

Руководство по охране окружающей среды, здоровья и труда для выплавки и рафинирования цветных металлов

Введение

Руководства по охране окружающей среды, здоровья и труда (ОСЗТ) представляют собой технические справочники, содержащие примеры надлежащей международной отраслевой практики (НМОП)¹ как общего характера, так и относящиеся к конкретным отраслям. Если в реализации проекта участвует один член Группы организаций Всемирного банка или более, применение настоящего Руководства осуществляется в соответствии с принятыми в этих странах стандартами и политикой. Такие Руководства по ОСЗТ для различных отраслей промышленности следует применять в сочетании с **Общим руководством по ОСЗТ** – документом, в котором пользователи могут найти указания по общим вопросам ОСЗТ, потенциально применимым ко всем отраслям промышленности. При осуществлении комплексных проектов может возникнуть необходимость в использовании нескольких Руководств, касающихся различных отраслей промышленности. С полным перечнем Руководств для отраслей промышленности можно ознакомиться по адресу:

<http://www.ifc.org/ifcext/sustainability.nsf/Content/EnvironmentalGuidelines>.

В Руководствах по ОСЗТ приводятся такие уровни и параметры эффективности, которые, как правило, считаются достижимыми на вновь введенных в эксплуатацию объектах при современном уровне технологии и приемлемых затратах. Применение положений Руководств по ОСЗТ к уже существующим объектам может потребовать разработки особых целевых показателей для каждого объекта и соответствующего графика их достижения.

Применение Руководства по ОСЗТ следует увязывать с факторами опасности и риска, определенными для каждого проекта на основе результатов экологической оценки, в ходе которой принимаются во внимание конкретные для каждого объекта переменные, такие как особенности страны реализации проекта, ассимилирующая способность окружающей среды и прочие факторы, связанные с намечаемой деятельностью. Порядок применения конкретных технических рекомендаций следует разрабатывать на основе экспертного мнения квалифицированных и опытных специалистов.

Если нормативные акты в стране реализации проекта предусматривают уровни и параметры, отличные от содержащихся в Руководствах по ОСЗТ, то при реализации проекта надлежит в каждом случае руководствоваться более жестким из имеющихся вариантов. Если в силу особых условий реализации конкретного проекта

¹ Определяется как применение профессиональных навыков и проявление старательности, благоразумия и предусмотрительности, чего следует с достаточным на то основанием ожидать от квалифицированного и опытного специалиста, занятого аналогичным видом деятельности в таких же или сходных условиях в любом регионе мира. При оценке применяемых в ходе реализации проекта способов предупреждения и предотвращения загрязнения окружающей среды квалифицированный и опытный специалист может выявить обстоятельства, такие, например, как различные уровни экологической деградации и ассимилирующей способности окружающей среды, а также различные уровни финансовой и технической осуществимости.

целесообразно применение менее жестких уровней или параметров, нежели те, что представлены в настоящем Руководстве по ОСЗТ, в рамках экологической оценки по конкретному объекту надлежит представить подробное и исчерпывающее обоснование любых предлагаемых альтернатив. Такое обоснование должно продемонстрировать, что выбор любого из альтернативных уровней результативности обеспечит охрану здоровья населения и окружающей среды.

Применение

Руководство по ОСЗТ по выплавке и рафинированию содержит информацию, относящуюся к выплавке и рафинированию цветных металлов – свинца, цинка, меди, никеля и алюминия. В нем не рассматриваются добыча и обогащение руды, которые освещены в Руководстве ОСЗТ по горному делу. В Приложении А приведено описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли.

Настоящий документ состоит из следующих разделов:

Раздел 1.0	–	Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними
Раздел 2.0	–	Показатели эффективности и мониторинг
Раздел 3.0	–	Справочная литература и дополнительные источники информации
Приложение А	–	Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

1.0 Характерные для отрасли виды неблагоприятного воздействия и борьба с ними

В данном разделе приводится обзор проблем ОСЗТ, связанных с выплавкой и рафинированием цветных металлов, которые обычно возникают на этапе эксплуатации, в нем также даны рекомендации по их решению. Рекомендации по решению проблем ОСЗТ, общих для большинства крупных промышленных предприятий на этапах строительства, эксплуатации и вывода из эксплуатации, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

1.1 Охрана окружающей среды

Существенными аспектами воздействия на окружающую среду при выплавке и рафинировании на этапе эксплуатации предприятия являются:

- выбросы в атмосферу;
- сточные воды;
- опасные материалы;
- хвосты (твердые остатки) и отходы;
- шум.

Выбросы в атмосферу

Твердые частицы²

Выбросы твердых частиц (которые могут содержать металлы) могут происходить из неорганизованных и

² Твердые частицы (пыль) классифицируют как общее содержание твердых частиц, имеющих верхний предел размеров 100 мкм (ТРМ), твердых частиц с размерами менее 10 мкм (PM10) и твердых частиц с размерами менее 2,5 мкм (PM2,5). Воздействие твердых частиц зависит от размера и природы частиц (например, твердые частицы класса PM_{2,5} легче попадают в легкие в процессе дыхания), их относительной растворимости, концентрации и токсичности веществ, содержащихся в твердых частицах.

стационарных источников загрязнений, включая получение, обработку, транспортировку (например, с помощью конвейеров и автотранспорта) и хранение (например, в штабелях вне помещений) руд, концентратов и вторичного сырья, из горячих газов во время пирометаллургической обработки (например, при спекании, плавлении, обжиге и конвертировании), во время выщелачивания (например, при обработке сухого материала, фильтрации, хранении остатков выщелачивания), во время огневого рафинирования (например, при обработке в печи и перемещении горячих материалов), во время сбора и транспортировки содержимого систем очистки газовых выбросов (например, пылеуловительных камер с тканевыми фильтрами), во время плавления и литья (например, при работе с расплавленным металлом и шлаками). Неорганизованные выбросы в атмосферу могут превышать по объему собираемые и очищаемые выбросы, поэтому особенно важно осуществлять контроль неорганизованных выбросов.

Меры предотвращения и контроля выбросов твердых примесей включают следующее:

- оценка всех загружаемых материалов на предмет потенциального уменьшения рисков;
- хранение пылеобразующих материалов в закрытых сооружениях или в контейнерах и перемещение их с помощью пневматических или закрытых систем конвейеров. Использование только крытых транспортных средств;
- снижение объема транспортируемых материалов и расстояний транспортировки путем эффективного размещения и проектирования участков предприятия;
- по возможности, снижение объемов отходящих газов (например, путем использования технологии плавки с кислородным дутьем);
- по возможности, обеспечение работы в непрерывном режиме и обеспечение соответствия системы контроля воздействия на окружающую среду для оптимизации бесперебойной постоянной работы³;
- использование герметичных печей и реакторов, работающих под пониженным давлением, или модернизация существующих печей для обеспечения максимальной герметизации (например, использование "четвертого отверстия" в крыше электродуговой печи для максимально эффективного отвода технологических газов);
- установка кожухов или емкостей или использование вытяжных колпаков для сбора выбросов из технологических аппаратов, с точек подачи материалов и пунктов разгрузки и с конвейерных систем;
- использование герметизированных систем или систем с вытяжными колпаками во время перемещения материалов, например введение добавки материала в электрод, введение материалов через фурмы или кислородные фурмы и использование надежных в эксплуатации барабанных питателей клапанов в системах подачи;
- использование шиберного дроссельного регулирования, которое автоматически изменяет точки отбора дыма во время различных стадий процесса для отбора с конкретного источника дымов, сводя к минимуму расход энергии. Отбор дымов с помощью вентилятора, монтируемого на крыше здания, должен использоваться только как крайняя мера из-за высокого потребления энергии и пониженного коэффициента пылеулавливания;

³ Например, при конвертерных процессах, которые используются в системах непрерывной плавки/конвертирования во взвешенном состоянии компаний Mitsubishi и Outokumpu/Kennecott, не требуется перемещение ковша, поэтому этот источник вторичных дымов отсутствует.

- снижение выбросов твердых частиц с использованием электростатических приборов для осаждения пыли, пылеуловителей с рукавными фильтрами, скрубберов или циклонов, которые пригодны по характеристикам потока отходящих газов (например, при учете температуры и класса крупности твердых частиц)⁴;
- использование пылесборных колпаков, вентиляционных каналов и системы фильтрования для сохранения эффективности или извлечения на расчетном уровне;
- использование покрытий для грузов, перевозимых всеми транспортными средствами, и использование

⁴ Следующая информация приводится из материалов Европейской комиссии (2001). Справочный документ содержит описание наилучших методов (BREF) для производств цветных металлов: Системы тканевых фильтров широко используются в данной отрасли промышленности из-за высокой эффективности при улавливании мелких твердых частиц, которые образуются при операциях плавки. Из-за того, что эти фильтры могут забиваться, и из-за их воспламеняемости они не подходят для всех устройств и ситуаций. Камеры осаждения и охлаждения, а также котлы-утилизаторы используются перед пылеуловительными камерами с тканевыми фильтрами для уменьшения вероятности возникновения пожара, обработки частиц и рекуперирования тепла отходящих газов перед обеспыливанием. Электростатические осадители также широко используются в этой отрасли, они могут работать в широком диапазоне температур, давлений и пылевых нагрузок. Они не особенно чувствительны к размеру частиц и собирают пыль во влажных и в сухих условиях. Они обладают коррозионной и абразивной стойкостью. Однако электростатические осадители обычно не способны обеспечить столь же низкие концентрации пыли на выходе, как тканевые фильтры. Электростатические осадители для влажных газов необходимы для очистки влажных насыщенных газов с высоким содержанием твердых частиц (например, при производстве первичного цинка и меди отходящие газы, которые содержат пыль и диоксид серы, очищаются с помощью скруббера и электростатического осадителя для влажных газов). Пылеуловители для влажных газов также используются для сбора тумана смол в отходящих газах из печи для обжига электродов. Каскад мокрых скрубберов часто используют для обеспыливания богатых монооксидом углерода отходящих газов от герметичных электродуговых печей; этот газ используется как газ с высокой теплотворной способностью. Его также используют для обработки газов, отходящих от стальной ленты агломерационной машины, которые содержат очень абразивную пыль, но после небольшого смачивания и использования скруббера удается охладить газ и одновременно удалить из него пыль. Обычно циклоны не являются подходящими устройствами для управления выбросами непосредственно из процессов в данной отрасли промышленности. Эффективность сбора тонкодисперсной пыли слишком низка, чтобы эффективно обрабатывать выбросы из печи. Опыт эксплуатации показывает, что они не способны удовлетворить требованиям современных стандартов на выбросы. Однако циклоны эффективно используются в качестве первичных пылеуловителей, применяемых совместно с другим оборудованием, особенно на крупных производствах, где производственная мощность может изменяться.

кожухов для оборудования хранения и технологического оборудования;

- использование программы смачивания водой для сведения к минимуму аэрогенных выбросов твердых частиц от дорог, штабелей и других источников, расположенных на объекте;
- поддержание общей чистоты и порядка, а также обеспечение мойки транспортных средств, чтобы предотвратить миграцию материалов внутри объекта и за его пределы.

Металлы

В дополнение к основным цветным металлам переплавляемые материалы могут содержать незначительное количество других металлов (например, алюминия, мышьяка, сурьмы, висмута, кадмия, хрома, меди, германия, золота, индия, свинца, ртути, никеля, селена, серебра, таллия, олова и цинка).

Выбросы металлов в различных формах и соединениях, которые могут стать загрязняющими примесями в твердых частицах, тумане, дыму или в жидкостях, могут происходить на всех этапах производства, в том числе во время пирометаллургической обработки (например, большие объемы горячих газов, содержащие твердые частицы и металлосодержащие дымы, образуются при агломерации, выплавке, обжиге и конвертировании); при пирометаллургическом рафинировании (например, тонкие твердые частицы, металлосодержащие дымы образуются во время обработки в печи и при перемещении горячих материалов), во время электролитического рафинирования (например, выбросы кислотного тумана из растворов электролитов), во время плавления и литья (например, выбросы металлосодержащих дымов от расплавленного металла и при обработке шлаков, а также твердых частиц

от рукавных фильтров). Возможная степень воздействия этих металлов на окружающую среду зависит от их формы, токсичности и концентрации⁵.

Эмиссию металлов снижают, используя ряд мер по снижению выбросов твердых частиц.

Ртуть. Особое внимание следует обратить на выбросы металлов, которые образуются в тех процессах выплавки и рафинирования, в которых существует возможность выделения ртути. В то время как большинство потоков отходящих газов, содержащих металлы, можно эффективно снижать при использовании тех же средств удаления загрязнения, что и для твердых частиц, ртуть остается в виде пара при температуре окружающей среды и не улавливается пылеулавливающим оборудованием. Важно значительно охладить газ, поступающий в систему улавливания твердых частиц, чтобы гарантировать достаточную степень улавливания ртути, или использовать фильтры из активированного угля для поглощения ртути методом адсорбции⁶.

Диоксид серы

Диоксид серы (SO₂) образуется при сгорании топлива, получаемого из полезных ископаемых, и при обжиге, спекании, выплавке, конвертировании или рафинировании концентратов сульфидов металлов. Концентрация SO₂ в потоках отходящего газа является важной характеристикой для управления выбросами SO₂. Если концентрация SO₂ в

исходном потоке газов превышает 5–7%, то возможно получение из него серной кислоты. При более низкой концентрации SO₂ в потоках газов необходимо использовать сырье, содержащее меньшее количество серы, или применять тот или иной скруббер для связывания серы и сведения к минимуму выбросов SO₂ в атмосферу, чтобы обеспечить надлежащие показатели концентрации в окружающем воздухе. При использовании процессов плавки с кислородным дутьем уменьшается объем отходящих газов и повышается концентрация SO₂, что приводит к повышению коэффициента нейтрализации отходящих газов и снижению выбросов при более малом их объеме.

Меры предотвращения выбросов диоксида серы и их контроля включают следующее:

- обработка (связывание) серы для безопасного хранения и/или использование в качестве продукта (например, в виде серной кислоты, жидкого диоксида серы, минерального удобрения и элементарной серы);
- выбор надлежащей технологии для снижения объема выброса газов и повышения концентрации SO₂⁷;
- внедрение системы управления производственным процессом для обеспечения непрерывности работы;
- использование технологий очистки газов в скрубберах, которые удаляют SO₂ из потоков газов, имеющих низкие концентрации диоксида серы;

⁵ European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries (Европейская комиссия (2001). Справочный документ по наилучшим имеющимся методам при производстве цветных металлов).

⁶ Более подробная информация по технологиям и методам контроля выбросов ртути в дополнение к управлению остаточными веществами (например, дихлоридом ртути или каломелью с помощью системы контроля и учета ртути Boliden/Norzink и Outokumpu) представлена в документе European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries, pg 135.

⁷ Используют два основных процесса выплавки: плавку в ванне и плавку во взвешенном состоянии. В процессе плавки во взвешенном состоянии используют обогащение кислородом для обеспечения автотермического (автогенного) или почти автотермического режима работы. В процессах плавки в ванне обычно используют более низкую степень обогащения кислородом. При использовании кислорода увеличивается концентрация диоксида серы, что повышает эффективность улавливания газа с помощью одной из систем восстановления серы (обычно для производства серной кислоты или жидкого диоксида серы). European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries.

- герметизация технологического оборудования и емкостей для предотвращения поступления в атмосферу неорганизованных выбросов;
- использование предварительной обработки (например, флотации) для удаления нежелательных сульфидов и уменьшения содержания серы в сырьевых материалах;
- использование топлива с низким содержанием серы (например, природного газа вместо тяжелого дизельного топлива или кокса).

Оксиды азота

Выбросы NO_x прежде всего связаны со сгоранием топлива (например, угля при выплавке и природного газа при пирометаллургическом рафинировании). NO_x могут образовываться из азотосодержащих соединений, которые присутствуют в топливе или концентратах, а также при термическом формировании NO_x. Кроме того, при производстве алюминия NO_x образуются во время электролиза из-за присутствия азота в анодах.

- Сведение к минимуму образования NO_x путем использования газовых горелок с низким содержанием NO_x и ступенчатого сжигания в камере сгорания в печах пирометаллургического рафинирования и других устройствах, в которых используется сгорание.
- Очистка газов, получаемых при обжиге руды, для удаления NO_x (например, используя окисляющий скруббер) при высоких уровнях NO_x для повышения качества и удобства использования серной кислоты, произведенной из содержащих SO₂ отходящих газов.
- Использование кислороднотопливных горелок может привести к снижению образования NO_x. При использовании обогащения кислородом необходимо рассмотреть возможность подачи кислорода в горелку снизу, если более высокие температуры в случае

использования чистого кислорода в горелке приводят к дополнительному образованию NO_x.

Диоксины и фураны

Полихлордифениловые дибензодиоксины (ПХДД) и дибензофураны (ПХДФ) могут образовываться при производстве металлов (например, при пирометаллургическом рафинировании), особенно при производстве из вторичного сырья или в процессах, которые требуют хлорирования. Загрязнения металлического лома могут привести к образованию ПХДД/ПХДФ при неполном сгорании или синтезе *de novo*⁸.

Меры по предотвращению формирования диоксинов и фуранов и их контролю включают следующее:

- сортировка металлического лома с целью устранения или сведения к минимуму присутствующих органических материалов (например, пластмасс и древесины) перед операциями сжигания и/или нагрева металлического лома;
- внедрение правил эксплуатации и обслуживания печей и прочего сжигающего оборудования, чтобы гарантировать эффективное сжигание при требуемых температурах, а также время нахождения в печи для разрушения диоксинов и исключения их повторного образования при охлаждении газов;
- рассмотрение возможности использования активированного угля в реакторе с неподвижным слоем

⁸ Присутствие масел и других органических материалов в металлическом ломе или наличие других источников углерода (частично сожженное топливо и восстановители, такие, как кокс) может привести к образованию мелких частиц углерода, которые реагируют с неорганическими хлоридами или с органическими хлорсодержащими веществами в диапазоне температур 250–500°C с образованием диоксинов. Этот процесс называется синтезом *de novo*, он катализируется в присутствии металлов, таких как медь или железо. European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries.

или в реакторе с подвижным слоем либо при введении его в поток газов и последующего удаления пыли с фильтров.

Летучие органические соединения

Летучие органические соединения (ЛОС) образуются при неполном сгорании и во время таких операций, как обезжиривание, жидкостная экстракция и при вентиляции емкостей, используемых для хранения растворителей и топлива. Кроме того, ЛОС могут выделяться при выплавке и рафинировании вторичных металлов, если загружаемые материалы содержат органические соединения.

Рекомендуемые меры предотвращения, сведения к минимуму и контроля за выбросами ЛОС включают:

- использование растворителей на водной основе, если это возможно, или использование наименее токсичных растворителей;
- ограничение выбросов (например, при помощи герметизированного оборудования или вытяжных колпаков);
- использование мешалок/отстойников, которые сводят к минимуму контакт с воздухом, чтобы свести к минимуму испарение ЛОС;
- снижение выбросов ЛОС с использованием установок дожигания, скрубберов, биологических фильтров или установок биологической очистки, загряздающих фильтров с активированным углем или систем холодильник/конденсатор, например, в зависимости от состава потока газов;
- использование обратной закачки вытесняемых газов в грузовой автомобиль при заливке растворителей или топлива в емкости, и использование автоматической вторичной герметизации соединительных элементов для предотвращения пролива жидкостей.

Кислотный туман и арсин

При выделении металлов электролизом и при других процессах, таких как автоклавное выщелачивание и производство серной кислоты, возможно образование кислотного тумана, содержащего растворимые металлы. Кроме того, кислотный туман может образовываться при разрушении свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. Газообразный арсин может образовываться при смешивании некоторых металлических микроэлементов и кислот (например, при выщелачивании). Кислотный туман образуется в электролизных ваннах при реакциях, протекающих при электролизе металлов, а также при аэрации или энергичном перемешивании и/или при химических реакциях во вспомогательных процессах и/или при открытом каплепадении жидкостей.

Меры по предотвращению и снижению образования кислотного тумана и выбросов арсина включают следующее:

- мониторинг параметров производственных процессов с целью уменьшения и/или устранения условий нарушения технологических режимов;
- установка вытяжных колпаков над емкостями, поддержание требуемого слоя пены на поверхности раствора электролита и очистка отходящих газов и тумана с использованием соответствующей аппаратуры для уменьшения выбросов (например, скрубберов);
- использование блоков фильтров и фильтров цилиндрической формы из пористых материалов для снижения выбросов кислотного тумана из установок, в которых используется серная кислота;
- сбор и обработка кислотного тумана, образовавшегося при измельчении разрушенных свинцово-кислотных

аккумуляторных батарей (например, используя мокрые скрубберы или масляные фильтры).

Монооксид углерода

При некоторых пирометаллургических процессах (при производстве ферросплавов путем термического восстановления углем в дуговой электропечи с закрытой дугой) в отходящих газах образуется много монооксида углерода в качестве побочного продукта. Количество CO изменяется в широких пределах в зависимости от металла и производственных процессов. Меры по контролю и сведению к минимуму выбросов CO включают сбор и очистку газов, содержащих большое количество CO (например, с помощью каскадного мокрого скруббера), и использование или продажу этого газа в качестве топлива. CO может также образовываться при неполном сгорании и при выплавке и очистке вторичного сырья, содержащего органические материалы. Контроль CO из этих источников аналогичен контролю ЛОС, описание которого приведено выше.

Парниковые газы (ПГ)

Диоксид углерода (CO₂). Диоксид углерода образуется в значительных количествах во время операций выплавки и рафинирования⁹. Основные источники диоксида углерода включают в себя плавление концентратов, прямое сжигание ископаемого топлива для получения энергии и нагрева и косвенные выбросы от использования ископаемого топлива для выработки электрической энергии для работы установок (например, для электролиза при выплавке алюминия). Дополнительные косвенные источники

⁹ Диоксид углерода образуется также при производстве алюминия в процессе электролиза в результате реакции угольного анода с кислородом, образовавшемся при электролизе, и вторичной реакции с воздухом. Количество этих выбросов, однако, значительно меньше выбросов CO₂, образовавшегося при сгорании ископаемого топлива, которое используется для производства электрической энергии, необходимой для электролиза.

формирования парниковых газов в данной отрасли промышленности связаны с использованием химических веществ, высвобождающих значительное количество парниковых газов при производстве вне объекта. Возможности сокращения образования парниковых газов тесно связаны с мерами, направленными на повышение энергоэффективности и снижение потребления энергии; эти меры рассмотрены ниже в разделе "Потребление энергии и энергоэффективность". Дополнительные рекомендации по контролю за парниковыми газами рассматриваются в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Перфторуглероды (только при производстве алюминия)^{10, 11}. Два перфторуглерода (ПФУ) – тетрафторметан (CF₄) и гексафторэтан (C₂F₆) – образуются при анодных эффектах в электролитах (то есть при временном несоответствии скорости подачи сырья и скорости производства алюминия) на этапе производства алюминия; образовавшиеся ПФУ невозможно удалить из потока газов, используя существующую технологию.

¹⁰ В число шести ПГ, выброс которых должен уменьшаться согласно Киотскому протоколу, входят два перфторуглерода (ПФУ), а именно, тетрафторметан (CF₄) и гексафторэтан (C₂F₆), которые являются побочными продуктами при выплавке алюминия. Потенциал глобального потепления (GWP) представляет собой метод определения относительного вклада каждого парникового газа в нагревание атмосферы. Параметр GWP можно рассчитать для заданного периода времени (например, 20–500 лет) и для данных уровней концентрации ПГ (например, текущей концентрации). Учитываются как прямое влияние, так и косвенные воздействия. Косвенные воздействия включают изменения химии атмосферы, например формирование озона, и изменения водяного пара в стратосфере. CO₂ присвоено значение параметра GWP, равное 1, с ним сравнивают все другие ПГ. GWP тетрафторметана (CF₄) в 6500 раз больше, чем у CO₂ (при расчете для срока 100 лет), а у гексафторэтана (C₂F₆) в 9200 раз больше, чем у CO₂ (при расчете для срока 100 лет). Рамочная конвенция ООН по изменению климата.

¹¹ International Aluminum Institute. Greenhouse Gas Protocol: Greenhouse gas emission monitoring and reporting by the aluminum industry, October, 2006. (Международный институт алюминия. Протокол по газам, вызывающим парниковый эффект: мониторинг выбросов газов, вызывающих парниковый эффект, и отчеты по отрасли производства алюминия, октябрь 2006 г.) Доступно по адресу: www.world-aluminium.org/environment/climate/ghg_protocol.pdf.

Анодные эффекты в электролитах возникают, когда содержание окиси алюминия в электролите падает ниже 1-2%, что приводит к образованию газовой пленки на электроде. Формирование пленки на аноде приводит к прекращению получения металла, а напряжение на электролизере повышается с 4–5 вольт до 8–50 вольт. Образование ПФУ зависит от частоты и продолжительности анодных эффектов¹².

Меры борьбы с выбросами перфторуглеродов (и сокращения общих выбросов парниковых газов) включают следующее¹³:

- расширение использования переработанного алюминия (при использовании переработанного алюминия требуется значительно меньше энергии, чем при первичном производстве);
- повышение эффективности использования электроэнергии;
- уменьшение анодных эффектов, которые вызывают образование перфторуглеродов:
 - контроль анодных эффектов путем регулирования напряжения на электролизере и добавления оксида алюминия;
 - использование полунепрерывной точечной загрузки оксида алюминия в сочетании с управлением производственным процессом;
- изменение технологии восстановления с целью сведения к минимуму использования органических видов топлива¹⁴.

Потребление энергии и энергоэффективность. Установки по выплавке и очистке требуют огромного количества энергии, особенно энергии топлива, которая используется для сушки, нагрева, выплавки, возгонки, плавления и транспортировки, а также электрической энергии, используемой при электролизе и для приведения в действие устройств и оборудования. В **Общем руководстве по ОСЗТ** содержатся руководящие указания по повышению эффективности использования энергии. Приведенные ниже рекомендации относятся к данной отрасли промышленности:

- оценка альтернативных технологий выплавки и обработки с целью оптимизации использования энергии (например, для плавки во взвешенном состоянии требуется примерно вдвое меньше энергии, чем при обычной доменной плавке, а при использовании переработанного алюминия обычно требуется значительно меньше энергии, чем при первичном производстве);
- использование технологий рекуперации тепла и энергии с целью максимального повышения коэффициента использования энергии (например, с помощью котлов-утилизаторов, теплообменников, паровых приводов)¹⁵, например, от газов, образовавшихся в пирометаллургических процессах. Для различных установок применяют различные методы рекуперации тепла, например использование обогащенного кислородом воздуха с целью уменьшения потребления энергии; использование

¹² European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries. (Европейская Комиссия (2001). Справочный документ по наилучшим имеющимся технологиям при производстве цветных металлов).

¹³ International Aluminum Institute. "PFC Emissions: A Decade of Progress". (Международный институт алюминия. "Выбросы ПФУ: Десятилетие прогресса") <http://www.world-aluminium.org/environment/climate/index.html>.

¹⁴ Технологии электролизного производства, в которых не используется углерод, в настоящее время находятся на опытной стадии разработки.

¹⁵ Подробное руководство по повышению эффективности использования энергии при плавке предоставляет European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries (Европейская комиссия (2001). Справочный документ по наилучшим имеющимся технологиям при производстве цветных металлов).

паровых котлов с целью утилизации тепла горячих газов, образовавшихся при выплавке или при обжиге, а также использование тепла, выделившегося в процессах выплавки и очистки, для плавления вторичных материалов.

Карбонил никеля (только при производстве никеля)

Производство карбонила никеля является промежуточным этапом производства рафинированного никеля. В зависимости от процесса могут также образовываться другие карбонилы, такие как карбонил кобальта и железа. Насыщенный карбонилем газ требуется сжечь, чтобы получить из карбонила металла оксид цветного металла и диоксид углерода. Необходимо использовать технологии борьбы с загрязнениями, чтобы улавливать оксиды цветных металлов и диоксид углерода, которые образуются в результате сжигания насыщенных карбонилем потоков газов.

Фториды (только при производстве алюминия)

Главным источником газообразных фторидов являются электролизные ванны. Большинство образующихся газообразных фторидов представляют собой фторид водорода, который получается при реакции фторида алюминия и криолита с водородом. Снизить выбросы фторидов можно путем улавливания дыма. Уловленные дымы (которые обычно составляют более 98% всех дымов) можно очищать, вводя струю оксида алюминия в отходящий газ для поглощения фторида, а затем используя рукавные фильтры (пыль возвращается в электролитические ванны) или мокрые скрубберы (обычно их эффективность составляет от 99,5 до 99,9%).

Смолы и полициклические ароматические углеводороды (только при производстве алюминия)

Возможно образование смол и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) (в основном в установках для обжига анодов). Меры по предотвращению таких выбросов и борьбе с ними включают следующее:

- повышение эффективности сжигания;
- переход на другой тип анодов;
- удаление смол и ПАУ с использованием скрубберов для оксида алюминия и тканевых фильтров;
- использование сухой анодной массы и поддержание низких температур в верхней части анодов для снижения выделения ПАУ.

Подготовка анодов (только при производстве алюминия)

При получении алюминия из оксида алюминия с помощью электролиза происходит расход анодов, так как в процессе электролиза выделяющийся кислород сжигает углерод. Аноды обычно подготавливают на самом предприятии в установке для обжига анодов, при этом содержащие углерод материалы (включая остатки от перегонки нефти) прикрепляют к металлическому сердечнику и обжигают для повышения прочности. При обжиге выделяются летучие углеводороды и другие загрязняющие примеси, например сера из сырья. Если это возможно, тепло от нагрева выделившихся ЛОС используют, сжигая эти вещества в печи для обжига. Отходящий от печи для обжига газ следует обрабатывать в скруббере или путем поглощения с последующей фильтрацией в установках, встроенных в плавильные печи, где углеводороды возвращаются в производственный процесс; в других случаях в зависимости от объекта и масштаба производства можно использовать камеры дожигания и мокрые электростатические осадители.

Сточные воды

Сточные воды технологических процессов

Основными источниками сточных вод в отрасли выплавки и рафинирования цветных металлов являются технологические сточные воды гидрометаллургических процессов (например, образовавшиеся при очистке газов обжига, при выщелачивании, очистке и электролизе), воды, образовавшиеся при очистке влажных отходящих газов, грануляции шлака, охлаждающие воды, а также поверхностные и ливневые воды. Обычно сточные воды содержат растворимые и нерастворимые соединения металлов, смазочно-охлаждающие жидкости, нефтепродукты и органические вещества. Охлаждающая вода, используемая при непосредственном контакте (например, при некоторых операциях литья), может иметь повышенное содержание металлов и взвешенных твердых частиц, и ее необходимо направлять в систему очистки сточных вод.

Очистка производственных сточных вод

Используемые в этой отрасли промышленности методы очистки сбросных отработанных вод включают отдельный сбор стоков в зависимости от источников их образования, предварительную очистку сточных вод из отдельных источников для снижения содержания тяжелых металлов с использованием химического осаждения, коагуляции, флокуляции и т. д. Обычно этапы очистки сточных вод включают использование сепараторов для разделения воды и нефтепродуктов или флотацию воздухом для отделения нефтепродуктов и флотирующихся твердых частиц, фильтрацию для отделения фильтрующихся твердых частиц, усреднение потоков и нагрузок, седиментацию для снижения содержания взвешенных твердых частиц с помощью осветлителей, обезвоживание и захоронение остатков на специальных полигонах для опасных отходов.

Могут потребоваться дополнительные технические меры для i) более тщательного удаления металлов с использованием мембранной фильтрации, электролиза или других физико-химических технологий очистки, ii) удаления стойких органических соединений путем использования активированного угля или дополнительного химического окисления и iii) снижения токсичности стоков при помощи надлежащей технологии (например, обратный осмос, ионный обмен, активированный уголь и т. д.)

Вопросы удаления промышленных сточных вод и примеры подходов к их очистке обсуждаются в **Общем руководстве по ОСЗТ**. При использовании этих технологий и рекомендованных методов для удаления и очистки сточных вод производства смогут обеспечить соответствие значениям, данным в руководстве по сбрасываемым сточным водам, которые приведены в соответствующей таблице раздела 2 документа по данной отрасли промышленности.

Другие источники сточных вод и потребление воды

Руководящие указания по отведению и очистке незагрязненных сточных вод, поступающих от объектов хозяйственной инфраструктуры, а также незагрязненных ливневых вод и хозяйственно-бытовых сточных вод приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Бесконтактные системы водяного охлаждения, используемые при выплавке и очистке в этой отрасли промышленности, могут быть организованы по прямоточной схеме, либо в них может использоваться рециркуляция, для чего применяются градирни, в которых осуществляется испарение. Воду из прямоточных систем обычно сбрасывают в поверхностные воды после соответствующего анализа/снижения влияния конечной температуры на тот водоем, в который осуществляется сброс вод. Ливневые воды могут

загрязняться при прохождении через штабели материалов и поверхностные отложения, образовавшиеся в результате осаждения взвешенных веществ из воздуха. Руководящие указания по отведению и очистке ливневых вод содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Загрязненные потоки должны направляться в систему очистки вод, используемых в технологическом процессе. Рекомендации по снижению потребления воды, особенно если этот природный ресурс является ограниченным, содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Опасные материалы

В отрасли выплавки и рафинирования цветных металлов используется много кислот, щелочей и химических веществ (при выщелачивании и осаждении металлов, в системах борьбы с загрязнением), а также технологических газов (например, кислород, диоксид углерода, аргон, азот, хлор, водород и другие газы). Руководящие указания по безопасному хранению, транспортировке и использованию опасных материалов содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Остатки и отходы

Источниками опасных и неопасных остатков и отходов в отрасли выплавки и рафинирования цветных металлов являются шлаки, дроссы и штейны от пирометаллургических процессов; отработанная футеровка и огнеупорные материалы из печей; отходы из систем борьбы с загрязнениями (например, пыль из отходящих газов, отстой и отработанные материалы фильтров); отстой, полученный при очистке сточных вод (например, отстой из систем мокрых скрубберов и отстой, полученный при очистке технологических сточных вод, который может содержать гипс $[CaSO_4]$, а также гидроксиды и сульфиды

металлов); и отстои от операций выщелачивания, очистки и электролиза.

Необходимо в максимальной степени использовать возможности вторичного использования побочных продуктов и отходов от операций выплавки и рафинирования в технологическом процессе¹⁶ (например, дроссов, штейнов и шлаков, футеровки электролизных ванн и печей, материалов, полученных при очистке). Большие количества шлака, получаемого на этапе выплавки, можно подвергать обработке (например, использовать возгонку для извлечения остаточного содержания металлов) с целью производства инертного гранулированного материала, который можно продавать для использования в промышленности, например, при производстве цемента и изоляционных материалов. Отходы систем очистки и шлам, образующийся в результате процессов выщелачивания и очистки сточных вод, могут быть возвращены в технологический процесс на этапах пирометаллургической обработки в зависимости от уровня интеграции процесса, доступной в данной отрасли. Отстои от анодов и отстои в емкостях можно утилизировать для восстановления остаточных металлов. Руководящие указания по обращению с опасными и неопасными промышленными отходами и их безопасному удалению приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Ниже приведена информация об образовании некоторых видов отходов, специфических для отрасли выплавки и рафинирования цветных металлов, а также об их обработке и удалении.

¹⁶ Подробное руководство по методам минимизации, утилизации и повторного использования отходов представлено в документе European Commission (2001). Reference document on best available techniques (BREF) for the non-ferrous metals industries. (Европейская комиссия (2001). Справочный документ по наилучшим имеющимся технологиям при производстве цветных металлов.)

Отработанные катоды (только при производстве алюминия)

Отработанные катоды, которые также называют отработанной футеровкой, являются основным источником отходов при производстве первичного алюминия. Отработанный катод состоит из углеродной части, которая прежде представляла собой катод электролизера, и огнеупорных материалов, которые состоят из различных изоляционных материалов. Отработанная футеровка содержит растворимые фториды и цианиды, из нее могут выделяться продукты выщелачивания, если материал намокает. Если возможно, отработанную футеровку следует обрабатывать и использовать повторно (например, в пирометаллургических печах, при производстве криолита, в цементной промышленности или как источник топлива) либо удалять согласно руководящим указаниям по удалению и очистке опасных отходов, приведенным в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Красный шлам (только при производстве алюминия)

Красный шлам образуется при извлечении алюминия из бокситов и представляет собой щелочной материал, который требует контролируемого хранения, обычно в изолированных прудах (шламоотстойниках с экраном из синтетического материала), чтобы свести к минимуму возможность загрязнения поверхностных и подземных вод. Избыточная вода от шлама возвращается в процесс.

Шумы

По своей природе операции выплавки и рафинирования являются шумными из-за большого количества используемого механического оборудования, транспортных средств, физических действий и потребления энергии, особенно при использовании печей и пара. Существенными источниками шума являются транспортировка и погрузочно-

разгрузочные операции для сырья и продуктов, процессы производства, включая пирометаллургию, операции по дроблению и измельчению, работающие насосы и вентиляторы, выбросы в атмосферу паров и автоматические системы аварийной сигнализации. Руководящие указания по борьбе с шумами приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

1.2 Охрана труда и техника безопасности

Вопросы охраны труда и техники безопасности следует рассматривать в рамках комплексной оценки опасности или рисков, включая, например, выявление аварийно-опасных участков [HAZID], исследование по безопасности эксплуатации [HAZOP] или другие исследования по оценке рисков. Полученные результаты следует использовать при планировании мероприятий по охране труда и технике безопасности, при проектировании установок и безопасных рабочих систем и при разработке и внедрении безопасных методов производства работ.

Общие меры по проектированию, эксплуатации и мониторингу производства в части управления основными рисками в области охраны труда и техники безопасности предоставлены в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Приводятся общие руководящие принципы, относящиеся к этапам строительства и вывода из эксплуатации, а также руководство по обучению охране труда и технике безопасности, использованию средств индивидуальной защиты и управлению опасными физическими, химическими, биологическими и радиационными факторами, общими для всех отраслей промышленности.

Вопросы охраны труда и техники безопасности для дальнейшего рассмотрения при операциях выплавки и рафинирования цветных металлов включают следующее:

- воздействие химических веществ;
- источники физической опасности;
- шумы;
- радиация;
- вход в ограниченное пространство.

Подверженность воздействию химических веществ

При выплавке и рафинировании используется целый ряд опасных материалов, включая кислоты, щелочи и химические вещества (например, при выщелачивании и осаждении металлов и в системах контроля загрязнений), технологические газы (например, кислород, диоксид углерода, аргон, азот, хлор, водород и другие). Работники могут подвергаться воздействию опасных материалов, содержащихся в органической и неорганической пыли, парах, газах, тумане и дыме, которые образуются в ходе операции и/или деятельности людей на всех этапах производства и обслуживания.

Неорганические опасные материалы обычно включают в себя растворимые и нерастворимые цветные металлы (например, никель и медь, микропримеси, такие, как мышьяк, сурьма, таллий, ртуть, кадмий и другие). Состав микропримесей, в том числе содержание металлов, зависит от свойств обрабатываемой руды и используемой технологии. Опасность воздействия кислотного тумана возникает в процессе выщелачивания и/или электролитического рафинирования. Опасные органические вещества могут включать диоксины и фураны, остатки органических растворителей, используемых в качестве реактивов, и полициклические ароматические

углеводороды, присутствующие в парах пека и пыли (при производстве углеродных электродов и в электролитических ваннах при производстве алюминия). Опасные газы могут включать диоксид серы, аммиак, монооксид углерода, кислород, арсин, хлор и фтористые соединения и другие. Некоторые газы могут содержать металлы, например карбонилы кобальта, железа и никеля.

Руководящие указания по контролю за воздействием химических веществ и других опасных материалов, включая использование средств индивидуальной защиты (СИЗ), приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Кроме того, рекомендуется использовать следующие меры для предотвращения, сведения к минимуму и борьбы с потенциальным химическим воздействием:

- ограждение и изоляция потенциальных источников выбросов в атмосферу, насколько это практически возможно;
- обеспечение постоянного мониторинга на участках, где может внезапно возникнуть непредвиденный источник опасности (например, где может произойти выброс арсина или цианида водорода);
- мониторинг условий труда с использованием персональных пробоотборников для контроля производственной гигиены;
- обеспечение подготовки персонала и поощрение надлежащей личной гигиены, запрет на курение и прием пищи на рабочем месте;
- автоматизация технологических процессов и операций по погрузке/разгрузке материалов, насколько это практически возможно, и обеспечение защитных кабин для операторов;

- устройство местной вытяжной вентиляции для ограничения воздействия, например, диоксида серы, монооксида углерода и тумана серной кислоты.

Источники физической опасности

Источники физической опасности, в том числе тепловое излучение печей и расплавленного металла и эргономические нагрузки, могут привести к физической травме, связанной с работой оборудования, ожогам и взрывам при операциях с горячими металлами (например, во время пирометаллургических процессов), кислотами, едкими веществами, растворителями, растворами выщелачивания и растворами, используемыми при электролитической очистке. Руководящие указания по контролю физических источников опасности приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**. Кроме того, рекомендуется использовать следующие меры для предотвращения, сведения к минимуму и борьбой с заболеваниями, которые могут быть вызваны тепловыми факторами:

- использование водяных экранов или воздушных завес перед печами;
- обеспечение при необходимости местного охлаждения;
- установка закрытых кабин с кондиционированием воздуха для операторов;
- использование проверенной теплозащитной одежды и охлаждаемых воздухом костюмов;
- обеспечение достаточного времени для акклиматизации в горячей окружающей среде, организация перерывов в работе для отдыха в прохладных зонах и предоставление достаточного количества напитков для частого питья.

Шумы

Персонал, занятый выплавкой и рафинированием металлов, потенциально может подвергаться воздействию высокого уровня шумов, создаваемых при работе тяжелого оборудования и печей. Поскольку большинство источников шума невозможно ликвидировать, меры борьбы с шумом должны включать применение средств индивидуальной защиты органов слуха соответствующим персоналом и осуществление программ ротации для снижения совокупного воздействия шумов. Дополнительные рекомендации по контролю производственных шумов приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Радиация

Радиационное воздействие на рабочих местах может возникать в результате использования радиоактивных источников в некоторых видах технологического оборудования (например, в датчиках напряжений и в системах мониторинга твердых частиц) и в лабораторном оборудовании. Рекомендации по контролю доз облучения приведены в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Ограниченные пространства

На предприятии, занимающемся выплавкой и рафинированием, имеется такое оборудование и возникают такие ситуации, при которых требуется вход персонала в закрытое пространство. Предприятиям необходимо разработать и выполнять процедуры входа в ограниченное пространство, которые описаны в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Электрические и магнитные поля

Электрические и магнитные поля (ЭМП) – это невидимые силовые линии, которые возникают вокруг любого электрического прибора. Электрические поля создаются

напряжением, и их напряженность растет с увеличением напряжения. Магнитные поля создаются потоками электрического тока, и их напряженность возрастает с увеличением силы тока. Электрические поля можно экранировать, используя электропроводящие материалы и другие материалы, такие как дерево и строительные материалы. Магнитные поля проникают сквозь большинство материалов и создать защиту от них трудно. Электрические и магнитные поля быстро уменьшаются с увеличением расстояния. Для питания восстановительных электролитических ванн используется постоянный ток, поэтому создаваемые ими электромагнитные поля в цехах электролиза обычно являются статическими или постоянными. Такие поля, в отличие от низкочастотных электромагнитных полей, еще реже оказывают стойкое или воспроизводимое биологическое воздействие. Уровни потоков магнитных полей, изменяемые в цехах электролиза, обычно не превышают допустимые пороговые величины для статического магнитного поля со слабым излучением и для статических электрических полей. Воздействие электромагнитных полей ультранизкой частоты возможно в электролизерах, особенно рядом с помещениями, в которых установлены выпрямители. Уровни потоков, измеренные в цехах электролиза, являются минимальными, они ниже существующих стандартов¹⁷. Воздействие ЭМП также может быть связано с электродуговыми печами и прочим электрическим оборудованием¹⁸.

¹⁷ International Labour Organization, Encyclopedia of Occupational Health and Safety, Fourth Edition, Volume 3, Part XIII, Chapter 82. (Международная организация труда, "Энциклопедия по профессиональной гигиене и безопасности", четвертый выпуск, том 3, часть XIII, глава 82). Доступно по адресу: <http://www.ilo.org/encyclopedia/>.

¹⁸ Лица, использующие кардиостимуляторы, не должны работать в электролитических цехах из-за риска аритмии, вызываемой воздействием магнитных полей.

1.3 Охрана здоровья и обеспечение безопасности местного населения

Металлургические предприятия, на которых производится выплавка и рафинирование цветных металлов, являются источниками существенных выбросов загрязняющих веществ, которые могут представлять опасность для здоровья и безопасности местного населения. Существенным риском является накапливающееся загрязнение земли и жилых зданий мелкими твердыми частицами металлов, а также последующее воздействие и угроза здоровью жителей и окружающей экосистеме. Осаждение металлов (например, кадмия, меди, свинца, цинка и марганца) и других загрязняющих веществ может оказать негативное воздействие на посевы и скот, а также на качество сельскохозяйственных продуктов, произведенных на ближайшей территории. Меры снижения выбросов, описанные в разделе 1.1, могут свести к минимуму такие воздействия.

На предприятиях по выплавке и рафинированию цветных металлов необходимо разработать и осуществлять всестороннюю программу защиты окружающей среды, здоровья и безопасности в сотрудничестве со всеми заинтересованными сторонами, включая местных жителей. Такая программа должна включать следующие компоненты:

- просвещение и повышение осведомленности населения в отношении риска для здоровья, связанного с работой металлургического предприятия;
- обследование состояния здоровья, при необходимости;
- изучение унаследованных проблем в отношении загрязненных участков, в том числе стратегии по их оценке и ликвидации их последствий;

- разработка плана готовности к аварийным ситуациям и плана мероприятий по ликвидации их последствий при участии затронутого населения и соответствующих надзорных органов;
- **Общее руководство по ОСЗТ** содержит дополнительные руководящие указания по этим и другим проблемам здоровья и безопасности населения.

2.0 Показатели эффективности и мониторинг

2.1 Охрана окружающей среды

Нормативы выбросов и сбросов

В таблицах 1 и 2 приведены нормативы сбросов для предприятий, занятых выплавкой и рафинированием. Значения нормативов для технологических выбросов и стоков в данной отрасли соответствуют надлежащей международной отраслевой практике, которая зафиксирована в соответствующих стандартах стран с общепризнанной нормативно-правовой базой. Эти нормативы выполнимы при нормальном режиме работы в надлежащим образом спланированных и эксплуатируемых помещениях, с использованием методов предотвращения загрязнения и контроля, описанных в предыдущих разделах настоящего документа. Указанные уровни должны обеспечиваться без разбавления и поддерживаться в течение не менее 95% времени эксплуатации установки или предприятия, рассчитываемого как доля рабочих часов в год. Отклонение от этих уровней с учетом конкретных местных условий проекта необходимо обосновать при проведении экологической оценки.

Нормативы выбросов применимы к технологическим выбросам. Нормативы выбросов от источников сжигания, связанного с производством пара и электроэнергии источниками общей мощностью не более 50 МВт тепл., приводятся в **Общем руководстве по ОСЗТ**, а выбросов из источников с более высокой мощностью – в **Руководстве по ОСЗТ для тепловых электростанций**. Указания в отношении фоновых параметров окружающей среды с учетом общей нагрузки выбросов представлены в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Нормативы сбросов применимы к прямым сбросам очищенных стоков в поверхностные воды общего пользования. Уровни сброса для конкретного участка можно установить в зависимости от наличия и состояния канализационных и очистных систем общего пользования либо при сбросе непосредственно в поверхностные воды в зависимости от вида водопользования водоприемника, как описано в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

Использование ресурсов

В таблице 3 приведен пример потребления энергии и воды для некоторых технологических процессов в отрасли выплавки и рафинирования, который можно рассматривать как показатель эффективности данной отрасли и использовать для отслеживания динамики за определенный период времени.

Мониторинг состояния окружающей среды

Программы мониторинга состояния окружающей среды для данной отрасли следует выстраивать с учетом необходимости охвата всех видов деятельности, которые потенциально могут оказать существенное воздействие на состояние окружающей среды при их осуществлении как в нормальном, так и в нештатном режиме. Мониторинг состояния окружающей среды следует вести по прямым или

косвенным показателям выбросов, стоков и использования ресурсов, применимым к каждому конкретному проекту.

Частота проведения мониторинга должна быть достаточной для получения репрезентативных данных по тому параметру, мониторинг которого проводится. Мониторинг должны осуществлять специально подготовленные лица в соответствии с процедурами мониторинга и учета данных с использованием оборудования, прошедшего надлежащую поверку и техническое обслуживание. Данные мониторинга следует регулярно анализировать и изучать, сопоставляя их с действующими стандартами в целях принятия при необходимости мер по исправлению ситуации. Дополнительные указания по программам мониторинга содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.



Таблица 1. Выбросы в атмосферу при выплавке и рафинировании никеля, меди, свинца, цинка и алюминия *

Загрязнитель	Источник выбросов (по типу металла/технологии выплавки)	Единица измерения	Нормативное значение
SO ₂	<p>Медь: Первичная выплавка и конвертирование</p> <p>Свинец и цинк: Первичная выплавка, обжиг и спекание</p> <p>Никель: Обжиг и спекание сульфидных концентратов и промежуточных продуктов</p> <p>Медь: Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное пирометаллургическое рафинирование, электролитическая очистка и плавление шлаков</p> <p>Алюминий: Выдержка и дегазация расплавленного металла при производстве первичного и вторичного алюминия</p> <p>Свинец и цинк: Предварительная обработка материалов, вторичная плавка, термическое рафинирование, плавление, возгонка шлаков и работа вельц-печи</p>	<p>Эффективность нейтрализации SO₂ в отходящих газах ~ 1–4%) >99,1% Эффективность нейтрализации SO₂ в отходящих газах >5%) >99,7%</p> <p>мг/Нм³</p>	
NO _x	<p>Медь: Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное пирометаллургическое рафинирование, электролитическая очистка и плавление шлаков</p> <p>Алюминий: Выдержка и дегазация расплавленного металла при производстве первичного и вторичного алюминия, предварительная обработка материалов, а также плавление и выплавка вторичного алюминия</p> <p>Свинец и цинк: Плавление чистых материалов, производство сплавов и получение цинковой пыли; предварительная обработка материалов, вторичная плавка, термическое рафинирование, плавление, возгонка шлаков и работа вельц-печи</p> <p>Никель: Выщелачивание, химическая экстракция и рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворителями; предварительная обработка материалов путем прокаливания в печи или дожигания, обжиг, выплавка, термическое рафинирование и плавление</p>	<p>мг/Нм³</p>	<p><50–200^{1,2,3}</p> <p>100–300^{4,5,6}</p>
Кислотный туман/газы	<p>Медь: Гидрометаллургические процессы или процессы электролитического выделения</p> <p>Свинец и цинк: Химическое рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворителями</p>	<p>мг/Нм³</p>	<p>50^{1,7}</p>
ЛОС/растворители (в виде соединений)	<p>Никель: Выщелачивание, химическая экстракция и рафинирование, электролитическое выделение и экстракция растворителями</p> <p>Медь: Гидрометаллургические процессы или процессы электролитического осаждения</p> <p>Свинец и цинк: Химическое рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворителями</p> <p>Никель: Выщелачивание, химическая экстракция и рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворителями</p>	<p>мг/Нм³</p>	<p>5–15⁹</p>
Пыль ²²	<p>Медь: Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное пирометаллургическое рафинирование, электролитическая очистка и плавление шлаков, системы сбора вторичных дымов и сушка</p>	<p>мг/Нм³</p>	<p>1–5^{3,10,11}</p>



Таблица 1. Выбросы в атмосферу при выплавке и рафинировании никеля, меди, свинца, цинка и алюминия *

Загрязнитель	Источник выбросов (по типу металла/технологии выплавки)	Единица измерения	Нормативное значение
ОСУ – общее содержание углерода (в виде С)	<p>Алюминий: Электролиз первичного алюминия, выдержка и дегазация расплавленного металла при производстве первичного и вторичного алюминия, предварительная обработка материалов, а также плавление и выплавка вторичного алюминия</p> <p>Свинец и цинк: Плавление чистых материалов, производство сплавов и получение цинковой пыли; предварительная обработка материалов, вторичная выплавка, термическое рафинирование, плавление, возгонка шлаков и работа вельц-печи</p> <p>Никель: Предварительная обработка материалов, прокаливание в печи или дожигание, обжиг, выплавка, термическое рафинирование и плавление</p> <p>Медь: Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное пирометаллургическое рафинирование, электролитическая очистка и плавление шлаков</p> <p>Алюминий: Предварительная обработка материалов, плавление и выплавка вторичного алюминия</p> <p>Свинец и цинк: Плавление чистых материалов, производство сплавов и получение цинковой пыли; предварительная обработка материалов, вторичная выплавка, термическое рафинирование, плавление, возгонка шлаков и работа вельц-печи</p> <p>Никель: Предварительная обработка материалов путем прокаливания в печи или дожигания, обжиг, выплавка, термическое рафинирование и плавление</p>	мг/Нм ³	5–50 ^{12,13}
Диоксины	<p>Медь: Вторичная выплавка и конвертирование, первичное и вторичное пирометаллургическое рафинирование, электролитическая очистка и плавление шлаков, системы отбора вторичных дымов и сушка</p> <p>Алюминий: Предварительная обработка материалов, плавление и выплавка вторичного алюминия</p> <p>Свинец и цинк: Плавление чистых материалов, производство сплавов и получение цинковой пыли; предварительная обработка материалов, вторичная выплавка, термическое рафинирование, плавление, возгонка шлаков и работа вельц-печи</p> <p>Никель: Предварительная обработка материалов, прокаливание в печи или дожигание, обжиг, выплавка, термическое рафинирование и плавление</p>	НГТЭ/м ³	0,1–0,5 ^{3,10,14,15,16}
Аммиак	<p>Никель: Выщелачивание, химическая экстракция и рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворятелями</p>	мг/Нм ³	5 ¹⁷
Хлор		мг/Нм ³	0,5 ^{2,18}
СО и карбонилы		мг/Нм ³	5 ¹⁹
Арсин	<p>Свинец и цинк: Химическое рафинирование, электролитическое осаждение и экстракция растворятелями</p>	мг/Нм ³	0,5 ⁶



Таблица 1. Выбросы в атмосферу при выплавке и рафинировании никеля, меди, свинца, цинка и алюминия *

Загрязнитель	Источник выбросов (по типу металла/технологии выплавки)	Единица измерения	Нормативное значение
Ртуть	Все типы металлов и все технологии выплавки	мг/Нм ³	0,02
Хлорид водорода	Алюминий: Выдержка и дегазация расплавленного металла при производстве первичного и вторичного алюминия, предварительная обработка материалов, а также плавление и выплавка вторичного алюминия	мг/Нм ³	51
Фторид водорода	Алюминий: Электролиз первичного алюминия, предварительная обработка материалов, а также плавление и выплавка вторичного алюминия	мг/Нм ³	0,5 ^{10,20}
Общее содержание фтора	Алюминий: Электролиз первичного алюминия	мг/Нм ³	0,8 ^{10,22}
Полифторированные углеводороды	Алюминий: Электролиз первичного алюминия	0,1 (анодные эффекты в расчете на электролизер в сутки)	
<p>1. Щелочные скрубберы (полусухой и тканевый фильтры, мокрый скруббер или двойной щелочной скруббер с использованием извести, гидроксида натрия, гидроксида натрия).</p> <p>2. Сочетание натрия или оксида алюминия/сульфата алюминия с известью.</p> <p>3. При выплавке меди может быть достигнута концентрация выбросов SO₂ 500 мг/м³ при использовании теневого фильтра и вдувании извести.</p> <p>4. Горелка с низкой концентрацией NOx.</p> <p>5. Кислородоплывная горелка.</p> <p>6. Окисляющий скруббер.</p> <p>7. Турбоуловитель.</p> <p>8. Исключающая выплавку алюминия.</p> <p>9. Удержание, охладитель газов, угольный и биологический фильтр.</p> <p>10. Тканевый фильтр.</p> <p>11. Контроль температуры.</p> <p>12. Устройство дожигания.</p> <p>13. Оптимизированное сжигание.</p> <p>14. Дожигание, сопровождаемое тушением.</p> <p>15. Адсорбция активированным углем.</p> <p>16. Катализатор окисления.</p> <p>17. Кислотный скруббер.</p> <p>18. Сбор и вторичное использование.</p> <p>19. Контроль процесса и герметичный реактор.</p> <p>20. Скруббер оксида алюминия.</p> <p>21. Исключающая выплавку алюминия.</p> <p>22. Выбросы металлов зависят от состава технологической пыли. Состав меняется, на него влияет источник процесса образования обрабатываемой пыли и сырья.</p>			

Источник: Частично на основе EU BREF in the Non-Ferrous Metals Industries (EU BREF по производствам цветных металлов) (2001). * Соответствующие выбросы в атмосферу приведены в виде среднесуточных значений, полученных на основании непрерывного мониторинга и стандартных условий (273 К и 101,3 кПа), измеренном содержании кислорода и сухих газов без разбавления газов воздухом. В случаях, когда непрерывный мониторинг нецелесообразен, берется среднее значение по периоду отбора проб. Если для разрушения продуктов сгорания (например, ЛОС и диоксинов) используются системы термической очистки и пиролиза (например, сушка с помощью брикетов стружки и удаление покрытий), то содержание кислорода в сухом газе составит 6%.

Таблица 2. Уровни загрязнения стоков от выплавки и рафинирования никеля, меди, свинца, цинка и алюминия

Загрязнитель	Тип плавления	Единица измерения	Нормативное значение
pH	Все	Стандартные единицы	6–9
Общее содержание взвешенных твердых частиц	Все	мг/л	20
ХПК (химическое потребление кислорода)	Все	мг/л	50
Фториды	Алюминий	мг/л	5
Углеводороды	Алюминий	мг/л	5
Алюминий	Алюминий	мг/л	0,2
Медь (Cu)	Медь	мг/л	0,1
Свинец (Pb)	Медь, свинец и цинк	мг/л	0,1
Мышьяк (As)	Медь, свинец и цинк	мг/л	0,05
Никель (Ni)	Никель, медь	мг/л	0,1
Кадмий (Cd)	Медь, свинец и цинк	мг/л	0,05
Цинк (Zn)	Медь, свинец и цинк	мг/л	0,2
Ртуть (Hg)	Все	мг/л	0,01
Повышение температуры	Все	°C	< 3 ^a
Токсичность	Определяется отдельно для каждого случая		
Источник: Частично на основе EU BREF in the Non-Ferrous Metals Industries.			
^a На границе научно установленной границы смешивания с учетом качества подаваемой воды, вида водопользования, возможных потребителей воды, и ассимилирующей способности водного объекта.			

Таблица 3. Потребление энергии и воды

Тип производства	Потребление энергии (ГДж/т) ^a
Медь–производство в концентрате	14–20
Медь–электролитическая очистка	1,1–1,4
Производство оксида алюминия	8–13,5
Алюминий–первичное производство (электролиз, включая изготовление анодов)	53–61
Свинец–шахтная печь, первичный	6,8–10,3 ^b
Свинец–шахтная печь, вторичный	4,4–5,5 ^b
Свинец–вращающаяся печь, вторичный, с системой СХ и производством Na ₂ SO ₄	4,0–4,7 ^b
Свинец–QSL	2,3–3,5 ^b
Свинец–процесс Кивцет	4,9 ^b
Свинец–вращающийся конвертер с верхним дутьем	4,0–4,4 ^b
Цинк–электролиз	15
Цинк–британская плавильная печь и дистилляция по "методу Нью-Джерси"	44 ^b
Цинк–вельц-печь	26 ^{b,c}
Цинк–возгонка шлака	7,7 ^{b,d}
Никель–штейн из сульфидных руд, содержащий 4–15% Ni	25–65
Никель–рафинирование	17–20
Тип производства	Потребление воды (кг/т)
Производство оксида алюминия	1 000–6 000
Производство первичного алюминия (электролиз, включая изготовление анодов)	200–12 000
Источники: EU BREF in the Non-Ferrous Metals Industries.	
Примечания:	
^a Гигаджоулей (10 ⁹ Джоулей) на метрическую тонну.	
^b Рассчитано на основе используемых объемов кокса, угля, природного газа и электроэнергии и типичных значений теплоты сгорания углеводородного топлива.	
^c В расчете на тонну выщелачиваемого вельц-оксида.	
^d В расчете на тонну шлака.	

2.2 Охрана труда и техника безопасности

Указания по охране труда и технике безопасности

Соблюдение норм охраны труда и техники безопасности следует оценивать на основании опубликованных международных рекомендаций по показателям воздействия вредных производственных факторов, примерами которых являются, в частности, указания по пороговым предельным значениям (TLV®) воздействия на рабочем месте и показателям биологического воздействия (BEIs®), публикуемые Американской конференцией государственных специалистов по гигиене труда (ACGIH)¹⁹, Карманный справочник по источникам химической опасности, публикуемый Национальным институтом гигиены и охраны труда (NIOSH) Соединенных Штатов Америки²⁰, показатели допустимых уровней воздействия (PELs), публикуемые Управлением охраны труда (OSHA) Соединенных Штатов Америки²¹, индикативные показатели предельно допустимой концентрации в воздухе рабочей зоны, публикуемые странами – членами Европейского союза²², или данные из иных аналогичных источников.

Показатели травматизма и частота несчастных случаев со смертельным исходом

Исполнителям проектов следует стремиться к полному искоренению несчастных случаев на производстве с участием занятых в проекте работников (нанятых непосредственно исполнителями проекта либо субподрядчиками), особенно несчастных случаев,

способных привести к потере рабочего времени, инвалидности различной степени тяжести или даже смертельному исходу. Показатели частоты несчастных случаев на объекте можно сопоставлять с опубликованными показателями предприятий данной отрасли в развитых странах, которые можно получить из таких источников, как, например, Бюро трудовой статистики США и Инспекция по промышленной гигиене и охране труда Соединенного Королевства²³.

Мониторинг соблюдения норм охраны труда и техники безопасности

Следует вести мониторинг рабочей среды на наличие вредных производственных факторов, характерных для каждого конкретного проекта. Процесс мониторинга должны разрабатывать и осуществлять уполномоченные специалисты²⁴ в рамках программы мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности. Предприятиям следует также вести журналы учета случаев производственного травматизма и профессиональных заболеваний, а также опасных происшествий и несчастных случаев. Дополнительные указания по программам мониторинга соблюдения норм охраны труда и техники безопасности содержатся в **Общем руководстве по ОСЗТ**.

¹⁹ См. <http://www.acgih.org/TLV/> и <http://www.acgih.org/store/>.

²⁰ См. <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>.

²¹ См. http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARD&p_id=9992.

²² См. http://europe.osha.eu.int/good_practice/risks/ds/oel/.

²³ См. <http://www.bls.gov/iif/> и <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>.

²⁴ К таким уполномоченным специалистам могут относиться сертифицированные специалисты по промышленной гигиене, дипломированные специалисты по гигиене труда, сертифицированные специалисты по охране труда или специалисты аналогичной квалификации.

3.0 Справочная литература и дополнительные источники информации

American Council of Government Industrial Hygienists (ACGIH). 2006. Threshold Limit Values (TLV) and Biological Exposure Indices (BEI). Cincinnati, OH. Доступно по адресу: <http://www.acgih.org/TLV>

Ayres, R. U., L.W. Ayres and I. Rade. 2002. The Life Cycle of Copper its Co-Products and By-Products. Mining, Minerals and Sustainable Development Report, International Institute for Environment and Development (IIED). London: IIED. Доступно по адресу: http://www.iied.org/mmsd/mmsd_pdfs/ayres_lca_main.pdf

Bergsdahl, H., A.H. Stomman, E.G. Hertwich. 2004. The Aluminum Industry. Environment Technology and Production. Доступно по адресу: http://www.indecol.ntnu.no/indecolwebnew/publications/reports/rapport04/rapport18_04web.pdf

Environment Canada. 2006. Environmental Code of Practice. Canadian Environmental Protection Act, 1999. Base Metals Smelters and Refineries. Document EPS 1/MM/11E. Gatineau, Québec: Environment Canada. Доступно по адресу: <http://199.212.18.76/cepregistry/documents/code/smelters/toc.cfm>

European Agency for Safety and Health at Work (OSHA). Occupational Exposure Limits. Доступно по адресу: http://osha.europa.eu/good_practice/risks/ds/oe/

European Commission. 2001. European Integrated Pollution Prevention and Control Bureau (EIPPCB). Reference Document on Best Available Techniques (BREF) in the Non-Ferrous Metals Industries. Seville: EIPPCB. Доступно по адресу: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm>

European Union. 1999. Directory of Community Legislation. EurLex. EU Council Directive 1999/30/EC of 22 April 1999 relating to limit values for sulphur dioxide, nitrogen dioxide and oxides of nitrogen, particulate matter and lead in ambient air. Brussels: EU. Доступно по адресу: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31999L0030:EN:HTML>

Indian Central Pollution Control Board (CPCB). National Air Quality Monitoring Programme (NAMP). National Ambient Air Quality Standards. Delhi: CPCB. Доступно по адресу: <http://www.cpcb.nic.in/as.htm>

Indian Central Pollution Control Board, Environmental Standards, Inorganic Chemical Industry, Wastewater Standard. Доступно по адресу: <http://www.cpcb.nic.in/index.php>

International Finance Corporation (IFC) World Bank Group. 2006a. Draft General Environmental Health and Safety Guidelines. Доступно по адресу: http://www.ifc.org/ifcext/policyreview.nsf/Content/EHSGuidelinesUpdate_Comm ents

International Organization for Standardization (ISO). ISO 14001 Environmental Management Systems Standards. Доступно по адресу: <http://www.iso.org/iso/en/stdsdevelopment/whowhenhow/how.html>

National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). 2005. NIOSH Pocket Guide to Chemical Hazards. NIOSH Publication No. 2005-149. Доступно по адресу: <http://www.cdc.gov/niosh/npg/>

Natural Resources Canada. 2006. Guide to Energy Efficiency Opportunities in Canadian Foundries. In Partnership with the Canadian Foundry Association. Доступно по адресу: <http://oee.nrcan.gc.ca/cipec/ieep/newscentre/foundry/index.cfm?attr=24>

The Nickel Institute. 2003. Lifecycle Assessment Data. Overall Inventories and Potential Impacts: Ferronickel, Nickel Oxide, and Class I Nickel. Last revised 31 October 2003. Доступно по адресу: http://www.nickelinstitute.org/index.cfm/ci_id/317.htm

Norgate, T. E. & Rankin, W. J., 2002. 'An Environmental Assessment of Lead and Zinc Production Processes', Proceedings, Green Processing 2002, International Conference on the Sustainable Processing of Minerals, May 2002, pp 177-184. Доступно по адресу: http://www.minerals.csiro.au/sd/CSIRO_Paper_LCA_PbZn.pdf

Occupational Health and Safety Administration (OSHA). 2006. Standards – 29 CFR TABLE Z-1 Limits for Air Contaminants. – 1910.1000 TABLE Z-1 Permissible Exposure Limits. Доступно по адресу: http://www.osha.gov/pls/oshaweb/owadisp.show_document?p_table=STANDARDS&p_id=9992

Occupational Health and Safety Administration (OSHA). Occupational Health and Safety Administration System 18001 Occupational Health and Safety Management System. Доступно по адресу: <http://www.ohsas-18001-occupational-health-and-safety.com>

Price, L. Worrell, J.S., Sinton, J and J. Yun. 2001. Industrial energy efficiency policy in China. The Proceedings of the 2001 ACEEE Summer Study on Energy Efficiency in Industry. Доступно по адресу: <http://ies.lbl.gov/iespubs/50452.pdf>

United Kingdom (UK) Department of Environment Food and Rural Affairs. 2000. The Air Quality Strategy for England, Scotland, Wales and Northern Ireland. January 2000. Working Together for Clean Air. Доступно по адресу: <http://www.defra.gov.uk/environment/airquality/strategy/strategy.htm>

UK Health and Safety Executive. 2006a. Health and Safety Commission. Health and Safety Statistics 2005/06. Доступно по адресу: <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

UK Health and Safety Executive. 2006b. Health and Safety Commission. Statistics of Fatal Injuries 2005/06. Доступно по адресу: <http://www.hse.gov.uk/statistics/index.htm>

United States (US) Department of Labor. 2003. Bureau of Statistics. Injuries, Illness and Fatalities Program. Table R8. Incidence rates for nonfatal occupational injuries and illnesses involving days away from work per 10,000 full-time workers by industry and selected events or exposures leading to injury or illness, 2003. Доступно по адресу: <http://www.bls.gov/iif/oshwc/osh/case/ostb1386.pdf>

United States (US) Environmental Protection Agency (EPA). 2006a. Air Toxics. Final Rules. Emission Standards for Hazardous Air Pollutants. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalph.html>

US EPA. 2006b. Proposed National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Area Sources: Polyvinyl Chloride & Copolymers Production,

Primary Copper Smelting, Secondary Copper Smelting, & Primary Nonferrous Metals Zinc, Cadmium and Beryllium. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/ttn/atw/mactfnlalph.htm>

US EPA. 2005. Final Rule National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Aluminum Reduction Plants: Final rule; amendments. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/ttn/atw/alum/alumpg.html>

US EPA. 2002. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants for Primary Copper Smelting-Final rule. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/ttn/atw/copper/copperpg.html>

US EPA. 2000. Federal Register Effluent Limitations Guidelines 40 CFR 125.30 – 125.32. Effluent Limitations Guidelines, Pretreatment Standards, and New Source Performance Standards for the Commercial Hazardous Waste Combustor Subcategory of the Waste Combustors Point Source Category.

Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/fedrgstr/EPA-WATER/2000/January/Day-27/w2019.htm>

US EPA. 1999. Final Rule. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants Primary Lead Smelting. Washington, DC: US EPA. Доступно по адресу: <http://www.epa.gov/ttn/atw/leadp/leadppg.html>

U.S. National Institute of Environmental Health Sciences. 2002. EMF Questions and Answers. EMF Rapid. Electric and Magnetic Fields Research and Public Information and Dissemination Program. Доступно по адресу: <http://www.niehs.nih.gov/emfrapid/booklet>.

World Health Organization (WHO). 2005. Air Quality Guidelines Global Update. Geneva: WHO. Доступно по адресу: <http://www.euro.who.int/Document/E87950.pdf>

WHO. 2000. Air Quality Guidelines for Europe. 2nd Edition. Geneva: WHO. <http://www.euro.who.int/document/e71922.pdf>

Приложение А. Общее описание видов деятельности, относящихся к данной отрасли

Выплавка и рафинирование цветных металлов

Технологические этапы выплавки и рафинирования цветных металлов (меди, свинца/цинка и никеля)²⁵ во многом сходны и показаны на рис. А.1. Описание технологии выплавки алюминия приведено в настоящем приложении, ниже. В зависимости от качества и типа руды (например, сульфидные или латеритовые руды) в них присутствуют потенциальные остаточные металлы, такие как золото, серебро, кадмий, мышьяк, селен и т. д., которые можно извлекать в виде побочных продуктов. Краткое описание каждой технологической операции приведено ниже.

Предварительная обработка

Предварительная обработка состоит из концентрации руды путем обогащения и сушки отфильтрованных концентратов, а также сортировки/разделения лома для получения сырья, пригодного для дальнейшей переработки.

Обжиг

Обжиг – это пирометаллургическая обработка, при которой концентрат нагревают, сушат и окисляют, чтобы получить содержание серы, которое считается оптимальным для выплавки. Неполный обжиг используется для подготовки сульфидов меди и никеля к выплавке на штейн, в то время как при полном обжиге сера удаляется, и образуется оксид металла для 1) снижения содержания углерода или монооксида углерода или 2) выщелачивания в серной кислоте, сопровождаемого электрохимическим

извлечением. Диоксид серы, освобожденный во время обжига, восстанавливается в виде серной кислоты или сжиженного диоксида серы, если это экономически выгодно, либо диоксид серы удаляют при очистке отходящих газов.

Выплавка

При выплавке получают расплавленные металлы, она используется для отделения ценных металлов от менее ценных металлов и примесей с помощью технологии, известной как флюсование. Металлический концентрат, полученный на этапе обжига, загружают в печь вместе с флюсующими добавками, топливом и подают кислород. В печи происходит сгорание и окисление, металлы плавятся и частично разделяются. При выплавке получают расплавленный штейн (медь, никель и цинк) или слитки (свинец). Штейн можно отлить и охладить перед дальнейшей обработкой. Отходящие технологические газы улавливаются воздуховодами печи или верхними зондами вытяжной системы и очищаются от диоксида серы, твердых частиц, дымов и т. д. Шлак, получаемый в плавильной печи, обычно обрабатывают для извлечения оставшихся ценных металлов.

Конвертирование

Конвертирование используют для удаления оставшейся серы и железа из медного или никелевого штейна. Высококачественный металлический лом можно также обрабатывать в конвертерах. Технологические газы охлаждаются, после чего твердые частицы удаляются из газов в устройствах для очистки газов. Используют конвертеры периодического и непрерывного действия; непрерывные конвертеры позволяют лучше улавливать отходящие технологические газы, они позволяют

²⁵ Environment Canada – Environmental Code of Practice, Canadian Environmental Protection Act. Base Metals Smelters and Refineries.

использовать кислород вместо воздуха, при этом образуется много диоксида серы, который можно использовать для производства серной кислоты²⁶. Штейн (сульфиды меди и железа) с этапа плавки загружается в конвертеры, в которых расплавленный материал окисляется под воздействием воздуха для удаления примесей железа и серы (в виде конвертерного шлака). Оксиды образуют шлак, который скачивают. Полученный в ходе конвертирования шлак с высоким содержанием меди или никеля возвращают на этап выплавки для восстановления меди и никеля. До удаления шлаков их можно обрабатывать в электропечах с целью извлечения никеля.

Пирометаллургическое или анодное рафинирование

Пирометаллургическое рафинирование используется для удаления примесей и снижения содержания серы и кислорода в конвертерной меди до литья или электролитического рафинирования. Конвертерную медь очищают либо до качества металла, пригодного для пирометаллургического рафинирования, либо сразу до качества анодной меди (содержание меди 99,5%), которую используют при последующем электролитическом рафинировании. Расплавленную конвертерную медь загружают в печь для пирометаллургического рафинирования с возможной добавкой флюса и продувают воздух через расплавленную смесь для удаления оставшейся серы. Воздушное дутье приводит к получению остаточного содержания кислорода, который удаляют добавлением природного газа, пропана, аммиака или древесины. Медь пирометаллургического рафинирования отливают в виде анодов для дальнейшей очистки с

помощью процессов электролитического рафинирования или отливают в формы для продажи.

Электролитическое рафинирование

Электролитическое рафинирование меди, никеля и свинца используется для получения более химически чистого металла из менее чистого. Электролизер, в котором металл выступает в качестве анода, используется для растворения металла в кислотном водном электролите или в расплаве солей. На чистый металл наносят слой металла гальваническим способом или он наносится на затравки, которые играют роль катодов. Металлические примеси растворяются в электролите или выпадают в осадок, обычно они образуют шлак. Анодные шламы, получаемые в этом процессе, содержат драгоценные металлы, которые также извлекаются. Катодные осадки отливаются в формы. Неочищенные растворы электролита очищают, чтобы удалить нежелательные примеси, и повторно используют в процессе электролитического рафинирования. Удаленные примеси поступают на дополнительную переработку, чтобы извлечь из них ценные металлы.

Карбонильное рафинирование

Карбонильное рафинирование используется для очистки черного оксида никеля. Монооксид углерода добавляют в черновой оксид никеля, и под высоким давлением образуется карбонил никеля. Карбонил никеля является в высшей степени летучим соединением, поэтому он выделяется из твердых примесей, и его восстанавливают из потока отходящего газа. При дополнительном нагревании монооксид углерода освобождается, при этом образуется чистый никель в виде порошка или гранул. Отходящий газ монооксида углерода направляется на повторное использование.

²⁶ Относительно летучие металлы, такие как цинк и свинец, можно также восстанавливать из отходящих газов.

Выщелачивание

Выщелачивание, которое производят до рафинирования и электрохимического извлечения, включает растворение руд/рудных концентратов в кислоте или в другом растворителе. Металл, используемый для выщелачивания, обычно находится в виде оксида. Серные руды выщелачивают реже, потому что для этого требуются условия, которые способствуют окислению. Получающийся раствор, который называют "насыщенный раствор выщелачивания", обрабатывают с помощью жидкостной экстракции, а затем очищают перед электрохимическим извлечением и рафинированием.

Электрохимическое извлечение

Электрохимическое извлечение используется для рафинирования меди или никеля, оно включает восстановление металлов, которые были растворены в "насыщенном" растворе во время выщелачивания. Очищенный раствор электролита из процесса выщелачивания помещается в электролизеры, имеющие инертные аноды и затравки катодов. Растворенные металлические ионы осаждаются на катоде при прохождении электрического тока через электролизер. При электрохимическом извлечении формируется газообразный кислород, кислотный туман и отработанный электролит (который возвращается в процесс выщелачивания для повторного использования). Затем катоды продают либо металл с них удаляется и отливается в виде слитков.

Литье

В процессе литья металл плавится и проходит через печь для выдержки жидкого металла, затем он попадает в литейную машину, в которой получают отливки металла различной формы. Существует непрерывное и стационарное литье. Для непрерывной разливки используют колесо, содержащее несколько литейных форм, которые охлаждаются струями воды. Продукты

непрерывной разливки используются для производства провода. Трубы прессуют выдавливанием из горячих заготовок. Листы и полосы металла производят из предварительно нагретых плоских заготовок и слитков-заготовок, которые прокатывают до получения требуемой формы. Процесс заливки металлов в стационарные формы используется для получения слитков.

Производство алюминия

Производство алюминия начинается с добычи и обогащения бокситов. На руднике бокситовая руда попадает в дробилку, после которой дробленая руда попадает в грохот и складывается для последующей поставки на глинозёмное предприятие. В некоторых случаях руду обогащают (промывка, сортировка по размерам, разделение в суспензии) для удаления нежелательных материалов, таких как глина и кремнезём.

На глинозёмном предприятии бокситовая руда подвергается дополнительному измельчению и/или размолу до требуемого размера частиц для эффективного извлечения оксида алюминия путем обработки горячим раствором гидрата окиси натрия. После удаления смеси оксидов металлов, которая называется "красный шлам", а также твердых частиц, из технологического раствора выпадают кристаллы тригидрата алюминия, которые обжигают в ротационных печах или в обжиговых печах с псевдооживленным слоем для получения оксида алюминия. Некоторые технологии получения оксида алюминия включают этап очистки раствора.

Первичный алюминий производят электролизом оксида алюминия. Расплавленный оксид алюминия растворяют в электролизере, заполненном расплавом криолита (Na_3AlF_6), и пропускают через электролизер электрический ток, при этом оксид алюминия диссоциирует, на катоде выделяется

жидкий алюминий, а на аноде – кислород. Затем кислород реагирует с углеродом электрода и образует диоксид углерода и монооксид углерода. Расплавленный алюминий собирается в нижней части отдельных ячеек или электролитических ваннах и удаляется с помощью вакуумной выливки. Электролиз производится в больших масштабах с помощью многочисленных электролитических ванн, которые соединены последовательно, что приводит к созданию сильного магнитного поля внутри производственного здания.

Сырьем для производства вторичного алюминия являются металлический лом, крошка и шлаки. Предварительная обработка металлического лома с помощью измельчения, просева, магнитного разделения, сушки и т. д. используется для удаления нежелательных примесей, от чего зависят качество алюминия и выбросы в атмосферу. Наиболее распространенным процессом производства вторичного алюминия является плавление в ротационных печах под слоем соли. Возможна переработка шлака соли и его повторное использование. При использовании других процессов, например плавления в индукционных электропечах и подовых печах, соль совсем не требуется или в них используется существенно меньше соли, для этих процессов требуется меньше энергии. Однако они пригодны только для металлического лома высшего качества. В зависимости от применения может потребоваться дополнительная очистка.

