех испытанных смесей при достижении средней нагрузки на сгуститель 400 – 450 кг/ч на м². Удельные нагрузки при фильтрации изменялись в пределах 350 – 450 кг сухого питания в час на м² площади фильтра, и все остатки были приемлемыми для вакуумной фильтрации.

Для получения исходных данных для проектирования промышленной фабрики были также проведены испытания у поставщиков операций сгущения и фильтрации. Испытания по фильтрации были выполнены компанией Filtres Philippe, поставляющей фильтры для промышленной фабрики. Испытания по сгущению были выполнены компанией Outokumpu Technology, поставляющей на промышленную фабрику сгустители. Данные поставщиков, использованные при проектировании фабрики, составили:

$$\text{Удельная нагрузка на сгуститель} = 2,8 \text{ т} / \text{м}^2 \cdot \text{сутки}$$

$$\text{Удельная нагрузка на ленточный фильтр} = 750 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{ч}$$

Все пробы кека фильтра были приемлемыми для утилизации методом захоронения в соответствии с протоколом вымывания AS 4439.3, при величине подвижности любого металла в процессе вымывания менее 1 ppm. При использовании экстракции по методике USEPA TCLP для проб, полученных на ранней стадии пилотных испытаний, наблюдалась некоторая подвижность мышьяка с присутствием в экстракте всех остальных загрязнений на приемлемых уровнях. Пробы, полученные в течение последней половины времени испытаний, прошли испытания по методике TCLP. Все твердые осадки, полученные в результате нейтрализации оборотных растворов, прошли процедуры экстракции по методикам как AS 4439.3, так и USEPA TCLP.

3.5.3 Цементация

Поскольку цементация на железе не была выбрана для промышленной фабрики, подробности этого этапа здесь не приводятся. Обычно достигалось снижение концентрации меди до 300 ppm.

Процессом, выбранным для конечного извлечения меди на промышленной фабрике, была цементация на медных концентратах. Этот процесс, аналогичный активации пирита сульфатом меди при пенной флотации, имеет следующий общий химизм:



Кроме того, некоторое количество меди цементируется на халькопирите по реакции:



Этот процесс был испытан в пилотном масштабе на медной обогатительной фабрике в Маунт-Айза, а не как часть пилотных испытаний в лаборатории в г. Брисбен. Эта работа показала, что при добавлении сульфата меди в количестве 25,5 кг меди на тонну твердого концентрата может быть достигнут остаточный уровень содержания меди в жидкой фазе концентрата 5 ppm, что соответствует извлечению меди в процессе цементации более 99%. Время, необходимое для цементации меди, зависело от величины добавки. При величине добавки 25,5 кг/т извлечение меди 97% достигалось через 0,5 часа времени реакции, а извлечение меди 98% требовало 2 часов.

Поскольку медь замещает железо в концентрате, то повышение качества концентрата соответствует величине добавки. Типичная кривая кинетики цементации для текущего медного концентрата из Маунт-Айза показана на Рисунке 4.

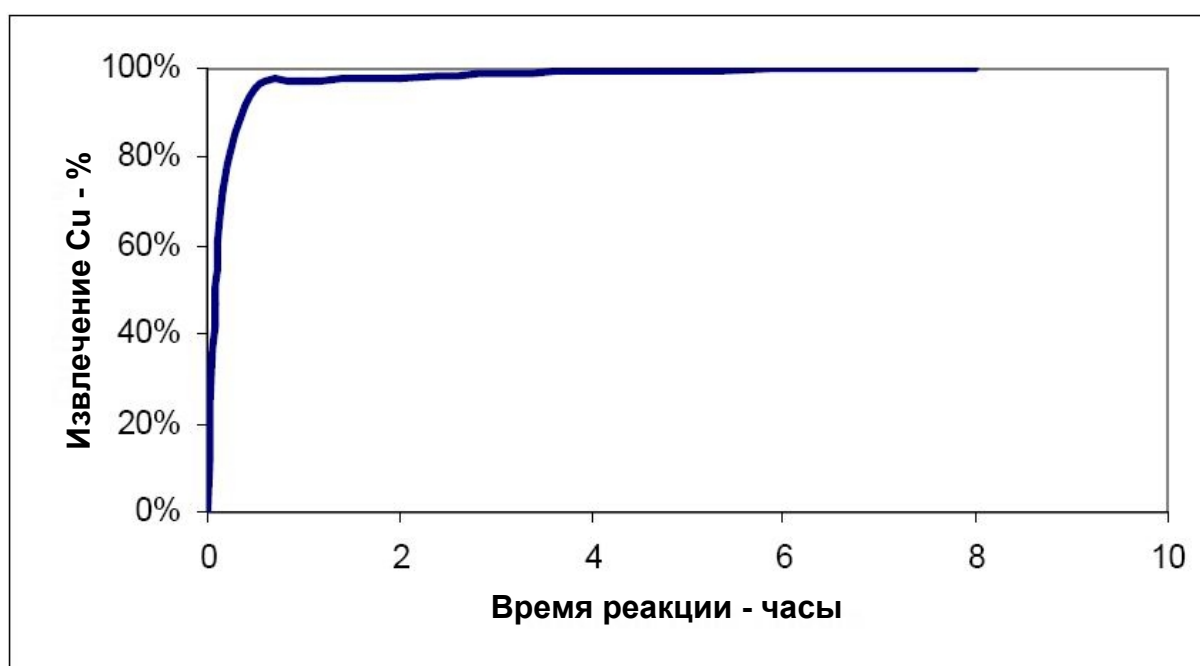


Рисунок 4. Извлечение меди в зависимости от времени реакции при цементации на концентрате

Таблица 3. Сводные данные по эксплуатации цикла выщелачивания пилотной фабрики

Параметр	Питание Пыль ЭСО, измельченная до 106 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 106 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 55 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 55 микрон, концентрат, измельченный до 8,34 микрон	Концентрат, измельченный до D80 = 8,34 микрон	Концентрат, измельченный до D80 = 4,35 микрон
Извлечение меди – среднее за всю серию, %	85,37	84,49	87,57	89,4	95,93	72
Извлечение меди – оптимум, %	90,5	88,9	91,5	93,5	97,5	75
Извлечение железа, %	12,4	12,8	15,2	15,4	10,36	38
Извлечение мышьяка – общее, %	5,88	6,12	6,2	3,1	2,6	н/а
Извлечение мышьяка – пиковое, %	22,3	20,5	21,6	18,5	5,4	н/а
Расход кислоты, кг/т	252	268	265	262	254	225
Остаточная концентрация кислоты, г/л	7	8	8	8	5	5
Остаточные содержания в растворе:						
Cu – г/л	14,5	14,6	14,4	15,5	11	7,5
Fe – г/л	1,43	1,42	1,42	1,8	2,7	9,5
As – г/л	0,24	0,24	0,25	0,17	0,09	0,10
Co – ppm	42	42	42	44	47	110
Рабочая температура, °C	63	63	63	82	82	63
* Расход воздуха – кг на тонну питания	251	254	254	-	-	258
* Расход кислорода – кг на тонну питания	-	-	-	100,4	100,4	-
Плотность пульпы при выщелачивании (чан 1)	9,4	9,4	9,4	10,4	10,4	10,4
Время выщелачивания, ч	26	26	26	26	26	26

* на основании данных РДА. Не скорректировано по эффективности поглощения.

Таблица 4. Сводные данные по эксплуатации цикла нейтрализации пилотной фабрики

Параметр	Питание Пыль ЭСО, измельченная до 106 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 106 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 55 микрон	Пыль ЭСО/котла, измельченная до 55 микрон, концентрат, измельченный до 8,34 микрон	Концентрат, измельченный до D80 = 8,34 микрон	Концентрат, измельченный до D80 = 4,35 микрон
Контроль pH	Стадия 1 = 1,6 Стадия 2 = 2,0	Стадия 1 = 1,8 Стадия 2 = 2,4	Стадия 1 = 2,0 Стадия 2 = 2,4	Стадия 1 = 1,7 Стадия 2 = 2,2	Стадия 1 = 1,8 Стадия 2 = 2,2-2,4	Стадия 1 = 1,6 Стадия 2 = 1,8
Потери меди, %	<3	<3	До 15	<3 при pH < 2,2	До 20% при pH > 2,2	<3
Остаточные содержания в растворе:						
Cu – г/л	14,2	14,2	14,4	14,1	10,2	7,5
Fe – г/л	0,65	0,58	0,58	0,52	0,65	2,6
As – ppm	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Co – ppm	42	41	41	44	110	52
H ₂ SO ₄ – г/л	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,5
Расход воздуха – кг на тонну пульпы	15	15	15	15	15	15
Расход известняка – кг на тонну питания	114	112	108	118	109	122
выщелачивания						
Рабочая температура, °C	65	65	65	82	82	84
Время пребывания, ч	7	7	7	7	7	7
Скорость осаждения пульпы – миним. поток, кг/м ² ·ч	355	445	275	205	145	140
Скорость вакуумной фильтрации пульпы, кг/м ² ·ч	440	450	420	412	32	24

4. ПРОЕКТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ФАБРИКИ

4.1 ОПИСАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ФАБРИКИ

Проект фабрики выщелачивания в Маунт-Айза был разделен на два этапа. Этап 1 предусматривает только переработку пылей плавильного завода с обеспечением серной кислотой за счет слабокислых продуктов с кислотного завода компании BHP Billiton и за счет оборотного электролита из цеха рафинирования меди Xstrata. Этап 2 добавит возможность переработки низкосортных медных концентратов за счет дополнительной установки мельницы IsaMill для измельчения питания цикла выщелачивания, а также подачи кислорода в чаны для выщелачивания. Таким образом, этап 1 не включает тонкое измельчение концентратов, а включает только группу чанов, достаточную для обеспечения продолжительности, требуемой для выщелачивания пылей плавильного производства. Будет оставлено место для последующей модернизации тонкого измельчения и дополнительных чанов, обеспечивающих дополнительное время пребывания при выщелачивании концентрата.

На первой очереди фабрики выщелачивания пыль ЭСО будет распульповываться слабым раствором кислоты с кислотного завода BHP Billiton в шламоотстойнике, расположенном в цоколе электростатического осадителя печи Isasmelt. Оттуда пульпа будет подаваться в цикл выщелачивания. Цикл выщелачивания будет состоять из одиночного чана объемом 100 м³, куда в пылевую пульпу будет добавляться оборотный электролит из цеха рафинирования меди Xstrata для извлечения всех окислов меди, железа и мышьяка.

Затем реакционная пульпа перекачивается во второй чан объемом 150 м³, куда добавляется суспензия известняка для осаждения железа и мышьяка из разгрузки цикла выщелачивания. Потом нейтрализованная пульпа будет перекачиваться в скоростной сгуститель диаметром 6 м с подачей песков сгустителя самотеком на горизонтальный ленточный фильтр площадью 10 м². Фильтрат и промывы с фильтра будут возвращаться в питание сгустителя.

Кек фильтра будет распульповываться технологической водой и подаваться в зумпф насоса перекачки хвостов для разбавления общих хвостов обогатительной фабрики. Слив сгустителя будет перекачиваться на медную обогатительную фабрику, где он будет контактировать с медным концентратом для цементации меди из раствора.

Ниже приводятся проектные параметры, используемые для проектирования и строительства первой очереди фабрики выщелачивания в Маунт-Айза.

4.2 ПРОЕКТНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОМЫШЛЕННОЙ ФАБРИКИ

Характеристики производства

Объем переработки по сухому твердому	т/год	27 200
Коэффициент готовности	%	90%
Часовая производительность по твердому	т/ч	3,45
Анализ плавильной пыли	Cu	17,3%
	Co	0,097%
	As	6,70%
	Fe	20,49%
	S	10,27%

Выщелачивание

Плотность пульпы при выщелачивании	весовой % твердого	6,4
Расход кислоты	кг на тонну твердого	270
Продолжительность	ч	3
Температура выщелачивания	°C	70
Количество чанов в цепочке		1
Тип агитатора		A310
Удельная мощность агитатора	кВт/м ³	0,25

Извлечение в щелок	Cu	70%
	Fe	77%
	As	10%
Анализ раствора после выщелачивания	Cu	10,9 г/л
	Co	0,04 г/л
	As	5,1 г/л
	Fe	2,85 г/л
	H ₂ SO ₄	3,0 г/л
	pH	0,8-1,0

Нейтрализация

Расход кислорода	кг на м ³ пульпы	0,41
Плотность пульпы на выходе нейтрализации	весовой % твердого	7,4
Расход извести	кг на тонну питания	168
Продолжительность	ч	3,0
Рабочая температура	°C	70
Количество чанов в цепочке		1
Тип агитатора		A315
Удельная мощность агитатора	кВт/м ³	0,45
% осаждения	Cu	5
	As	98
	Fe	98
Анализ раствора после нейтрализации	Cu	9,6 г/л
	As	0,1 г/л
	Fe	0,05 г/л
	H ₂ SO ₄	0,03 г/л
	pH	2,2-2,4

Сгущение

Тип сгустителя		Скоростной
Плотность твердого	г/см ³	3,2
Скорость осаждения	м/ч	1,9
Удельная площадь сгущения	т/м ² ·сут	2,8
Плотность пульпы питания	весовой % твердого	7,4
Плотность пульпы песков	весовой % твердого	32
Расход флокулянта	г на тонну питания	72
Чистота слива	ppm	<150

Фильтрация

Тип фильтра		Горизонтальный вакуумный ленточный
Плотность пульпы питания фильтра	весовой % твердого	32
Скорость фильтрации	кг/м ² ·ч	750
Влажность кека	весовой % влаги	45
Толщина кека	мм	15
Степень промывки	замещения	1,0
Число стадий промывки		3
Эффективность промывки (общая)	%	98,4 (при остатке 1,9 м ³ /т)
Плотность пульпы – распульпованный кек	весовой % твердого	7,0

Цементация на концентрате

Плотность пульпы концентрата	весовой % твердого	34
% Cu в концентрате перед цементацией	% Cu	25
% Cu в концентрате после цементации	% Cu	25,25
Концентрация Cu в растворе после цементации	ppm Cu	6-10

4.3 ОБОРУДОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ ФАБРИКИ

Ниже перечислены различные типы оборудования, установленного на промышленной фабрике. На Рисунке 5 показана трехмерная планировка фабрики. Технологическая схема фабрики приведена на Рисунке 6.

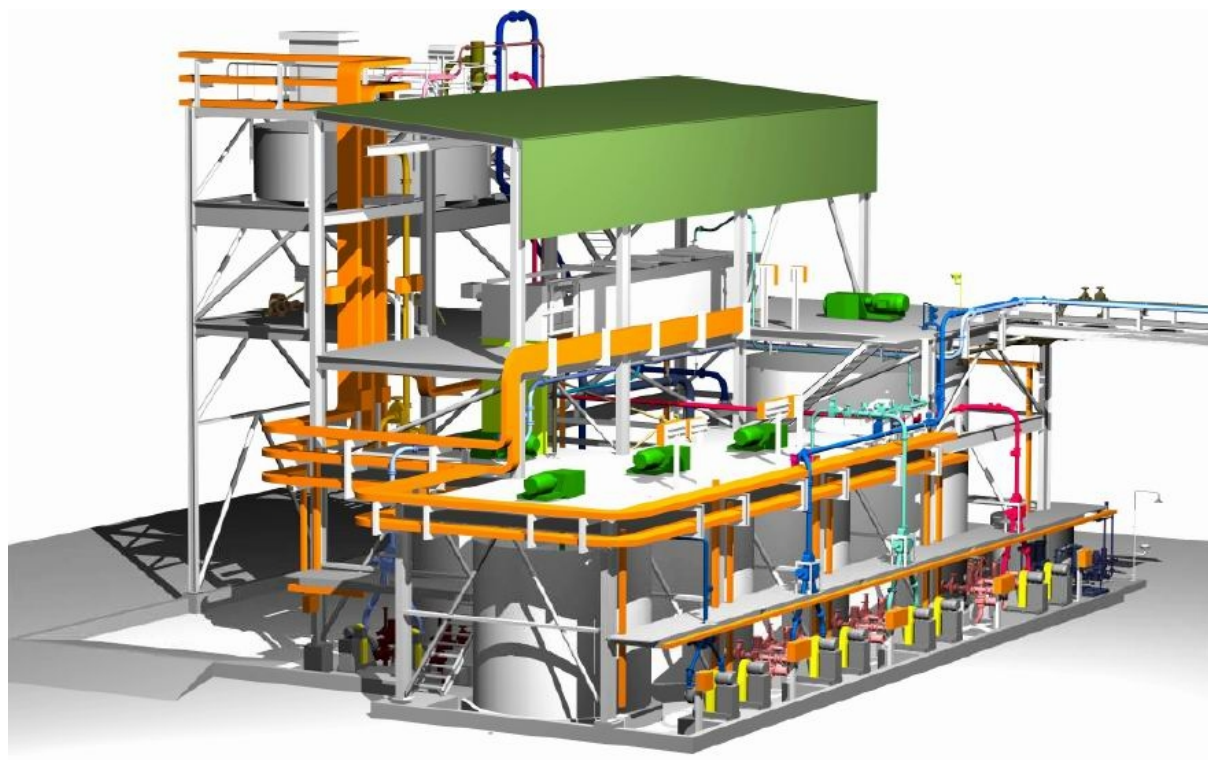


Рисунок 5. Трехмерная планировка фабрики

Подготовка питания

Чан распульпования. Агитационный чан RLMS объемом 15 м³.

Выщелачивание

Чан выщелачивания. 1 агитационный чан RLMS объемом 100 м³. Возможность установки 3 дополнительных чанов на этапе 2.

Нейтрализация

Чан нейтрализации. 1 агитационный чан RLMS объемом 150 м³. Возможность установки 3 дополнительных чанов на этапе 2.

Сгущение и фильтрация

Сгуститель. Скоростной сгуститель Outokumpu Supaflo диаметром 6 м.

Чан питания фильтра. Агитационный чан RLMS объемом 40 м³.

Фильтр. Горизонтальный ленточный вакуум-фильтр Delkor площадью 10 м².

Цементация меди на концентрате

Раствор перекачивается в существующий зумпф подачи конечного медного концентрата.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование низкосортных кислотных потоков из Маунт-Айза для извлечения меди и мышьяка из пылей плавильного производства было успешно испытано в пилотном масштабе. Результаты программы пилотных испытаний были использованы для проектирования и строительства фабрики выщелачивания плавильной пыли в Маунт-Айза. Завершена механическая пуско-наладка этой фабрики и в настоящее время осуществляется ее ввод в эксплуатацию. Фабрика выйдет на полную производительность к июню 2006 г. с извлечением из пыли 3000 – 3500 тонн меди в год и выделением из пыли более 700 тонн в год мышьяка с отправкой его в хвостохранилище Маунт-Айза.

Успешно испытан цикл извлечения железа в виде гетита для выделения из медного раствора мышьяка в форме арсената железа с минимальными потерями меди. Во время проведения пилотных испытаний осадки железа имели отличные показатели сгущаемости и фильтруемости. Начало пуско-наладки фабрики выщелачивания пылей плавильного производства в Маунт-Айза подтвердило проектные параметры сгущаемости и фильтруемости богатого по мышьяку железного осадка.

В пилотном масштабе была успешно испытана Технология Альбион компании Xstrata для извлечения более 99% меди из плавильных пылей и халькопиритных концентратов. Результаты программы пилотных испытаний будут использованы для проектирования и строительства цикла выщелачивания по Технологии Альбион как части расширения фабрики выщелачивания плавильных пылей в Маунт-Айза. Строительство фабрики по Технологии Альбион планируется на 2007 г.

Осаждение мышьяка из растворов от выщелачивания в форме арсената железа будет обеспечивать приемлемость конечного хвостового остатка для утилизации в хвостохранилище Маунт-Айза. Осаждение арсената железа потребует добавления цикла выщелачивания по Технологии Альбион в схему фабрики выщелачивания плавильных пылей для обеспечения поступления дополнительного железа и дальнейшего повышения стабильности мышьяковистого осадка.

Извлечение меди путем цементации на имеющихся медных концентратах представляет собой очень дешевый метод возвращения меди в цикл плавки. Эта технология была успешно испытана при полномасштабных испытаниях на месте и была успешно интегрирована в схему фабрики выщелачивания плавильной пыли в Маунт-Айза.

