



# Свинцовое производство ISASMELT™, Усть-Каменогорск

А. С. Бэрроуз,  
Glencore Technology Pty Ltd,  
Level 10, 160 Ann Street,  
Брисбэн, 4000. Австралия

Т. Азекенов, Р. Затеев  
ТОО "Казцинк"  
Ул. Промышленная 1, г. Усть-Каменогорск  
070002, Республика Казахстан

---

## Аннотация

Усть-Каменогорский металлургический комплекс играет важную роль в свинцовой промышленности и является предприятием, на котором за последние 70 лет было внедрено множество научно-исследовательских разработок. Наиболее известной среди них считается проектирование и демонстрация практической работы первой в мире печи, работающей по технологии КИВЦЭТ, изобретенной 30 лет назад. Новейшая разработка, представляющая собой установку самой большой в мире свинцовой печи ISASMELT™, была внедрена в 2012 г. Строительство и запуск нового завода ISASMELT™ в условиях существующей инфраструктуры является достижением инженерной мысли, учитывая множественные тесные связи с действующим производством. Несмотря на сложности интеграции, агломашина и шахтные печи работали без простоев вплоть до первой загрузки шихты в свинцовую печь ISASMELT™. В данной статье представлено описание инженерных сложностей, а также некоторые результаты последующей работы печи.



## Введение

Усть-Каменогорский металлургический комплекс (УКМК) представляет собой достойную металлургическую площадку, сохраняющую за собой ведущее место в разработке и внедрении технологий цветной пирометаллургии в течение вот уже более 70 лет. Производство цинка началось в 1943 г., производство свинца - в 1952 г. В итоге УКМК стал одним из самых крупных цинковых и свинцовых металлургических производств в мире. В течение многих лет он был центром промышленных разработок в области цинковой и свинцовой промышленности на территории бывшего СССР. Технические знания и опыт позволили разработать здесь многие процессы. Печь КИВЦЭТ, предназначенная для плавки свинцовых концентратов, является одной из самых известных разработок, которая затем стала применяться на заводах в Италии, Канаде и Китае.

Последние два десятилетия производство свинца осуществлялось на агломашинах "Лурги", при этом большая часть оборудования была установлена в 1974 г. Начиная с 2004 г., очистка аглогазов осуществляется на сернокислотной установке Haldor-Topsoe. Хотя установка Haldor-Topsoe и рассчитана на газы с низким содержанием  $\text{SO}_2$ , что является непригодным питанием для контактного процесса, сера, содержащаяся в газах на выходе из агломашины, утилизировалась только на 50%. Расчетные выбросы  $\text{SO}_2$ , составляющие 13000 т/г, обуславливаются именно этими газами, произведенными в течение обычного производственного года.

В 2006 г. Казцинк начал прорабатывать возможность смены технологии плавки свинца для снижения выбросов  $\text{SO}_2$  в атмосферу, при этом сохраняя как можно больше объектов существующей инфраструктуры и продолжая работать на агломашине с минимальными перебоями до того момента, как новая технология будет готова к эксплуатации. Новый завод должен был иметь множество тесных связей с существующим производством, в связи с чем управление этими связями потребовало деликатного проектирования в условиях существующего производства при тесном взаимодействии между персоналом плавильного производства и командой, реализующей проект.

## Проект свинцового ISASMELT™ производства

После тщательной оценки технологических вариантов Казцинк остановил свой выбор на строительстве печи ISASMELT™. Технология, некоторые проектные услуги и оборудование поставлялись компанией Glencore Technology.

## Производительность свинцового завода ISASMELT™

Свинцовый завод ISASMELT™ проектировался для переработки 291 000 тонн/год нового свинецсодержащего материала (без учета флюсов, топлива или пылей, образующихся в



результате самого процесса). Загружаемый материал Казцинк состоит из материалов трех основных типов:

- Обороты цинкового производства
- Свинцовые концентраты с рудников Казцинк
- Свинцосодержащая аккумуляторная паста казахстанских поставщиков
- Концентраты драгоценных металлов, иногда содержащие свинец, из разных источников в Казахстане и в Центральной Азии.

В зависимости от соотношения данных материалов, которое значительно колеблется в течение года, материал, загружаемый в свинцовую печь ISASMELT™, может содержать от 20 до 60% свинца. Техническим заданием на проектирование было предусмотрено, что завод будет перерабатывать новые свинцосодержащие материалы со средним составом, представленным в Таблице 1, при моментной скорости подачи - 40 т/час.

Таблица 1: Проектный состав шихты свинцового ISASMELT™ завода

Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	S (%)	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	C (%)	As (%)	Sb (%)	H <sub>2</sub> O (%)
10,5	42,9	2,4	17,2	9,1	5,6	0,0	0,4	0,20	14,8

На стадии проектирования было определено, что режим эксплуатации ISASMELT™ должен быть достаточно гибким, чтобы операторы Казцинк имели возможность справляться с прогнозируемыми колебаниями в типах и составе материалов. Из всего спектра имеющихся вариантов окислительная плавка свинца, в результате которой получается только богатый свинцом шлак, является наиболее приемлемой и надежной опцией. Следовательно, проектом завода был предопределен основной метод эксплуатации - окислительная печь ISASMELT™ для плавки свинца, после которой должна быть восстановительная печь. В случае с Казцинком для восстановления предполагалось использовать существующие шахтные печи, таким образом, общая схема процесса напоминала схему завода в Цюйцзине, Китай [1].

## Интеграция с существующим заводом

Завод ISASMELT™ проектировался для:

- Приемки окатанного свинцового концентрата непосредственно с существующего окатывателя, находящегося сверху агломашины;
- Подачи отлитых брикетов богатого свинцом шлака непосредственно в существующую тару, предназначенную для загрузки агломерата в шахтные печи;
- Подачи газа с высоким содержанием серы непосредственно на существующую сернокислотную установку Haldor-Topsoe через тот же самый газопровод и через те же дымоходы, что и для агломашины;



- Удаленного контроля посредством DCS за существующими загрузочными конвейерами и питателями бункеров флюсов агломашины, которые прежде никогда не были автоматизированы.

Необходимость соответствия всем этим условиям сделала проектирование трудной задачей, требующей больших затрат времени. Однако строгое соответствие этим четырем целям рассматривалось как необходимое условие для сокращения до минимума времени остановки в связи с переходом с эксплуатации агломашины на эксплуатацию свинцовой ISASMELT™ печи, а также для минимизации влияния на процессы вверх и вниз по потоку данного сложного действующего объекта. Схема свинцового ISASMELT™ завода и основные точки перехода материалов представлены на Рисунке 1.

Ключевой характеристикой плана завода на Рисунке 1 является относительно небольшая занимаемая площадь. Размер площадки был обусловлен ее инфраструктурой, и при проектировании приходилось учитывать эту трудность. На территории УМКБ было только одно подходящее место, где можно было бы соблюсти все четыре условия – место демонтированных 3х агломашин. Территория площадки была ограничена следующими сооружениями:

- на востоке - участком дробления оборотного агломерата;
- на западе - скиповым подъемником для агломерата;
- на севере - галереей загрузочного конвейера агломашины, и
- на юге - галереей ковшового транспортера оборотного агломерата.

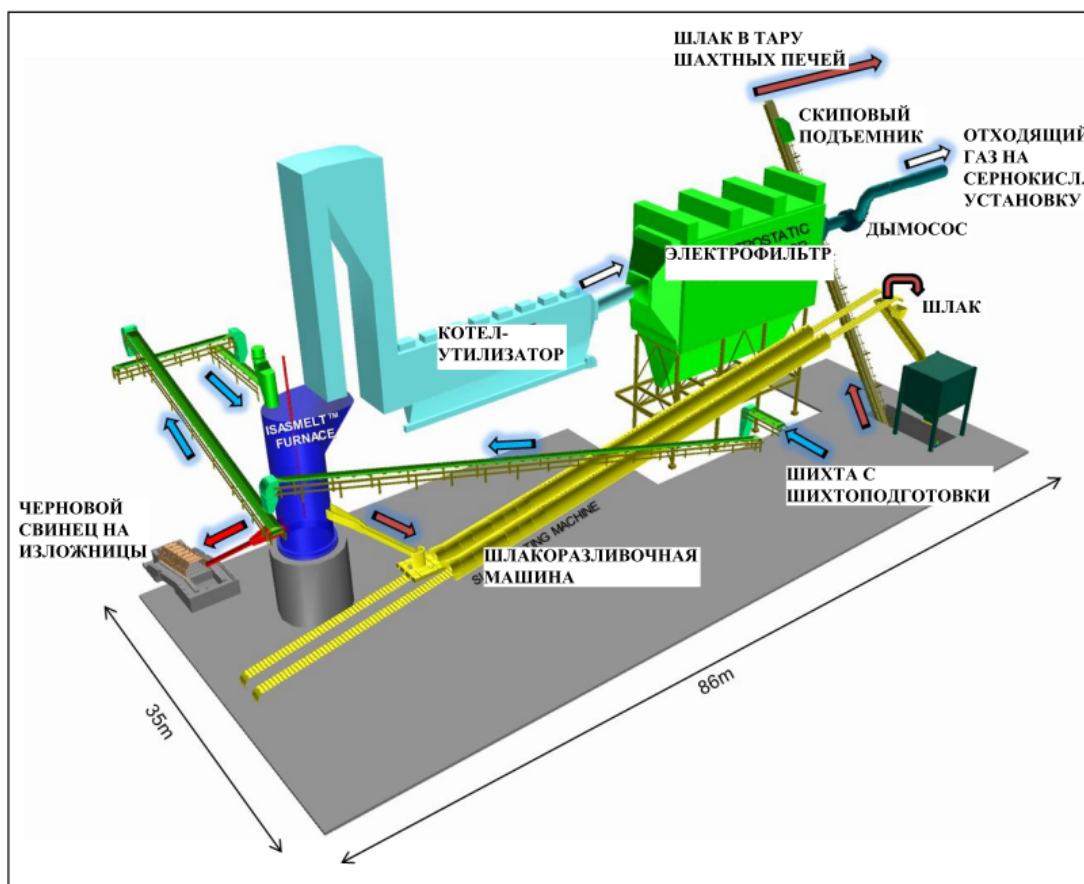


Рисунок 1: Свинцовый завод ISASMELT™ на УКМК

Каждая из установок вокруг площадки должна была продолжать работу на протяжении всего периода строительства и пусконаладочных работ. Каждый свободный квадратный метр был распланирован и использован для нового плавильного цеха площадью 86 x 35 метров. Плотность застройки в схематической форме представлена на Рисунке 2, где новое (коричневое) здание контрастирует со старыми (светло-зелеными) конструкциями. Компактная планировка завода и перекрестная проверка особенностей площадки проводилась в основном собственными инженерными силами Казцинка при содействии компании Engineering Dobersek GmbH.

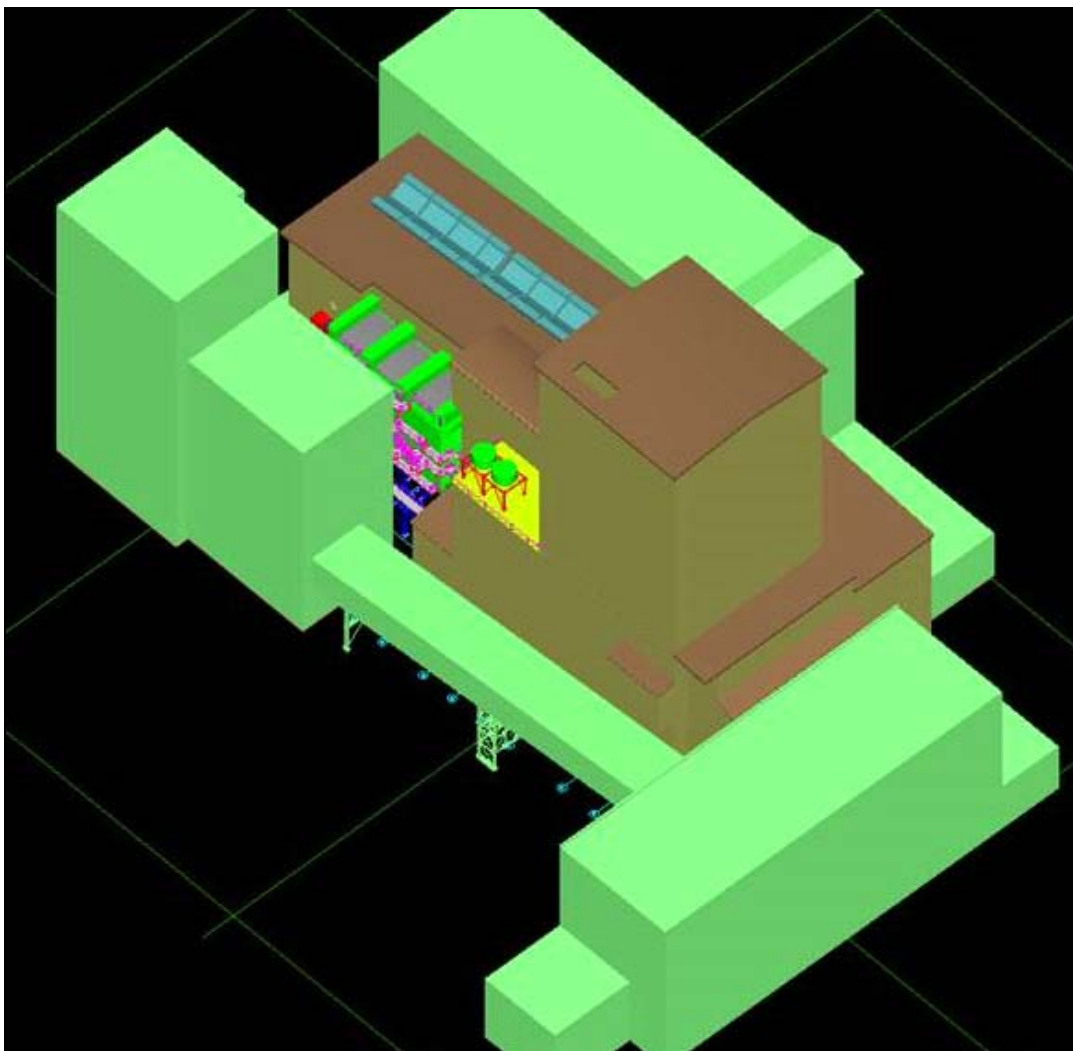


Рисунок 2: Свинцовый завод ISASMELT™ на УМКК

## Демонтаж и реконструкция

При проектировании завода учитывалась сложность интеграции с существующим производством, включая частичный демонтаж имеющихся конструкций. Задача была бы упрощена, если бы полностью демонтировались все конструкции (см. Рисунок 3), но это было невозможно. Выборочные участки на верхних этажах многоэтажных зданий должны были иметь опору, а оборудование - продолжать работу, в то время как производился демонтаж нижних этажей под новое оборудование. Демонтаж необходимо было проводить аккуратно, по частям.





Рисунок 3: Строительная площадка Свинцового завода ISASMELT™ на УКМК

### Строительные работы

После частичного демонтажа конструкций вокруг и расчистки достаточного пространства началось осторожное сооружение завода. Земляные работы по подготовке новых фундаментов производились небольшими механизмами, иногда вручную, чтобы обеспечить максимальную маневренность вокруг опор существующих конструкций. Фундамент печи ISASMELT™ отливался одним из первых, он представлен на Рисунке 4, на котором также частично видны опоры нескольких других конструкций по внешнему краю земляных работ.



Рисунок 4: Монтаж свинцовой печи ISASMELT™ на УКМК

## Подключение инженерных сетей и транспортировка материалов

Наиболее трудной задачей проекта свинцового завода ISASMELT™ была организация подключения инженерных сетей и транспортировки материалов. Модернизация системы подачи шихты стала отличным примером трудностей, которые пришлось решать. Необходимо было сохранить систему подачи шихты на агломерационную установку и перепрофилировать ее для подачи в свинцовую печь ISASMELT™. Однако оборудование агломерационной установки проектировалось для непосредственного управления, в то время как на свинцовом заводе ISASMELT™ планировалось внедрить автоматизированное дистанционное управление единицами оборудования. Таким образом, каждую из единиц оборудования системы подачи шихты на агломерационную установку нужно было перепроектировать и автоматизировать, прежде чем использовать для новых целей.

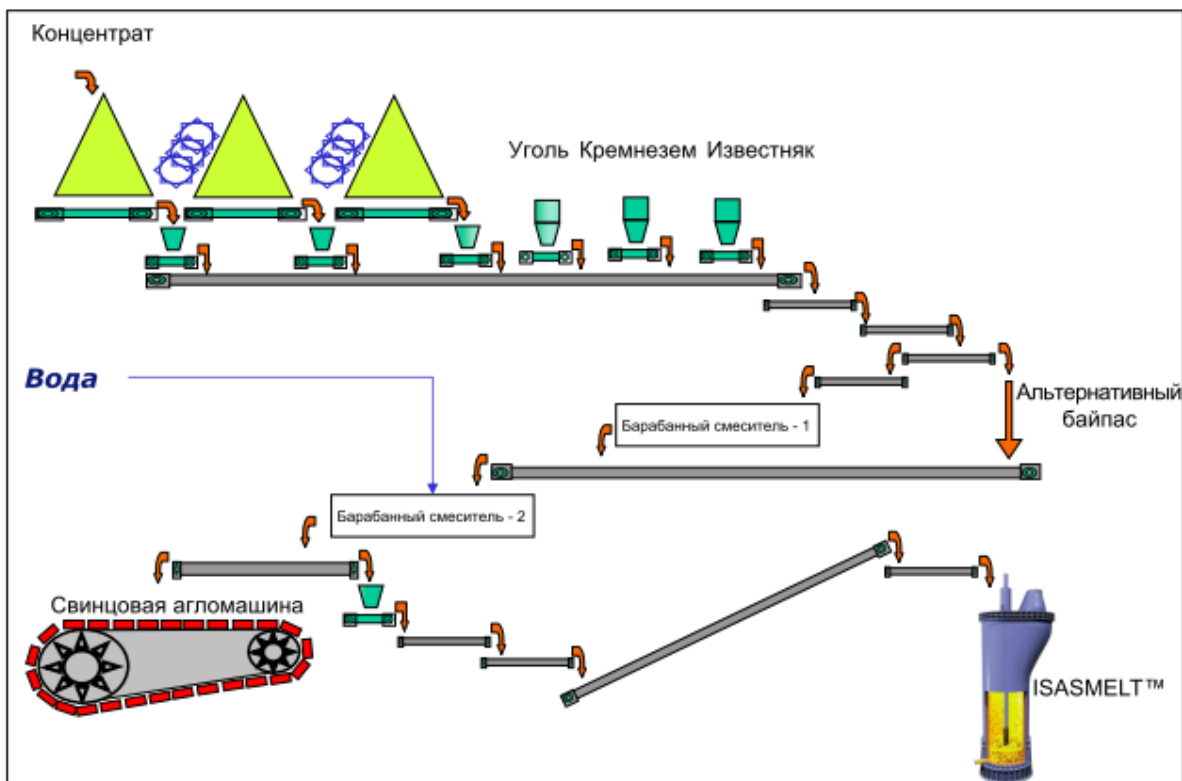
Примерно за 3 месяца до пусконаладочных работ на свинцовом заводе ISASMELT™ все оборудование системы загрузки свинцового агломерата (см. Рисунок 5) уже было автоматизировано, а электрические подключения производились во время плановой 8-часовой остановки на техническое обслуживание. С этого момента оборудованием





дистанционно управлял оператор из помещения, которое вскоре стало операторной свинцового завода ISASMELT™.

Рисунок 5: Общая система подачи шихты на свинцовую агломашину и на свинцовый завод ISASMELT™.



## Обучение операторов

Операторы прошли как практическое, так и теоретическое обучение до начала горячих пусков. Обучение на предприятиях Австралии и Китайской народной республики включало основы эксплуатации ISASMELT™ печей. Обучение на собственной площадке состояло из отработки эксплуатационных задач, процедур техники безопасности на рабочем месте и тестирования на знание теоретических аспектов эксплуатации завода.

Неожиданным и полезным преимуществом от автоматизации и подключения к электросети на раннем этапе стало то, что операторы получили возможность в течение многих недель набирать опыт использования автоматизированной системы управления заводом еще до ввода ISASMELT™ печи в эксплуатацию.



## Горячие пуски

Печь была разогрета и готова к эксплуатации к концу августа 2012 года. Плавка началась в сентябре того же года. В течение следующих нескольких месяцев предстояло решить еще несколько проблем.

## Загрузка шихты для запуска

По причине сложных и продолжительных работ по проектированию завода на территории действующего предприятия с начала проектирования до запуска ISASMELT™ завода прошло около 6 лет. За эти 6 лет Казцинк ввел в эксплуатацию новые активы, разрабатывающие свинцовые месторождения, вывел из эксплуатации старые, внес изменения во внутренние рециркуляционные потоки завода и существенно изменил тип шихты, которую предполагалось перерабатывать в ISASMELT™ печи. Комбинированная шихта (без учета флюсов и топлива) на момент ввода в эксплуатацию завода ISASMELT™ в сентябре 2012 года имела состав, представленный в Таблице 2 (среднее значение первых 10 штабелей смешанной шихты по 2500 тонн каждый).

Таблица 2: Состав шихты свинцового ISASMELT™ завода при запуске

Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	S (%)	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	C (%)	As (%)	Sb (%)	H <sub>2</sub> O (%)
7,4	30,7	2,66	17,2	12,2	8,5	0,67	0,66	0,22	10,9

Основными отличиями проектного состава шихты, представленного в Таблице 1, и реального состава, представленного в Таблице 2 были:

- Содержание свинца ниже примерно на 12 процентных точек
- Содержание мышьяка выше примерно на 0,3 процентных точки
- Содержание влаги ниже примерно на 4 процентных точки
- Наличие органического углерода в некотором количестве, хотя его присутствие изначально вообще не предполагалось

Данные отличия создавали трудности в последующий период эксплуатации.

## Наращивание объемов производства

Впервые завод ISASMELT™ достиг своей проектной суточной производительности через 5 недель после начала плавки. Однако поддержание проектной производительности в течение периодов более длительных, чем несколько последовательных дней, не представлялось возможным в течение нескольких месяцев, пока не были оптимизированы вспомогательные



единицы оборудования – шлакоразливочная машина, промежуточная мульда, КУ ЭФ система подачи шихты, газоходный тракт и тд.

## Операции выпуска и розлива шлака

Розлив шлака - это непрерывная операция, требующая непрерывной подачи расплавленного шлака, которая достигается благодаря специально разработанному ISASMELT™ процессу выпуска. Выпущенный шлак распределяется на каждую из двух лент проточной машины розлива шлака, спроектированной и поставленной Ormeto Yumz. Обнаружилось, что эксплуатационные свойства шлакоразливочной машины зависят от температуры выпускаемого шлака.

Частично по причине более низкого содержания свинца в поступающей шихте свойства выпускаемого шлака отличались от ожиданий поставщика: плотность шлака была меньше, а его температура - выше. Это в свою очередь означало, что шлакоразливочная машина работала на максимальной скорости, повышая температуру брикетов шлака на разгрузочном конце разливочной машины. Изначально возникли некоторые трудности с извлечением шлаковых брикетов из изложниц. Действия по устранению данной проблемы включали:

- Изменения в конструкции наковальни, о которую ударяются изложницы рядом с головным барабаном шлакоразливочной машины.
- Установку системы нанесения средства, облегчающего выемку из изложниц, в хвостовой части шлакоразливочной машины, на выходе из которой принимается разлитый шлак.
- Увеличение в два раза размера ячеек с шлаковыми брикетами на каждом лотке для изложниц.

После завершения этих действий выемка шлака из изложниц стала более надежной.

## Переработка пыли

Масса пыли, собираемой из отходящих газов печи ISASMELT™ котлом-утилизатором (КУ) и электрофильтром (ЭФ), как правило, составляла 7% от общей массы поступающей шихты. Типичная частица пыли имела диаметр около 10-20 мкм, а скопления пыли крепко прилипали к стальным конструкциям. Размер КУ был рассчитан таким образом, чтобы соответствовать ожидаемым потерям при теплопередаче, а липкая пыль не влияла отрицательно на сам КУ.

Однако работа ЭФ нарушалась скоплением пыли рядом с входным отверстием отходящих газов и неэффективностью работы молотков по выбиванию пыли на данном участке. Удаление внутренних выступов позволило сократить точки, на которых накапливался пылевой настыль. Этой меры вместе с повышением температуры поступающего отходящего газа на 50 °С и улучшением конструкции молотков было достаточно для того, чтобы ЭФ заработал полноценно.



КУ работал на существенно сокращенном объеме отходящего газа по сравнению с проектными значениями. В основном, это было следствием того, что реальная шихта имела содержание влаги на 4 процентные точки ниже, чем проектные значения, и таким образом необходимость в сжигании топлива и генерировании отходящего газа была существенно сокращена. Фактически обычная работа печи зачастую была автогенной, а КУ получал примерно на 30% меньше газа, чем допускает его проектная мощность. Испарители конвекционной секции КУ постепенно удалялись, пока не была достигнута оптимальная передача тепла, благодаря чему температура ЭФ поддерживалась ниже допустимой максимальной температуры на входе, но при этом она не приближалась к точке кислотной росы.

## Эксплуатация шахтных печей

Казцинк продолжал работу в рамках проекта модернизации, исходя из предположения, что существующих свинцовых шахтных печей будет достаточно для переработки шлака, получаемого на свинцовом заводе ISASMELT™, при этом капитальные затраты будут минимальны. Это предположение впоследствии подтвердилось. Мгновенная мощность печи ISASMELT™ по получению шлака примерно в два раза больше мгновенной мощности шахтной печи Казцинка по плавке шлака, поэтому большую часть времени в эксплуатации находится две шахтные печи.

Шлак ISASMELT™ обычно содержит меньше CaO, чем требуется для соответствия целевым значениям химии шлака шахтных печей. Следовательно, начиная с момента загрузки шлака из печи ISASMELT™, добавление известнякового флюса в загрузку шахтных печей стало стандартной эксплуатационной практикой. Это не вызвало каких-либо затруднений.

Одним из неожиданных аспектов реализации проекта стало то, что перепрофилирование работы шахтных печей с переработки агломерата на переработку шлака осуществлялось не одномоментно. В шахтных печах успешно переплавлялся штабелированный материал либо из одного, либо из другого аппарата, а также в течение многих месяцев перерабатывались шлак и агломерат различного состава в смеси, варьирующейся от 0-100%. Это дало хорошую возможность для оценки производительности печи при использовании шлака ISASMELT™ в качестве загружаемого материала по сравнению с использованием агломерата. Общие результаты следующие:

- В шахтной печи используется меньше кокса на каждую единицу загрузки при плавке шлака по сравнению с плавкой агломерата. Снижение произошло примерно на 2 процентных точки.
- Добавление сульфидирующего вещества в загрузку шахтной печи необходимо для обеспечения перехода избыточной меди в штейновую фазу, а не в нежелательную шпейзовую.





## Период после пуска наладочных работ

На первом году после начала эксплуатации свинцового завода ISASMELT™ Казцинк принял решение об определении технологической гибкости новой печи. Специалисты подготовили специальную шихтовую смесь, примерный состав которой представлен в Таблице 3. Целью испытания было сравнение эксплуатации печи ISASMELT™ при производстве чернового свинца и шлака с эксплуатацией при производстве только шлака (что является типичным способом эксплуатации в соответствии с процессом, описанным в [2]).

Таблица 3: Состав шихты во время испытательного периода

Zn (%)	Pb (%)	Cu (%)	S (%)	Fe (%)	SiO <sub>2</sub> (%)	As (%)	H <sub>2</sub> O (%)
3,9	58,9	0,3	14,5	6,7	3,9	0,1	10,4

Испытания прошли успешно, а устройства выпуска и розлива чернового свинца были введены в эксплуатацию и оценены по сравнению с проектными целями.

Первая замена футеровки производилась через 24 месяца после первого разогрева печи. Было отмечено хорошее состояние футеровки большей части зон печи, также были локализованы зоны износа и предприняты предупредительные меры для проведения второй кампании.

Компания прикладывает постоянные усилия для оптимизации спецификации материалов для изготовления частей вновь используемой системы отходящих газов агломерационной установки, так как подача отходящих газов ISASMELT™ (содержащих сокращенный объем газа и более сильную концентрацию SO<sub>3</sub>) привела к ускоренной кислотной коррозии по сравнению с предыдущим опытом.

## Перспективы на будущее

Внедрение технологии ISASMELT™ на УКМК стало самым последним из длинной череды усовершенствований за последние 70 лет эксплуатации на данном почетном предприятии. Теперь, когда технология успешно внедрена в схему УКМК, следующей задачей становится рассмотрение возможности модернизации шахтных печей либо экономическая привлекательность их замены на современную технологию. В данный момент продолжается оценка возможных вариантов. Было признано, что наличие свинцовой печи ISASMELT™ в данный момент открывает новые возможности для развития, которых ранее не существовало.



## Выводы

Свинцовый завод ISASMELT™ был успешно внедрен в плавильную технологическую схему Усть-Каменогорского металлургического комплекса. Новый завод строился и вводился в эксплуатацию на территории действующего производства, при этом большое внимание уделялось оптимизации существующих плавильных активов. Эксплуатация началась с подачи шихты, которая отличалась от первоначального технического задания, но на технологию плавки это отличие существенно не повлияло. В данный момент завод перерабатывает разнообразную шихту, содержание свинца в которой варьируется в диапазоне 30 – 60 % при мгновенной производительности, превышающей на 20% исходные проектные параметры. Внедрение технологии ISASMELT™ стало самым последним из длинной череды усовершенствований металлургического производства на КАЗЦИНКе – но компания на этом не останавливается и уже сейчас рассматривает уже другие технологии для дальнейшей модернизации.

## Благодарности

Авторы желают выразить благодарность ТОО «Казцинк» за разрешение использовать данные и фотографии для публикации. Авторы хотели бы выразить благодарность компании Glencore Technology Pty Ltd и ТОО «Казцинк» за разрешение публикации данной статьи.

## Использованная литература

- [1] ERRINGTON, B., ARTHUR P., WANG, J. & DONG, Y. (2005): “The ISA-YMG Lead Smelting Process”, Proceedings of the International Symposium on Lead and Zinc Processing, Kyoto, Japan, October 2005, T. Fujisawa et al., Eds., MMIJ, pp. 581-599.
- [2] ERRINGTON, B., FEWINGS, J.H., KERAN, V.P., & DENHOLM, W.T. (1987): “The ISASMELT Lead Smelting Process”, Trans. Instn. Min. Metall., Section C, vol 96.