МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Металлургии и Промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

Карибаев Дияс Ерикулы

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Исследование поведения меди при конвертировании медных штейнов

5В070900 – Металлургия

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Металлургии и Промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующий кафедрой МиОПИ
кандидат технических наук
_____М.Б. Барменшинова
«____» _____2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Исследование поведения меди при конвертировании медных штейнов

5В070900 – Металлургия

Выполнил Карибаев Дияс Ерикулы

Научный руководитель
Кандидат технических наук,
ассоциированный профессор
_____Н.К. Досмухамедов
«___»_____2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Металлургии и Промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащения полезных ископаемых

5В070900 – Металлургия

«УТВЕРЖДАЮ»
Заведующая кафедрой МиОПИ
кандидат технических наук
_____М.Б. Барменшинова
«____» _____2020 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение дипомной работы

Обучающемуся: Карибаев Дияс Ерикулы
Тема: «Исследование поведения меди при конвертировании медных штейнов»
Утверждена *приказом Ректора Университета №762-б от 27.01.2020 г.*
Срок сдачи законченной работы *«20» мая 2020 г.*
Исходные данные к дипломной работе: Промышленные данные корпорация «Казахмыс»
Краткое содержание дипломной работы:
а) Современное состояние конвертирования медных штейнов;
б) Металлургические расчеты;
Перечень графического материала: *представлены ___ слайдов презентации работы*
Рекомендуемая основная литература: *из 16 наименований.*

ГРФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень рассмотренных вопросов	Сроки предоставления научному руководителю	Примечание
Введение	11.03.2020 г.	
Литературный обзор	25.03.2020 г.	
Металлургические расчеты	08.04.2020 г.	
Заключение	22.04.2020 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу
с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименование разделов	**Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)**	**Дата подписания**	**Подпись**
Нормоконтролер	А.Н. Таймасова		

Научный руководитель _____ Н.К. Досмухамедов

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Д.Е. Карибаев

Дата «3» февраля 2020 г.

АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс 32 беттен, 19 кестеден, 2 суреттен және 13 қолданыллған әдебиеттерден тұрады.

Зерттеу пәні: Мыс штейнін конвертерлеу кезіндегі мысты бақылау.

Жұмыстың мақсаты: Мыс штейнін конвертерлеу процесіне сульфидті мыс концентратын тікелей қосу арқылы конвертерлеу процесінің экономикалық көрсеткіштерін зерттеу.

Жұмыстың басты мақсаттарының бірі – сульфидті мыс концентратын конвертерлеу процесіне тікелей қосып, экзотермиялық процесстер негізінде пайда болган артық энергияны толық пайдалана отыра мыс штейнін конвертерлеу процесінің технико-экономикалық көрсеткіштерін жақсарту. Жұмыс соңында, аналогты технологиямен салыстырғанда экзотермиялық энергия толық пайдаланылатын, және де мыс концентратының өңдеу жолы қысқартылған тиімді нәтижеге қол жеткізілді.

АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из 32 страниц, 19 таблиц, 2 рисунков и 13 использованных источников.

Предмет исследования: Исследование поведения меди при конвертировании медных штейнов.

Цель работы: Исследование улучшения экономических показателей процесса конвертирования медных штейнов, путем прямого добавления медного концентрата в конвертер.

Решаемая задача данной работы – улучшение технико-экономических показателей процесса конвертирования медных штейнов используя остаточную энергию, вырабатываемыми экзотермическими реакциями в процессе конвертирования, добавлением сульфидно-медного концентрата. По результатам исследования был достигнут эффективный результат по сравнению с аналогичным процессом конвертирования медного штейна и сокращением пути плавки концентрата меди.

ANNOTATION

The thesis includes 32 pages, 19 tables, 2 graphs and 13 used sources.

Subject of research: Investigation of the behavior of copper when converting copper matte.

The purpose of the thesis: Practical and theoretical study of improving the economic indicators of the process of converting copper matte, by directly adding copper concentrate to the Converter.

The goal of this work is to improve the technical and economic indicators of the Converter process of copper matte using the residual energy generated by exothermic reactions during the conversion process, the addition of copper sulfide concentrate. According to the results of the study, an effective result was achieved in comparison with the similar process of converting copper matte and reducing the melting path of copper concentrate.

СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	9
1	Современное состояние конвертирования медных штейнов	10
1.1	Теоретические основы процесса конвертирования	10
1.2	Практика процесса конвертирования	18
1.3	Характеристика продуктов конвертирования	20
2	Металлургические расчеты	21
2.1	Расчет материального баланса конвертирования медных штейнов совместно с сульфидным медным концентратом	21
2.1.1	Расчет рационального состава медного штейна	21
2.1.2	Расчет рационального состава медного концентрата	21
2.1.3	Расчет рационального состава кварцевой руды	22
2.2	Расчет первого периода конвертирования	22
2.2.1	Количество и состав кварцевой руды и конвертерного шлака	22
2.2.2	Количество и состав белого матта	25
2.2.3	Количество и состав отходящих газов	25
2.3	Расчет второго периода конвертирования	29
2.3.1	Расчет количества и состава черновой меди и отходящих газов	29
2.4	Сводный материальный баланс	31
2.5	Расчет теплового баланса первого периода конвертирования	32
2.5.1	Расчет прихода и расхода тепла	32
2.6	Расчет теплового баланса второго периода конвертирования	32
2.6.1	Расчет прихода и расхода тепла	32
2.7	Сводный тепловой баланс конвертирования	33
3	Исследование распределения меди и сопутствующих металлов между продуктами конвертирования	34
3.1	Распределение меди и других металлов между продуктами конвертирования медных штейнов	34
3.2	Распределение меди и других металлов между продуктами конвертирования медных штейнов совместно с сульфидным медным концентратом	37
	Заключение	39
	Список использованной литературы	40
	Приложения А Металлургические расчеты	41
	Приложения Б Металлургические расчеты	61

ВВЕДЕНИЕ

Горно-металлургическая промышленность является одной из отраслей специализации Республики Казахстан в современном международном разделении труда. По оценкам экспертов, общая стоимость разведанного и оцененного минерального сырья страны достигает порядка 11 трлн долл. США. Значительный природно-ресурсный потенциал составляет основу экономического благосостояния страны и создания экономически эффективного, социально ориентированного и экологически безопасного минерально-сырьевого комплекса, в структуре которого особое место занимает ГМК.

Все пирометаллургические способы переработки медьсодержащих материалов при наличии в шихте серы предполагает получение штейна, в которой извлекается основная масса меди и благородных металлов. Задачей дальнейшей переработки штейна в черновую медь, включающую кроме меди также практически все золото и серебро, является удаление железа и серы из штейна. Этот процесс выделения меди производится окислением железа и серы и переводом окислов железа в шлак, а сернистого ангидрида в газы.

В данной работе был исследован способ добавления медного концентрата в процесс конвертирования медных штейнов для использования остаточной энергии. Преимуществом данного способа является то, что достигается тепловой баланс, и сокращается путь обработки медного концентрата, добавляемый в конвертер, который минует процесс плавки на штейн.

В результате сделанных теоретических и практических работ было доказано, что данный способ улучшает технико-экономические показатели процесса конвертирования медных штейнов.

1 Современное состояние конвертирования медных штейнов

Горно-металлургическая промышленность является одной из отраслей специализации Республики Казахстан в современном международном разделении труда. По оценкам экспертов, общая стоимость разведанного и оцененного минерального сырья страны достигает порядка 11 трлн долл. США. Значительный природно-ресурсный потенциал составляет основу экономического благосостояния страны и создания экономически эффективного, социально ориентированного и экологически безопасного минерально-сырьевого комплекса, в структуре которого особое место занимает ГМК.

Из статистического сборника «Промышленность Казахстана и его регионов. 2011−2015», опубликованного Комитетом по статистике Министерства национальной экономики в 2016 году, следует, что добыча меди в Казахстане поступательно растет. В том числе добыча меди в концентрате с 2011 по 2015 год выросла с 405 тысяч тонн до 458 тысяч тонн.

Таблица 1 – Статистика производство меди в Казахстане

	2011	2012	2013	2014	2015
Черновая медь, тонн	302 975	302 183	269 220	214 058	309 355
Медь рафинированная необработанная, нелегированная, тонн	338 524	367 161	352 061	294 808	394 641
Медная проволока, тонн	32 300	24 300	12 300	12 800	8 200

Процесс конвертирования медных штейнов является одним из главных составляющих всего технологического производства меди, в котором медь очищается от железа, серы, и от других примесей. Оно прямо влияют на качество итогового продукта. Как уже известно, производители черновой меди в нашей стране используют старые методы конвертирования медных штейнов, которые требуют технических улучшений. Это обусловлено тем, что продукт конвертирования является не чистым по современным меркам, а также тем, что энергия, вырабатываемая экзотермическими реакциями, не используется полностью, тем самым она требует модернизаций.

1.1 Теоретические основы процесса конвертирования

При любом виде плавки медного рудного сырья происходит концентрирование меди, благородных металлов и ряда редких и рассеянных

элементов в штейне, который выдается из плавильных печей в жидком виде. Целью дальнейшей переработки медного штейна является получение черновой меди. В ней будут концентрироваться также практически все золото и серебро, и частично редкие элементы.

Процесс конвертирования проходит путем окисления железа и серы продувкой через слой расплавленного штейна воздуха или дутья, обогащенного кислородом. Оно сопровождается переводом оксидов железа в шлак, а SO_2 в газы. Вследствие экзотермичности реакций окисление сульфидов и шлакообразования, процесс конвертирование не требует затрат постороннего источника теплоты, и является типичным автогенным процессом.

Медные штейны, как уже отмечалось выше, в основном состоят из сульфидов меди Cu_2S и железа FeS. Содержание меди в них в зависимости от состава перерабатываемого сырья и применяемого вида плавки колеблется от 10-12% до 70% и более. Поскольку между содержанием в штейне меди и железа существует обратно пропорциональная зависимость, его состав влияет на технико-экономические показатели процесса конвертирования: расход дутья, продолжительность продувки, количество использованных флюсов, и образующего конверторного шлака, тепловой режим процесса.

Процесс конвертирования медных штейнов протекает в два периода. В первом периоде практически полностью окисляется сульфид железа, во втором получается черновая медь за счет окисления полусернистой меди.

Из состава медных штейнов вытекает вывод о пропорциональности, существующей между содержанием железа и меди в штейне: чем больше в нем полусернистой меди, тем соответственно меньше сернистого железа. Соответственно время проведения процесса конвертирования напрямую связано с содержанием в штейне меди. Если же, содержание меди в штейне мала, то и время для процесса конвертирования потребуется больше, тем самым потери меди со шлаком и с пылью возрастает, и количество шлака будет выше.

Таблица 2 – Пропорциональность содержания меди и железа

Содержание меди в штейне, %	10	25	50
Прямое извлечение в черновую медь, %	65-70	90	98
Извлечение в шлак, %	25	7-8	1,7
Переход в пыль и газы, %	5-8	2-3	0,3

Конвертирования медных штейнов основано на окислении сульфидного расплава кислородом, содержащимся в дутье.

Процесс начинается с окисления сульфида железа по реакции:

$$2FeS + 3O_2 = Fe_2SiO4 + 2SO_2 + 1030290 \text{ кДж.} \quad (1)$$

Пока в расплаве имеется достаточное количество железа, сульфид меди практически не окисляется, поскольку равновесие реакции:

$$Cu_2O + FeS = Cu_2S + FeO. \quad (2)$$

нацело сдвинуто вправо вследствие более высокого сродства железа к кислороду и меди к сере. Таким образом, в первом периоде конвертирования происходит селективное окисление сульфида железа. В фурменной зоне вследствие относительного «избытка» кислорода окисление FeS протекает по схема $FeS \rightarrow FeO \rightarrow Fe_3O_4$. В конечном итоге при глубоком окислении все железо может быть переокислено до магнетита, который при температурах конвертирования находится в твердом состоянии ($t_{плав}$ магнетита равна 1590 °С). При перемешивании расплава воздухом будет образовываться однородная гетерогенная масса, состоящая из магнетита и оставшихся сульфидов. Таким образом, при чрезмерном переокислении расплава, несмотря на практически полное окисление сульфида железа, разделение оксидной и оставшийся сульфидной фаз становится невозможным.

Для отделения образующихся оксидов железа от сульфидов необходимо их концентрировать не в твердом, а в жидком продукте и добиваться возможно меньшего переокисления железа до магнетита и получения его в основном в виде FeO по реакции:

$$2FeS + 3O_2 = 2FeO + 2SO_2 + 937340 \text{ кДж}. \quad (3)$$

С этой целью для образования железосиликатного расплава в первом периоде конвертирования в конвертер подают кварц. При растворении вюстита в шлаке снижается его активность, и тем в большей степени, чем больше концентрация SiO_2 в шлаке. Снижение активности вюстита замедляет его окисление, однако предотвратить процесс переокисления железа до магнетита добавкой кварца полностью не удается. Остаточное содержание магнетита в шлаке определяется тем, насколько благоприятные условия созданы для протекания реакции (4):

$$3Fe_3O_4+FeS+5SiO_2=5(2FeO\cdot SiO_2)+SO_2. \quad (4)$$

восстановления магнетита сульфидам железа. С заметной скоростью эта реакция протекает начиная с температуры 1200°С. Поскольку с повышением температуры скорость и полнота разложения магнетита возрастают, процесс конвертирования желательно вести форсированно при максимально высоких температурах. Однако необходимость увеличение срока службы огнеупоров требует ограничения рабочих температур процесса. Их обычно поддерживают в пределах 1280-1320°С.

Отсюда следует, что существующая конструкция конвертеров не полностью соответствуют требованиям технологии. Необходимо либо

дальнейшее совершенствование процесса, либо введение операции обеднения шлака.

Снижение активности FeO в шлаке достигается путем увеличения содержания в нем кремнезема. Простое увеличение расходе кварца далеко не всегда приводит к этому. Кислотность шлака в конечном итоге определяется количеством оксидов железа, образующихся в единицу времени и скоростью растворения SiO_2 в шлаке. Последняя в свою очередь зависит от температуры, величины контактной поверхности кварца и шлака, и реакционной способности флюса.

С повышением температуры скорость растворения кварца возрастает и кислотность шлака повышается. Оптимальным считается SiO_2 в конвертерном шлаке в пределах 23 – 26 %. Снижение содержания кремнезема влечет за собой повышение в шлаке содержания магнетита и меди. Чрезмерное его повышение не дает достаточного эффекта по снижению содержания меди магнетита и не вызывает дополнительных затрат на флюсы.

Применение грязного кварца (особенно содержащего тугоплавкие компоненты) приводит к уменьшению скорости его растворения, увеличению выхода конвертерных шлаков, снижению их кислотности и в конечном итоге к увеличению потерь меди с отвальными шлаками, поскольку конвертерный шлак, как правило, направляют в плавильные печи. Исключение может составить применение золотосодержащего кварцевого флюса, например, кварцевых хвостов золотоизвлекательных фабрик. В этом случае дополнительное извлечение благородных металлов оправдывает использование несколько более грязных флюсов. Однако при этом необходимо учитывать, что дополнительное извлечение сопровождается увеличением потерь меди. Экономическая эффективность применения золотосодержащих флюсов должна во всех случаях тщательно рассчитываться.

Все физико-химические процессы в конвертере протекают в условиях непрерывной циркуляции расплава, связанной с воздействием на расплав газовых струей. Скорость протекания процессов окисления в барботируемой зоне при высоких температурах и энергичном перемешивании весьма велика. Благодаря этому в конвертере обеспечивается практически полное использование кислорода, несмотря на малое время контакта газов с расплавом. Высокие скорости окисления приводят также к накоплению магнетита в зоне барботажа. Магнетит при этом растворяется как в штейне, так и в шлаке. Пока в конвертере находится сравнительно бедный штейн, межфазное натяжение на границе штейна и шлака невелико. Это приводит к тому, что при барботаже воздухом штейн и шлак эмульгируются, образуя довольно тонкую однородную дисперсную систему, которая циркуляционным потоками выносится в более спокойную, застойную зону.

Разделение штейна и шлака в спокойной зоне конвертера из-за малых размеров капель в начале продувки и малого времени пребывания эмульсии в этой зоне протекает в незначительной степени. В начале продувки количество шлака в эмульсии и содержание в шлаке SiO_2 невелико, но они постепенно

возрастают. Количество шлака в эмульсии зависит от того, насколько полно был слит шлак в предыдущей продувке. В зависимости от содержания шлака в штейно-шлаковой эмульсии существенно меняются механизм и кинетика окисления сульфидов. В начальный период продувки, когда в ванне отсутствует шлак, протекает прямое окисление штейна. При этом в зоне окисления отсутствуют флюсы, поскольку кварц, имеющий значительно меньшую плотность, удерживается на поверхности ванны. Окисление жидких сульфидов в условиях энергичного барботажа протекает с большой скоростью, и кислород полностью используется в сравнительно узкой зоне, примыкающей к фурмам. Выделение большого количества теплоты от окисления сульфидов в относительно малом объеме приводит к резкому возрастанию температуры в области фурм (1600 °С и больше). Высокие температуры в области фурм при частых теплосменах являются причиной быстрого износа футеровки фурменного пояса.

Как указывается в системе Cu_2S – FeS – FeO существует широкая область полной растворимости. При температуре 1200 °С растворимость FeO в сульфидах достигает 40-60 %. Высокая растворимость FeO в сульфидах приводит к образованию в конвертере вначале гомогенного сульфидно-оксидного расплава, что подтвердили анализы проб расплава, отработанных непосредственно через фурмы. Взаимная растворимость компонентов системы Cu_2S – FeS – FeO падает с увеличением Cu_2S в штейне. Особенно резко она падает с увеличением содержания SiO_2 в шлаке. Взаимодействие сульфидно-оксидного расплава с кремнезёмам протекает в верхних частях расплава и приводит к постоянному накоплению в нем оксидной фазы с низким содержанием SiO_2. Вследствие высокого окислительного потенциала в условиях процесса конвертирования и относительно низкой средней температуры в конвертере значительное количество железа окисляется до магнетита в тем большей степени, чем ниже температура и меньше активность SiO_2 в шлаке и FeS в штейне. Следовательно, формированием шлака при продувке происходит постепенно и лимитируется скоростью растворения кремнезема. Поэтому, шлак перед его сливом из конвертера должен быть хорошо и окончательно сформирован. В противном случае он будет содержать слишком много меди.

Продувка штейна без достаточного количество шлака имеет целый ряд существенных недостатков: чрезмерное высокая температура в областях фурм, образование агрессивных первичных оксидно-сульфидных расплавов, высокое содержание в шлаках магнетита и меди вследствие сравнительно низкой средней температуры в конвертере. Некоторые из этих недостатков могут быть устранены или уменьшены в результате подачи кварца непосредственно в зону интенсивного барботажа (например, через фурмы).

Сформировавшийся в барботажной зоне первичный шлак оттесняется циркуляционными потоками в застойную зону, где продолжают протекать процессы, идущие с меньшими скоростями, чем процессы окисления. Важнейшим из них являются процессы восстановления магнетита сульфидами в шлаковом расплаве и на границе раздела штейна со шлаком. Насыщение шлака

сульфидами, сульфидирование окисленной меди, перераспределение компонентов между продуктами плавки в соответствии с константами равновесия и распределения, промывка шлака каплями сульфидов. Протекающие в постоянно циркулирующей ванне конвертера процессы могут быть описаны следующими суммарными уравнениями:

$$3Fe_3O_4 + FeS + 5SiO_2 = 5(2FeO\ SiO_2) + SO_2, \quad (5)$$

$$[Fe_3O_{4шт}] \leftrightarrow (Fe_3O_4), \quad (6)$$

$$[FeS] \leftrightarrow (FeS), \quad (7)$$

$$(Cu_2O)_{шл} + [FeS] \leftrightarrow [CuS] + (FeO). \quad (8)$$

По мере продувки содержание меди в штейне постепенно возрастает, что приводит к увеличению межфазного натяжения на границе раздела шлак – штейн, следовательно, и к увеличению размера капель штейна. При высоких значениях поверхностного натяжения скорость разделения фаз становится насколько значительной, что первичная однородная шлако-штейновая эмульсия начинает распадаться и богатый штейн в виде компактной самостоятельной фазы концентрируется в застойных зонах конвертера.

Восстановлению магнетита сульфидами при конвертировании способствует энергичный барботаж ванны газами. Благодаря этому уменьшается парциальное давление SO_2 в газовом пузыре и снимается энергетический барьер, связанный с зарождением пузыря. Вследствие этого конечное содержание магнетита в конвертерных шлаках при нормальном введении процесса, несмотря на осуществление его в окислительных условиях, оказывается ниже, чем при плавках во взвешенном состоянии.

В первый период конвертирования проходит постепенное накопление в конвертере обогащенной медью сульфидной массы. В связи с этим после каждой заливки штейна и его частичной продувки из конвертера сливают шлак и заливают дополнительную порцию штейна. Затем вновь проводят продувку. Эти операции в течение первого периода проводя несколько раз, пока в конвертере не накопится достаточное количество богатой массы.

Реакции окисления сульфидов, как известно, протекают с большим выделением теплоты. Высокая скорость окисления сульфидов приближает условия работы зоны барботажа к адиабатическим, т. е. подавляющая часть теплоты расходуется на перегрев продуктов плавки, которые далее как бы растекаются по поверхности материалов. Выделяющейся при окислении сульфидов теплоты вполне достаточно не только для покрытия всех тепловых потерь, но и для существенного перегрева расплава.

В первом периоде процесса конвертирования медных штейнов температура в конвертера повышается со скоростью 5 – 7 °С в минуту.

Конвертерные шлаки содержат 1,5 – 3 % Cu не могут быть направлены в отвал. В настоящее время их в жидком виде направляют для обеднения в плавильные агрегаты.

Первый период процесса конвертирования медных штейнов заканчивается «холостой» продувкой (без заливки штейна), целью которой является практически полное окисление сульфида железа из обогащенной медью сульфидной массы и получение белого штейна (матта), представляющая собой почти чистый сульфид меди Cu_2S. Конвертерные шлаки последних продувок характеризуются повышенным содержанием седи и поэтому возвращаются на предыдущие операции конвертирования.

Переход от первого периода конвертирования ко второму происходит в некотором интервале изменений содержания сульфида железа в штейне. Снижение активности FeS в штейне приводит к смещению равновесия реакции [2] в левую сторону, поскольку при этом одновременно повышается активность Cu_2S и уменьшается активность FeO. Остаточное содержание FeS в богатом штейне в тот момент, когда начинается с заметной скоростью совместное окисление Cu_2S и FeS, составляет 4 %.

Химизм второго периода конвертирования, имеющего своей целью получение черновой меди, может быть выражен реакцией [11], которую часто изображают как протекание двух процессов:

$$2Cu_2S + 3O_2 = 2CuO + SO_2, \quad (9)$$

$$Cu_2S + 2Cu_2O = 6Cu + SO_2, \quad (10)$$

$$Cu_2S+O_2=2Cu++SO_2. \quad (11)$$

Второй период состоит из трех стадий, которые хорошо отображены на схематической предоставленной рисунке 1 диаграмме состояния Cu – Cu_2S.

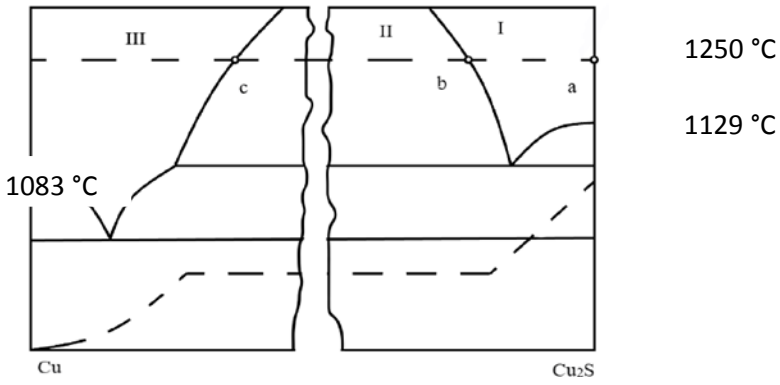


Рисунок 1 – Схематическая диаграмма состояния системы Cu – Cu_2S (пунктиром показан принципиальный ход кривых изменения равновесного давления SO_2 в зависимости от состава массы)

Начало второго периода на рисунке 1 изображается точкой а. По мере протекания реакции [11] фигуративная точка, отображающая состав массы расплава, перемещается влево. На участке ab (I стадия) масса представляет собой однородный раствор меди в Cu_2S. На участке bc (II стадия) процесс протекает в двухфазной области, где в контакте находятся сульфидная фаза состава b и металлическая состава c. Когда состав массы достигает точки c, сульфидная фаза исчезает и остается только металлическая. Однако процесс конвертирования на этом не заканчивается, поскольку металлическая масса насыщена Cu_2S, содержание которого может достигать 15%. Удаление остатка Cu_2S – задача III стадии второго периода конвертирования.

Конечное содержание серы в меди может быть оценено, исходя из анализа изменения равновесного давления SO_2 реакции [10], показанного на рисунке 1 пунктирной кривой в нижней части диаграммы. При взаимодействии свободных оксида и сульфида меди равновесное давление SO_2 достигает атмосферного уже при 730 °С, что обусловливает бурное протекание этой реакции. По мере снижения активности Cu_2S в меди равновесное давление SO_2, как это следует из константы равновесия реакции [10] $p_{SO2} = Ka_{Cu2O}/a^6_{Cu}$, снижается и скорость реакции. Практически в условиях конвертирования содержание серы в меди снижается до 0,01 % и меньше.

Теоретически согласно реакциям [9], [10] и [11] во втором периоде конвертирования не должно образовываться шлака. Однако в реальных условиях ввиду того, что полностью слить конвертерный шлак с белого штейна не удается, а в штейне еще содержится некоторое остаточное количество железа, второй период протекает в присутствии шлака. Содержание меди в конечных шлаках, сливаемых с черновой меди, достигает 30 % и соответственно активность Cu_2O существенно меньше единицы. Малая активность кислорода (Cu_2O) в шлаке и соответственно меди является одной из причин того, что добиться глубокой (меньше 0,01 %) очистки меди от серы при конвертировании не удается. Богатый шлак второго периода является оборотным и возвращается в конвертеры.

Следует кратко остановиться на поведении в процессе конвертирования основных спутников меди.

Благородные металлы в медных штейнах представлены главным образом золотом и серебром, которые в основной своей массе в первом периоде концентрируется в белом штейне и далее полностью остаются в черновой меди. Лишь небольшая их часть в составе штейновых включений переходит в конвертерный шлак. Таким образом, конвертирование в сочетании с обязательной переработкой оборотных шлаков обеспечивает достаточно высокое извлечение благородных металлов в черновую медь.

Цинк – частый компонент медных штейнов – при конвертировании окисляется практически полностью и распределяется между шлаком и пыью. Переход цинка в пыль достигает 15 – 20 %. Улетучивание цинка происходит как за счет испарения его сульфида, так и в результате возгонки паров металлического цинка, образующегося в основном по реакциям:

$$2ZnO + ZnS \rightarrow 3Zn + SO_2, \quad (12)$$

$$ZnS + 2Cu \rightarrow Zn + Cu_2S. \quad (13)$$

Вследствие высокого сродства к кислороду цинк вновь окисляется и в пыль переходит в виде оксида.

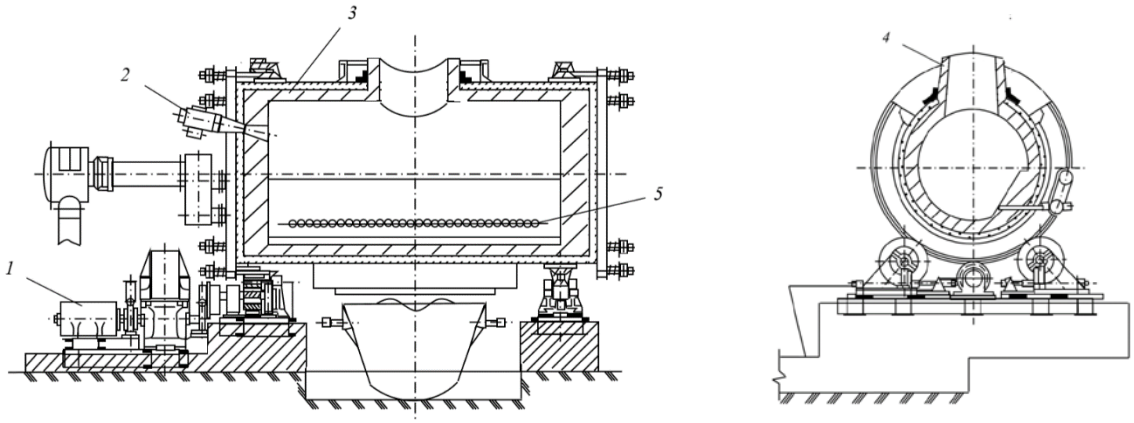
Свинец в виде сульфида легко окисляется в первом периоде вместе с FeS и ZnS. Образующийся при этом оксид свинца PbO имеет упругость паров, равную атмосферному давлению при 1470 °С, и в значительной степени улетучивается с конвертерными газами. Одновременно, как и сильное основание PbO легко шлакуется кремнеземом с образование легкоплавких шлаков. Таким образом, свинец при конвертировании удаляется из меди почти полностью.

Мышьяк и сурьма, связанные в штейнах с металлами в виде арсенидов и антимонидов, окисляются при продувке частично до летучих оксидов As_2O_3 Sb_2O_3 и частично до As_3O_5 и Sb_3O_5, которые переходят в шлак. В небольших количествах (не более 0,1 % от массы меди) эти элементы остаются в черновой меди.

Селен теллур выгорают не полностью и частично также остаются в черновой меди, где их количество выражается тысячными долями процента.

1.2 Практика процесса конвертирования

Процесс конвертирования медных штейнов в горизонтальных конверторах является периодическим и как уже говорилось, состоит из двух периодов и показано в рисунке 2.



1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – зубчатый бандаж (венец);
4 – опорные бандажи;5 – фурма-коллектор; 6 – шариковый клапан;
7 – фурменная трубка; 8 – горловина; 9 – сальниковое устройство.

Рисунок 2 – Горизонтальный конвертер

Первый период процесса конвертирования носит в отличие от второго, проводимого непрерывно, цикличный характер. Каждый цикл состоит из операции заливки жидкого штейна, загрузки кварцевого флюса, продувки расплава воздухом, слива конвертерного шлака. Длительность каждого цикла в зависимости от состава исходного штейна составляет 30-60 минут. После каждой продувки в конвертере остается обогащенная медью сульфидная масса, количество которой по мере увеличения числа продувок постепенно возрастает. В связи с этим первый период на практике часто называют периодом набора массы.

По окончании первого периода и слива последней порции конвертерного шлака в конвертере остается полусернистая медь – белый штейн, содержащий 78 – 80 % меди.

Второй период конвертирования (получение черновой меди за счет окисления её сульфида) проводится непрерывно в течение 2 – 3 ч без загрузки каких-либо материалов при подаче воздуха. Готовность меди определяют по ломкости пробе. Готовую черновую медь в зависимости от места рафинирования либо заливают в жидком виде в миксер и далее по мере надобности в рафинировочную печь, либо разливают в слитки массой до 1500 кг, которые отправляют на специальные рафинировочные заводы.

Удельный расход воздуха на 1 $см^2$ сечение фурм в пересчете на нормальные условия изменяется в пределах 0,5 – 1,2 $м^3/(см^2 \cdot мин)$ и зависит от давления дутья и состояния фурм. Чрезмерное увеличение удельного расхода воздуха и скорости его истечения из фурм может привести не только к большому разбрызгиванию расплава, но и к сильной вибрации конвертера. Предельные допустимые скорости истечения должны быть уточнены специальным исследованием. Обычно давление дутья на коллекторе, создаваемое воздуходувкой, составляет 0,1 – 0,12 Мпа, а давление на самой фурме 0,06 – 0,09 Мпа. Чем горячее идет конвертер и лучше состояние фурм, тем меньше сопротивление прохождению воздуха, ниже давление на фурмах и больше удельный расход дуться. Для обеспечения высокой производительности необходима прочистка фурм всякий раз, как только начинает повышаться давление.

Расход воздуха на 1 т штейна в зависимости от содержания в нем меди меняется сравнительно мало (в 1,2 – 1,4 раза), поэтому относительно невелики и изменения производительности конвертера по количеству перерабатываемого штейна. В то же время производительность по черновой меди с увеличением содержания меди в штейне возрастает очень резко.

Больше возможности по интенсификации работы конвертеров путем обогащения дутья кислородом откроются, если удастся осуществить вдувание руды, концентратов, оборотов и флюсов через фурмы. При этом холодные добавки будут поступать непосредственно в зоне окисления, что позволит эффективно регулировать ее температуру. Вдувание материалов через фурмы, однако, потребует тонкого измельчения всех материалов и глубокой их сушки

(менее 1% влаги), что будет сопряжено с дополнительными расходами и потерями металлов.

Тепловая работа конвертера характеризуется постоянным повышением температуры при продувках сульфидного расплава и соответственно охлаждением при выводе конвертера из-под дутья. Рост температуры в первом периоде происходит со скоростью до 7 °С/мин, а во втором он не превышает 2 °С/мин. При любой остановке конвертера его температура падает со скоростью 1 – 4 °С/мин. При этом чем длительнее остановка, тем больше конвертер охлаждается.

Оптимальная температура процесса конвертирования медных штейнов лежит в пределах 1280 – 1320 °С.

1.3 Характеристика продуктов конвертирования

Конечными продуктами процесса конвертирования являются черновая медь, конвертерный шлак и запыленные газы.

Конвертерные шлаки медного производства содержат, %: 1,2 – 3 Cu; 20 – 28 SiO_2; 50 – 55 Fe; небольшое количество CaO, MgO, Cr_2O_3, Al_2O_3.железо в этих шлаках присутствует в форме двух оксидов: FeO и Fe_3O_4. Содержание магнетита может изменяться в очень широких пределах – от 10 до 28 – 30 %.

Извлечение меди в черновую медь при конвертировании в основном зависит от выхода конвертерного шлака и концентрации в нем меди. Выход конвертерного шлака снижается с обогащением штейна медью, и, несмотря на некоторое увеличение содержания меди в меньшем объеме шлака, ее извлечение при конвертировании богатых штейнов возрастает.

Конвертирование штейнов является весьма эффективным процессом. Он характеризуется высоким коэффициентом использования кислорода дутья, высокой удельной производительностью во время работы под дутьем. Процесс полностью осуществляется за счет теплоты от окисления сульфидов и характеризуется получением богатых по содержанию SO_2 (12-14 %) первичных газов. В процессе реализуются такие важнейшие технологические требования, предъявляемые к процессу плавки, как интенсивный массо- и теплообмен, а также благоприятные условия для протекания процесса коалесценции мелких сульфидных включений при перешивании шлака со штейном.

2 Металлургические расчеты

2.1 Расчет материального баланса конвертирования медных штейнов совместно с сульфидным медным концентратом

2.1.1 Расчет рационального состава медного штейна

Расчет производится на 100 кг горячего медного штейна. На плавку поступает медный штейн состава, % (по массе): Cu – 32,38; Zn – 1,31; Pb– 1,62; Fe – 33,81; S – 26,94; O_2 – 1,58; прочие – 2,36.

Так же на плавку поступает кварцевая руда с содержанием, %: Fe – 6,94; S – 3,25; SiO_2 – 70; CaO – 5,04; Al_2O_3 – 8,18; прочие – 6,59. Влажность кварцевой руды 4 %.

Таблица 5 – Рациональный состав медного штейна

Компонент	Cu_2S	FeS	Fe_3O_4	ZnS	PbS	Прочие	Всего
Cu	32,38						32,38
Fe		31,33	2,68				33,81
Zn				1,31			1,31
Pb					1,62		1,62
S	8,17	17,88		0,64	0,25		26,94
O			1,58				1,58
Прочие						2,36	2,36
Всего	40,55	49,01	4,26	1,95	1,87	2,36	100,00

2.1.2 Расчет рационального состава медного концентрата

Расчет производится на 100 кг медного концентрата. На плавку поступает медный концентрат состава, % (по массе): Cu – 24,51; S – 35,13; CaO – 0,20; SiO_2 – 0,50; Fe – 26; Pb – 2,56; Zn – 9,94; Al_2O_3 – 0,20; прочие – 9,5.

Таблица 6 – Рациональный состав медного концентрата

Компонент	$CuFeS_2$	FeS_2	PbS	ZnS	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Прочие	Всего
Cu	24,51								24,51
Fe	21,54	4,46							26,00
Pb			2,56						2,56
Zn				9,94					9,94
S	27,74	5,12	0,40	4,87					35,13
SiO_2					0,50				0,50
CaO						0,20			0,20

Продолжение таблицы 6

Компонент	$CuFeS_2$	FeS_2	PbS	ZnS	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Прочие	Всего
Al_2O_3							0,20		0,20
Прочие								0,96	0,96
Всего	70,80	9,57	2,96	14,81	0,50	0,20	0,20	0,96	100

2.1.3 Расчет рационального состава кварцевой руды

Таблица 7 – Рациональный состав кварцевой руды без учета влаги

Компонент	FeS	FeO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	прочие	всего
Fe	5,66	1,28					6,94
S	3,25						3,25
O		0,37					0,37
CaO			5,04				5,04
SiO_2				70			70
Al_2O_3					8,18		8,18
прочие						6,22	6,22
всего	8,91	1,65	5,04	70	8,18	6,22	100,00

2.2 Расчет первого периода конвертирования

2.2.1 Количество и состав кварцевой руды и конвертерного шлака

Для расчета количество флюса и шлака задается определенный состав шлака, %: Cu – 1,07; Fe – 46,83; S – 1,51; SiO_2 – 26; CaO – 1,86; Pb – 1,8; Zn – 2,51;Al_2O_3 – 2,96; прочие – 15,44.

Обозначим: x кг – количество конвертерного шлака, образующегося на 100 кг горячего штейна;

y кг – потребное количество кварцевой руды.

Железо в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна	33,81
Из 5 кг медного концентрата	3,9
Из y кг кварцевой руды	$0{,}0694 \cdot y$
Всего поступает железа	$(37{,}71+0{,}0694 \cdot y)$

Количество железа в x кг шлаке $0{,}4683 \cdot x$ кг.

При полном извлечении железа в шлак должно быть справедливо уравнение [5]

$$37{,}71+0{,}0694 \cdot y=0{,}4683 \cdot x \qquad (14)$$

Кремнекислоты в конвертер поступает, кг:

Из *у*кг кварцевой руды	$0{,}70 \cdot y$
Из 5 кг медного концентрата	0,075
Всего поступает	$(0{,}70 \cdot y + 0{,}075)$

При полном переходе всей кремнекислоты в конвертерный шлак должно быть справедливо уравнение

$$0{,}7 \cdot y + 0{,}075 = 0{,}26 \cdot x \qquad (15)$$

Решая уравнения (14) и (15), находим количество шлака и флюса:

$$x = 85{,}20 \text{ кг}; \; y = 31{,}54 \text{ кг}$$

Количество кварцевой руды с учетом 4 % влаги: $y = 32{,}85$ кг

Таблица 8 – Состав и количество конвертерного шлака

Компоненты	FeS	Cu_2S	FeO	Fe_3O_4	ZnO	PbO	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Прочие	Всего, кг	Всего,%
Cu		0,91									0,91	1,07
Fe	1,84		31,89	6,17							39,90	46,80
Zn					2,14						2,14	2,51
Pb						1,55					1,55	1,82
S	1,06	0,23									1,29	1,51
O			9,14	2,35	0,52	0,12					12,13	14,23
SiO_2							22,15				22,15	25,98
CaO								1,61			1,61	1,89
Al_2O_3									2,55		2,55	2,99
Прочие										1,02	1,02	1,20
Всего,кг	2,90	1,14	41,03	8,52	2,66	1,67	22,15	1,61	2,55	1,02	85,26	100,00
Всего,%	3,40	1,34	48,12	9,99	3,12	1,96	25,98	1,89	2,99	1,20	100,00	

2.2.2 Количество и состав белого матта

Халькозин в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна	40,55
Из 5 кг медного концентрата	4,60
Всего	47,16

С конвертерным шлаком увлекается: 1,14
Остается в белом мате 44,01
Количество меди в халькозине:

$$G_{Cu}^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} \cdot \frac{2 \cdot \mu_{Cu}}{\mu_{Cu_2S}} = 44{,}01 \cdot \frac{2 \cdot 63{,}54}{159{,}15} = 35{,}14 \text{ кг}$$

Количество серы в халькозине:

$$G_S^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} - G_{Cu}^{Cu_2S} = 44{,}01 - 35{,}14 = 8{,}87 \text{ кг}$$

Общее количество Cu_2S и металлической меди, образующих белый матт:

$$G = G_{Cu_2S} + G_{Cu}^{мед.конц.} = 44{,}01 \text{ кг}$$

Сумма меди и серы в белом мате составляет 96% и 4% приходится на прочие.

Количество белого мата: $G_{бел.матт} = \frac{44{,}01}{0{,}96} = 45{,}38 \text{ кг}$

Количество прочих в белом матте: $G_{проч}^{бел.матт} = 45{,}38 \cdot 0{,}04 = 1{,}36 \text{ кг}$

Таблица 9 – Количество и состав белого матта

Компоненты	Cu	S	Прочие	Всего, кг
Cu2S	35,14	8,87		44,01
Прочие			1,36	1,36
Всего	35,14	8,87	1,36	45,38

2.2.3 Количество и состав отходящих газов

В первый период конвертирование поступает сера с горячим штейном, медным концентратом и кварцевой рудой.

Количество поступающейся серы:

$$G_S = G_S^{шт} + G_S^{кв.руда} + G_S^{мед.конц.} = 26{,}94 + 1{,}03 + 5{,}27 = 33{,}24 \text{ кг}$$

Часть серы увлекается со шлаком и белым матом:

$$G_S = G_S^{шл} + G_S^{бел.м} = 1{,}29 + 8{,}87 = 10{,}16 \text{ кг}$$

Остается серы :

$$G_S = 33{,}24 - 10{,}16 = 23{,}08 \text{ кг}$$

Вся сера окисляется до SO_2. Количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 23{,}08 \cdot \frac{64{,}07}{32{,}07} = 46{,}11 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления серы:

$$G_O = G_{SO_2} - G_S = 46{,}11 - 23{,}08 = 23{,}03 \text{ кг}$$

Количество цинка в отходящих газах:

$$G_{Zn} = G_{Zn}^{шт} - G_{Zn}^{шл} = 1{,}31 - 0{,}65 = 0{,}66 \text{ кг}$$

Количество свинца в отходящих газах:

$$G_{Pb} = G_{Pb}^{шт} - G_{Pb}^{шл} = 1{,}62 - 1{,}17 = 0{,}45 \text{ кг}$$

Свинец в газах находится в виде PbO. Расчет количество кислорода для окисления свинца:

$$G_O = G_{Pb} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Pb}} = 0{,}45 \cdot \frac{16}{207{,}2} = 0{,}04 \text{ кг}$$

Всего теоретическое количество кислорода для окисления Fe, Pb, Zn и S:

$$9{,}02 + 0{,}52 + 0{,}12 + 23{,}03 + 0{,}04 + 1{,}33 = 34{,}06 \text{ кг}$$

В практике использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода:

$$G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0{,}96} = \frac{34{,}06}{0{,}96} = 35{,}48 \text{ кг}$$

Избыток кислорода: $G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 35{,}48 - 34{,}06 = 1{,}42$ кг

При 23 % содержания кислорода в воздухе необходимо в первом периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0{,}23} = \frac{35{,}48}{0{,}23} = 154{,}25 \text{ кг}$$

Количество азота в воздухе:

$$G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0{,}77 = 154{,}24 \cdot 0{,}77 = 118{,}77 \text{ кг}$$

Таблица 10 – Состав и количество отходящих газов первого периода

Газ	S	O	N	Zn	Pb	H_2O	Вес, кг	объем, $м^3$	% (объемный)
SO_2	23,08	23,03					46,11	16,12	14,13
O_2		1,42					1,42	0,99	0,87
N_2			118,77				118,77	95,02	83,32
Zn				0,66			0,66	0,23	0,20
PbO		0,04			0,45		0,49	0,05	0,04
H_2O						1,31	1,31	1,64	1,43
Всего	23,08	24,48	118,77	0,66	0,45	1,31	168,77	114,04	100,00

Таблица 11 – Материальный баланс первого периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O_2	N_2	H_2O	Прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Медный концентрат	15,00	3,68	3,90	5,27	0,03	0,08	0,03						0,14
Кремнистый флюс	32,85		2,19	1,02	1,59	22,08	2,58			0,12		1,31	1,96
Воздух	154,25									35,48	118,77		
Всего	302,11	36,06	39,90	33,23	1,62	22,15	2,61	2,80	2,00	37,17	118,77	1,31	4,47
Получено													
Белый матт	45,38	35,14		8,87									1,36
Шлак	85,20	0,91	39,90	1,29	1,61	22,15	2,55	2,14	1,55	12,13			1,02
Газы	168,77			23,08				0,66	0,45	24,48	118,77	1,31	
Всего	299,34	36,06	39,90	33,23	1,61	22,15	2,55	2,80	2,00	36,62	118,77	1,31	2,38

2.3 Расчет второго периода конвертирования

2.3.1 Расчет количества и состава черновой меды и отходящих газов

При продувке белого матта полусернистая медь окисляется с образованием металлической меди и SO_2.

Продуктами процесса являются черновая медь, газы и небольшое количество так называемой изгари, образующейся из примесей, содержащихся в белом мате, остатков шлака от первого периода и окислившейся меди.

По практическим данным извлечение меди из белого матта в черновой металл 99,5 %. Отсюда, количество меди, извлекаемой в черновой металл:

$$G_{Cu}^{ч.Cu} = G_{Cu}^{бел.матт} \cdot 0{,}995 = 35{,}14 \cdot 0{,}995 = 34{,}97 \text{ кг}$$

При содержании в черновой меди 99 % Cuколичество черновой меди:

$$G_{ч.Cu} = \frac{G_{Cu}^{ч.Me}}{0{,}99} = \frac{34{,}97}{0{,}99} = 35{,}32 \text{ кг}$$

Серы в черновой меди 0,1 %, что составляет:

$$G_S^{ч.Cu} = G_{ч.Cu} \cdot 0{,}001 = 35{,}32 \cdot 0{,}001 = 0{,}04 \text{ кг}$$

Всего серы в белом матте 8,52 кг, следовательно, необходимо окислить серы:

$$G_S = G_S^{бел.матт} - G_S^{ч.Cu} = 8{,}87 - 0{,}04 = 8{,}83 \text{ кг}$$

Вся сера окисляется до SO_2, следовательно, количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 8{,}83 \cdot \frac{64{,}07}{32{,}07} = 17{,}65 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления серы:

$$G_O = G_{SO_2} - G_S = 17{,}65 - 8{,}87 = 8{,}81 \text{ кг}$$

Практические данные показывает, что использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода:

$$G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0{,}96} = \frac{8{,}81}{0{,}96} = 9{,}18 \text{ кг}$$

Избыток кислорода:

$$G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 9{,}18 - 8{,}81 = 0{,}37 \text{ кг}$$

При 21 % содержания кислорода в воздухе необходимо во втором периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0{,}23} = \frac{9{,}18}{0{,}21} = 43{,}72 \text{ кг}$$

Количество азота в воздухе:

$$G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0{,}79 = 43{,}72 \cdot 0{,}79 = 34{,}54 \text{ кг}$$

Таблица 12 – Состав и количество отходящих газов второго периода

Газ	S	O	N	Вес, кг	Объем, м^3	% (объемный)
SO_2	8,83	8,81		17,65	6,17	17,98
O		0,37		0,37	0,51	1,50
N			34,54	34,54	27,63	80,52
Всего	8,83	9,18	34,54	52,56	34,32	100,00

Таблица 13 – Материальный баланс второго периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	S	O	N	Прочие
Поступило						
Белый матт	45,38	35,14	8,87			1,36
Воздух	43,72			9,18	34,54	
Всего	89,10	35,14	8,87	9,18	34,54	1,36
Получено						
Черновая медь	35,32	34,97	0,04			0,32
Газы	52,56		883	9,18	34,54	
Изгарь	1,22	0,18				1,04
Всего	89,10	35,14	8,87	9,18	34,54	1,36

2.4 Сводный материальный баланс

Таблица 14 – Сводный материальный баланс процесса конвертирования медного штейна

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O	N	H_2O	прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Медный концентрат	15,00	3,68	3,90	5,27	0,03	0,08	0,03	1,61	0,38				0,14
Кремнистый флюс	32,85		2,19	1,02	1,59	22,08	2,58			0,12		1,31	1,96
Воздух	197,98									44,66	153,32		
Всего	345,83	36,06	39,90	33,23	1,62	22,15	2,61	2,92	2,00	46,36	153,32	1,31	4,47
Получено													
Черновая медь	34,87	34,62		0,03									0,32
Шлак	85,20	0,90	39,50	1,27	1,60	21,93	2,53	2,14	1,55	12,13			1,01
Газы	221,32			31,91				0,66	0,45	33,66	153,32	1,31	
Пыль	3,11	0,36	0,40	0,01	0,02	0,22	0,03	0,01	0,00				0,01
Изгарь	1,22	0,18											1,04
Всего	345,83	36,06	39,90	33,23	1,61	22,15	2,55	2,91	2,00	45,80	153,32	1,31	2,38

2.5 Расчет теплового баланса первого периода конвертирования

2.5.1 Расчет прихода и расхода тепла

Таблица 15 – Тепловой баланс первого периода (на 100 кг горячего штейна)

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	Ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	18,06	Тепло белого матта	10005,26	8,40
Тепло воздуха	1668,08	1,40	Тепло шлака	29532,15	24,80
Тепло реакций окисления железа	41469,81	34,83	Тепло газов	40363,11	33,90
Тепло реакций окисления серы	51065,70	42,89	Тепло эндотермических реакций	30149,97	25,32
Тепло шлакообразования	3354,82	2,82	Тепло, теряемое во внешнюю среду	7971,09	6,70
			Невязка баланса	1036,84	0,87
Всего	119058,42	100,00	Всего	119058,42	100,00

2.6 Расчет теплового баланса второго периода конвертирования

2.6.1 Расчет прихода и расхода тепла

Таблица 16 – Тепловой баланс второго периода

Приход тепла			Расход тепло		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	ккал	%
Тепло белого матта	10005,26	33,32	Тепло черновой меди	4482,41	14,93
Тепло воздуха	472,82	1,57	Тепло газов	14943,84	49,77
Тепло реакций окисления серы сери	19546,33	65,10	Тепло эндотермических реакций	6343,74	21,13
			Тепло теряемое во внешнюю среду	3236,25	10,78
			Невязка баланса	1018,16	3,39
Всего	30024,41	100,00	Всего	30024,41	100,00

2.7 Сводный тепловой баланс конвертирования

Таблица 17 – Сводный тепловой баланс конвертера

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Стать расхода	ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	15,46	Тепло черновой меди	4482,41	3,22
Тепло воздуха	2140,90	1,54	Тепло шлака	29532,15	21,23
Тепло реакций окисления Fe	41469,81	29,82	Тепло газов	55306,95	39,77
Тепло реакций окисления серы	70612,03	50,77	Тепло эндотермических реакций	36493,72	26,24
Тепло шлакообразования	3354,82	2,41	Тепло теряемое во внешнюю среду	11207,35	8,06
			Невязка баланса	2055,00	1,48
Всего	139077,57	100,00	Всего	139077,57	100,00

3 Исследование распределения меди и сопутствующих металлов между продуктами конвертирования

3.1 Распределение меди и других металлов между продуктами конвертирования медных штейнов

Основными компонентами, влияющими на качество конечного продукта конвертирования – черновую медь – являются медь, свинец, цинк и сопутствующие металлы. Можно считать, что конечное содержание указанных выше металлов в черновой меди, в основном определяется составом штейна поступающего на переработку.

Распределение цветных металлов и примесей между продуктами конвертирования показано в таблице 15.

Из расчетных данных видно, что извлечение меди в черновую медь низкое и находится на уровне до 92 %. Установленное низкое извлечение объясняется повышенным (до 6 %) распределением меди в конверторный шлак, и незначительным (до 2 %) переходом ее в пыль, также оказывающим влияние на общее извлечение меди в черновую медь в сторону снижения.

В черновую медь переходит до 1 % свинца. Извлечение свинца в пыль находится на низком уровне и составляет 52 %. До 60 % свинца от общего его количества концентрируется в конверторном шлаке, что вполне согласуется с теорией процесса конвертирования. В процессе конвертирования, присутствующий в штейне галенит легко окисляется с образованием оксида свинца и сернистого ангидрида. Являясь сильным основанием, оксид свинца легко ошлакуется кремнеземом с образованием легкоплавких шлаков.

Цинк распределяется в основном между конверторным шлаком и пылью. При этом основная его часть – до 70 %, концентрируется в возгонах.

Наблюдаемое перераспределение металлов указывает на то, что поведение металлов при конвертировании зависит не только от состава штейна, но и от исходной формы нахождения их в штейнах. Установление количественных соотношений металлов в черновой меди от состава штейна представляет определенный интерес для практики.

Решение поставленной задачи проводили на основании статистического анализа промышленных данных.

Содержание меди в черновой меди варьирует от 92 до 98 %. Концентрация свинца в черновой меди менялась от 0,2 до 1 %.

Таблица 18 – Распределение металлов между продуктами плавки при конвертировании

Наименование продуктов	К-во, тн.	%	Cu			Fe			Pb			Zn		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Загружено														
Штейн	100,00	79,36	32,38	32,38	100,00	33,81	33,31	95,06	1,62	1,62	100,00	1,31	1,31	100,00
Кварцевый флюс	26,00	20,64				6,94	1,73	4,94						
Итого:	126,00	100,00		32,38	100,00		35,54	100,00		1,62	100,00		131	100,00
Получено														
Черновая медь	30,27	10,40	98,97	29,96	92,53									
Конвертор- ный шлак	72,21	24,82	2,70	1,95	6,02	48,73	35,19	99,01	1,05	0,76	46,91	0,49	0,36	27,48
Пыль, газы	188,44	64,78	0,20	0,47	1,45	0,19	0,36	0,99	0,46	0,86	53,09	0,5	0,95	72,52
Итого:	290,91	100,0		32,38	100,0		35,54	100,00		1,62	100,00		1,31	100,00

I – содержание, %; II – количество, т.; III – распределение, %.

3.2 Распределение меди и других металлов между продуктами конвертирования медных штейнов совместно с медным концентратом

Фундаментальные основы теории и практики плавки и конвертирования показывают, что наиболее приемлемым условием удаления примесей в цепи «плавка-конвертирование» является создание условий для глубокой их возгонки либо при плавке, либо при конвертировании. При этом используемые методы должны выбираться таким образом, чтобы наряду с задачей удаления примесей обеспечить оптимальное распределение базовых металлов между продуктами плавки. Наиболее интересным представляется создание новых эффективных способов при конвертировании. К примеру, решение поставленных задач может быть достигнуто путем прямой переработки сульфидных медных концентратов в конверторах с одновременным их использованием в качестве сульфидизатора для удаления примесей и обеднения конверторного шлака по базовым цветным металлам, а также улучшения качества продуктов получаемых при конвертировании.

Распределение цветных металлов и примесей между продуктами конвертирования совместно с медным концентратом показано в таблице 19.

Из расчетных данных видно, что извлечение меди в черновую медь увеличился и находится на уровне 97 %. Установленное высокое извлечение объясняется снижением до 2 % распределением меди в конверторный шлак, и до 1 % переходом ее в пыль.

Существенно снизился переход свинца в черновую медь за счет увеличение извлечении в шлак и пыль. Извлечение свинца в пыль находится достаточно на высоком уровне и составляет 62 %. До 40 % свинца от общего его количества концентрируется в конверторном шлаке, что вполне согласуется с теорией процесса конвертирования.

Цинк распределяется в основном между конверторным шлаком и пылью. При этом основная его часть – до 80 %, концентрируется в возгонах.

Таблица 19 – Распределение металлов между продуктами плавки при конвертировании совместно с медным концентратом

Наименование продуктов	К-во, тн.	%	Cu			Fe			Pb			Zn		
			I	II	III	I	II	III	I	II	III	I	II	III
Загружено														
Штейн	100,00	67,63	32,38	32,38	89,79	33,81	33,81	84,73	1,62	1,62	81,00	1,31	1,31	44,86
Концентрат	15,00	10,14	24,51	3,68	10,21	26,00	3,90	9,77	2,56	0,38	19.00	9,94	1,61	55,14
Кварцевый флюс	32,85	22,23				6,94	2,19	5,50						
Итого:	147,85	100,0		36,06	100,0		39,90	100,0		2,00	100,0		2,92	100,0
Получено														
Черновая медь	34,97	10,14	98,99	34,62	96,45	0,08	0,03	0,07						
Конверторный шлак	85,20	24,72	1,06	0,90	2,50	46,36	39,50	98,99	0,89	0,76	38,00	2,51	2,14	73,28
Пыль, газы	224,43	65,14	0,24	0,54	1,05	0,18	0,40	0,94	0,55	1,24	62,00	0,34	0,78	26,72
Итого:	344,60	100,0		36,06	100,0		39,90	100,0		2,00	100,0		2,92	100,0

I – содержание, %; II – количество, т.; III – распределение, %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конвертирование медных штейнов является одним из основных и требующих внимания процессов в производстве меди. Несмотря на то, что руды нашей страны содержат несколько металлов одновременно и являются полиметаллическими, по меркам зарубежных стран считаются бедными по содержанию основного металла.

Как уже говорилось выше, содержание меди в руде с каждым годом снижается, и вопрос его полного извлечения остается приоритетным по сей день. Для решения данного вопроса были произведены расчеты с добавлением нового компонента в процесс, в ходе которого изменились полученные данные в положительную сторону. По итогом работы, а именно по итоговому распределению металлов и теплового баланса можно сказать, что потери меди снизились, а извлечение его выросло. Также стоит отметить, что содержание серы в черновой меди стало меньше, чего обычно сложно добиться. По тепловому балансу невязка составила 3,31 %. Это говорит о том, что выделяемое тепло экзотермическими процессами были использованы больше по сравнению с первыми данными.

Подытоживая хочу сказать, что добавление медного концентрата в процесс конвертирования, существенно улучшает экономические показатели процесса. Также, одним его достоинством является сокращение пути плавки медного концентрата. Применяя данную практику в производстве можно добиться эффективных результатов, полностью используя потенциал процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Добыча и производство меди в Казахстане обзор рынка - https://regnum.ru/news/2251139.html

2 Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и цинкового сырья: Учебник для ВУЗов. Челябинск, Металлургия, Челябинское отделение, 1988. – 432 с.

3 Медное производство Казахстана. Монография – Алматы: Изд-во «DPS», 2010. – 472 с.

4 Аветисян Х. К. Металлургия черновой меди: Научное издание. – М.: Металлургиздат, 1954. – 464 с.

5 Ванюков В. А. Плавка медных руд и концентратов Казахстана. М.: Металлургиздать, 1947. – 124 с.

6 Ванюков В. А., Зайцев В. Я. Теория пирометаллургических процессов. М.: Металлургия, 1973. – 504 с.

7 Даулетбаков Т. С., Соколовская Л. В. Металлургические расчеты: Учеб. пособие. – Алматы: КазНИТУ, 2014. – 208 с.

8 Казачков Е. А. Расчеты по теории металлургических процессов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Металлургия, 1988. – 288 с.

9 Софра Дж., Хьюз Р.А. Применение технологического процесса Ausmelt на плавильных предприятиях. Свинец-Цинк 2005, Киото, Япония, 17-19 октября, 2005.

10 Досмухамедов Н.К., Айтенов К.Д, Жолдасбай Е.Е. О составах и строении медно-свинцовых штейнов свинцового производства. Вестник КазНТУ, 2012. №5. С. 157-163.

11 Безопасность жизнедеятельности: Учеб. Пособие / Б.С. Мастрюков; Учеба. -М., 2003.

12 Скрябин О.О., Экономические и организационные вопросы в дипломных работах: учеб. пособие / М.: Изд. Дом МИСиС, 2012.

13 Лазарева Н.Н. Вредные вещества в промышленности. Справочник для инженеров, химиков и врачей. – М.: Химия, 1974.

Приложение А

Металлургические расчеты

Расчеты материального баланса конвертирования без холодной присадки

Расчет рационального состава медного штейна

Расчет производится на 100 кг горячего медного штейна. На плавку поступает медный штейн состава, % (по массе): Cu – 32,38; Zn – 1,31; Pb– 1,62; Fe– 33,81; S– 26,94; O_2– 1,58; прочие – 2,36.

Так же на плавку поступает кварцевая руда с содержанием, %: Fe– 6,94; S– 3,25; SiO_2– 70; CaO– 5,04; Al_2O_3– 8,18; прочие – 6,59. Влажность кварцевой руды 4 %.

Рассчитывается минералогический состав штейна:

Весь кислород связан с железом в виде магнетита, а медь связана в виде халькозина.

Количество халькозина в штейне: $G^{Cu_2S} = G^{Cu} \cdot \frac{\mu_{Cu_2S}}{\mu_{Cu}} = 32{,}38 \cdot \frac{159{,}15}{2 \cdot 63{,}54} = 40{,}55$ кг,

Количество серы в халькозине: $G_S^{Cu_2S} = G^{Cu_2S} - G^{Cu} = 40{,}55 - 32{,}38 = 8{,}17$ кг,

Количество сфалерита в штейне: $G^{ZnS} = G^{Zn} \cdot \frac{\mu_{ZnS}}{\mu_{Zn}} = 1{,}31 \cdot \frac{97{,}46}{65{,}39} = 1{,}95$ кг,

Количество серы в сфалерите: $G_S^{ZnS} = G^{ZnS} - G^{Zn} = 1{,}95 - 1{,}31 = 0{,}64$ кг,

Количество галенита в штейне: $G^{PbS} = G^{Pb} \cdot \frac{\mu_{PbS}}{\mu_{Pb}} = 1{,}62 \cdot \frac{239{,}27}{207{,}2} = 1{,}87$ кг,

Количество серы в сфалерите: $G_S^{PbS} = G^{PbS} - G^{Pb} = 1{,}87 - 1{,}62 = 0{,}25$ кг.

Остальное количество серы связанно с пирротином.

$G_S^{FeS} = G^S - G_S^{Cu_2S} - G_S{}^{ZnS} - G_S^{PbS} = 26{,}94 - 8{,}17 - 0{,}64 - 0{,}25 = 17{,}88$ кг,

Количество пирротина в штейне: $G^{FeS} = G_S^{FeS} \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 17{,}88 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 49{,}01$ кг,

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}{}^{FeS} = G_S^{FeS} \cdot \frac{\mu_{Fe}}{\mu_S} = 17{,}88 \cdot \frac{55{,}85}{32{,}07} = 31{,}13$ кг,

Количество магнетита в штейне:

$$G^{Fe_3O_4} = 100 - G^{Cu_2S} - G^{ZnS} - G^{PbS} - G^{FeS} - G^{Проч.} = 4{,}26\,\text{кг},$$

Количество железа в магнетите: $G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G^{Fe} - G_{Fe}^{FeS} = 33{,}81 - 31{,}13 = 2{,}68\,\text{кг}.$

Таблица А.1 – Рациональный состав медного штейна

Компонент	Cu_2S	FeS	Fe_3O_4	ZnS	PbS	Прочие	Всего
Cu	32,38						32,38
Fe		31,33	2,68				33,81
Zn				1,31			1,31
Pb					1,62		1,62
S	8,17	17,88		0,64	0,25		26,94
O			1,58				1,58
Прочие						2,36	2,36
Всего	40,55	49,01	4,26	1,95	1,87	2,36	100,00

Расчет рационального состава кварцевой руды

Для расчета принимается, что все сера связана с железом в FeS, находим количество FeS.

Количество пирротина: $G_{FeS}^{кв.руда} = G_S^{кв.руда} \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 3{,}25 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 8{,}91\,\text{кг},$

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS} = G_{FeS} - G_S = 8{,}91 - 3{,}25 = 5{,}66\,\text{кг},$

Остается железа на оксид железо II: $G_{Fe}^{FeO} = G_{Fe}^{кв.руда} - G_{Fe}^{FeS} = 6{,}94 - 5{,}66 = 1{,}28\,\text{кг},$

Количество оксид железо II: $G_{FeO} = G_{Fe}^{FeO} \cdot \frac{\mu_{FeO}}{\mu_{Fe}} = 1{,}28 \cdot \frac{71{,}85}{55{,}85} = 1{,}65\,\text{кг},$

Количество кислорода в оксид железо II: $G_O^{FeO} = G_{FeO} - G_{Fe}^{FeO} = 1{,}65 - 1{,}28 = 0{,}37\,\text{кг}.$

Таблица А.2 - Рациональный состав кварцевой руды без учета влаги

Компонент	FeS	FeO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	прочие	всего
Fe	5,66	1,28					6,94
S	3,25						3,25
O		0,37					0,37
CaO			5,04				5,04

Продолжение таблицы А.2

Компонент	FeS	FeO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	прочие	всего
SiO_2				70			70
Al_2O_3					8,18		8,18
прочие						6,22	6,22
всего	8,91	1,65	5,04	70	8,18	6,22	100,00

Расчет технологического процесса первого периода

Количество конверторного шлака и кварцевой руды

Для расчета количество флюса и шлака задается определенный состав шлака, %: Cu – 2,7; Fe – 48,83; S – 1,51; SiO_2 – 24; CaO – 1,56;Pb – 1; Zn – 0,5; Al_2O_3 – 2,96; прочие – 16,94.

Обозначим: x кг – количество конвертерного шлака, образующегося на 100 кг горячего штейна;

y кг – потребное количество кварцевой руды.

Железо в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна	33,81
Из 15 кг холодных оборотов	0
Из yкг кварцевой руды	$0{,}0694 \cdot y$
Всего поступает железа	$(33{,}81+0{,}0694 \cdot y)$

Количество железа в x кг шлаке $0{,}4883 \cdot x$ кг.

При полном извлечении железа в шлак должно быть справедливо уравнение (15):

$$33{,}81+0{,}0694 \cdot y=0{,}4883 \cdot x \qquad (15)$$

Кремнекислоты в конвертер поступает, кг:

Из y кг кварцевой руды	$0{,}70 \cdot y$

При полном переходе всей кремнекислоты в конвертерный шлак должно быть справедливо уравнение

$$0{,}7 \cdot y = 0{,}24 \cdot x \qquad (16)$$

Решая уравнения [5] и [6], находим количество шлака и флюса:

x = 72,79 кг; y = 24,96 кг

Количество кварцевой руды с учетом 4 % влаги: $y = 25{,}99$ кг

Расчет определение количества и состава конвертерного шлака

Вся медь в конвертерном шлаке находится в форме Cu_2S.

Количество меди в шлаке: $G_{Cu}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Cu)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{2{,}7}{100} = 1{,}97$ кг

Количество Cu_2Sв шлаке: $G_{Cu_2S}^{шл} = G_{Cu}^{шл} \cdot \frac{\mu_{Cu_2S}}{2 \cdot \mu_{Cu}} = 1{,}97 \cdot \frac{159{,}15}{2 \cdot 63{,}54} = 2{,}46$ кг

Количество серы в Cu_2S: $G_S^{Cu_2S} = G_{Cu_2S}^{шл} - G_{Cu}^{шл} = 2{,}46 - 1{,}97 = 0{,}5$ кг

Количество серы в шлаке: $G_S^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(S)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{1{,}51}{100} = 1{,}1$ кг

Остается серы: $G_S = G_S^{шл} - G_S^{Cu_2S} = 1{,}1 - 0{,}5 = 0{,}6$ кг

Приняв, что оставшаяся сера связана с железом в FeS, находим количество FeS:

Количество железа в шлаке: $G_{Fe}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Fe)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{48{,}83}{100} = 35{,}54$ кг

Количество пирротина: $G_{FeS} = G_S \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 0{,}6 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 1{,}65$ кг

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS} = G_{FeS} - G_S = 1{,}65 - 0{,}6 = 1{,}05$ кг

Содержание магнетита в конвертерном шлаке 20 %.

Количество магнетита в шлаке: $G_{Fe_3O_4}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Fe_3O_4)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{15}{100} = 10{,}92$ кг

Количество железо в магнетите: $G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{3 \cdot \mu_{Fe}}{\mu_{Fe_3O_4}} = 10{,}92 \cdot \frac{3 \cdot 55{,}85}{231{,}55} = 7{,}9$ кг

Количество кислорода в магнетите: $G_O^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{4 \cdot \mu_O}{\mu_{Fe_3O_4}} = 10{,}92 \cdot \frac{4 \cdot 16}{231{,}55} = 3{,}02$ кг

Остается железа на оксид железо II: $G_{Fe}^{FeO} = G_{Fe}^{шл} - G_{Fe}^{FeS} - G_{Fe}^{Fe_3O_4} = 26{,}59$ кг

Продолжение приложения А

Количество кислорода на FeO: $G_O^{FeO} = G_{Fe}^{FeO} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Fe}} = 26{,}59 \cdot \frac{16}{55{,}85} = 7{,}62$ кг,

Количество оксид железо II: $G_{FeO}^{шл} = G_{Fe}^{FeO} + G_O^{FeO} = 26{,}59 + 7{,}62 = 34{,}21$ кг,

Количество свинца в шлаке: $G_{Pb}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Pb)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{1}{100} = 0{,}73$ кг,

Количество оксид свинца (глет): $G_{PbO}^{шл} = G_{Pb}^{шл} \cdot \frac{\mu_{PbO}}{\mu_{Pb}} = 0{,}73 \cdot \frac{223{,}2}{207{,}2} = 0{,}79$ кг,

Количество кислорода в глете: $G_O^{PbO} = G_{PbO}^{шл} - G_{Pb}^{шл} = 0{,}79 - 0{,}73 = 0{,}06$ кг,

Количество цинка в шлаке: $G_{Zn}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Zn)}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{0{,}5}{100} = 0{,}36$ кг,

Количество оксид цинка: $G_{ZnO}^{шл} = G_{Zn}^{шл} \cdot \frac{\mu_{ZnO}}{\mu_{Zn}} = 0{,}36 \cdot \frac{81{,}39}{65{,}39} = 0{,}45$ кг,

Количество кислорода в оксид цинке: $G_O^{ZnO} = G_{ZnO}^{шл} - G_{Zn}^{шл} = 0{,}45 - 0{,}36 = 0{,}09$ кг.

Таблица А.3 – Состав и количество конвертерного шлака

Компо-ненты	FeS	Cu_2S	FeO	Fe_3O_4	ZnO	PbO	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Про-чие	Всего, кг	Всего,%
Cu		1,97									1,97	2,70
Fe	1,05		26,59	7,90							35,54	48,83
Zn					0,36						0,36	0,50
Pb						0,73					0,73	1,00
S	0,60	0,50									1,10	1,51
O			7,62	3,02	0,09	0,06					10,78	14,81
SiO_2							17,47				17,47	24,00
CaO								1,14			1,14	1,56
Al_2O_3									2,15		2,15	2,96
Прочие										1,55	1,55	1,78
Всего,кг	1,65	2,46	34,21	10,92	0,45	0,78	17,47	1,14	2,15	1,55	77,40	100,00
Всего,%	2,27	3,38	47,00	15,00	0,62	1,08	24,00	1,56	2,96	2,13	100,00	

Расчет определение количества и состава белого матта

Халькозин в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна 40,55

С конвертерным шлаком увлекается: 2,46

Остается в белом мате 38,09

Количество меди в халькозине: $G_{Cu}^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} \cdot \frac{2 \cdot \mu_{Cu}}{\mu_{Cu_2S}} = 38{,}09 \cdot \frac{2 \cdot 63{,}54}{159{,}15} = 30{,}41$ кг,

Количество серы в халькозине: $G_S^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} - G_{Cu}^{Cu_2S} = 38{,}09 - 30{,}41 = 7{,}68$ кг.

Общее количество Cu_2S и металлической меди, образующих белый матт:

$$G = G_{Cu_2S} + G_{Cu}^{хл.обор.} = 38{,}09 \text{ кг}$$

Сумма меди и серы в белом мате составляет 96% и 4% приходится на прочие.

Количество белого мата: $G_{бел.матт} = \frac{38{,}09}{0{,}96} = 39{,}27$ кг,

Количество прочих в белом матте: $G_{проч}^{бел.матт} = 39{,}27 \cdot 0{,}04 = 1{,}18$ кг.

Таблица А.4 – Количество и состав белого матта

Компоненты	Cu	S	Прочие	Всего, кг
Cu2S	30,41	7,68		38,09
Прочие			1,18	1,18
Всего	30,41	7,68	1,18	39,27

Окисление железа, цинка и свинца

В конвертерном шлаке содержится железа в форме магнетита:

$$G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{3 \cdot \mu_{Fe}}{\mu_{Fe_3O_4}} = 10{,}92 \cdot \frac{3 \cdot 55{,}85}{231{,}55} = 7{,}90$$ кг,

С горячим штейном железа в форме магнетита вводится $G_{Fe}^{Fe_3O_4} = 2{,}68$ кг.

Окисляется железа кислородом дутья до магнетита: 7,9-2,68=5,22 кг
Количество кислорода для окисления железа по реакции (17):

$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4 \qquad (17)$$

составит: $$G_O = G_{Fe} \cdot \frac{4 \cdot \mu_O}{3 \cdot \mu_{Fe}} = 5{,}22 \cdot \frac{64}{3 \cdot 55{,}85} = 1{,}99 \text{ кг}$$

В конвертерном шлаке содержится железа в форме FeO:

$$G_{Fe}^{FeO} = G_{FeO}^{шл} \cdot \frac{\mu_{Fe}}{\mu_{FeO}} = 34{,}21 \cdot \frac{55{,}85}{71{,}55} = 26{,}59 \text{ кг}$$

С кварцевой рудой поступает железа в форме FeO:

$$G_{Fe}^{FeO} = G_{кв.руда} \cdot \frac{C_{Fe}}{100} = 24{,}96 \cdot \frac{1{,}28}{100} = 0{,}32 \text{ кг}$$

Окисляется железа кислородом дутья до FeO в количестве: 26,59 - 0,32 = 26,27 кг

Количество кислорода для окисления железа по реакции (18):

$$2Fe + O_2 = 2FeO, \qquad (18)$$

составит: $$G_O = G_{Fe} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Fe}} = 26{,}27 \cdot \frac{16}{55{,}85} = 7{,}53 \text{ кг}$$

Всего на окисление железа теоретически требуется кислорода: 1,99 + 7,53 = 9,52 кг

В конвертерном шлаке содержится цинк в форме ZnO:

$$G_{Zn}^{ZnO} = G_{шл} \cdot \frac{C_{Zn}}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{0{,}5}{100} = 0{,}36 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления цинка по реакции (19):

$$2Zn + O_2 = 2ZnO, \qquad (19)$$

составит: $$G_O = G_{Zn} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Zn}} = 0{,}36 \cdot \frac{16}{65{,}39} = 0{,}09 \text{ кг}$$

В конвертерном шлаке содержится свинец в форме PbO:

$$G_{Pb}^{PbO} = G_{шл} \cdot \frac{C_{Pb}}{100} = 72{,}79 \cdot \frac{1}{100} = 0{,}73 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления свинца по реакции (20):

$$2Pb + O_2 = 2PbO, \quad (20)$$

составит: $G_O = G_{Pb} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Pb}} = 0,73 \cdot \frac{16}{207,2} = 0,06$ кг

Расчет определение количества и состава отходящих газов

В первый период конвертирование поступает сера с горячим штейном, холодными материалами и кварцевой рудой.

Количество поступающейся серы:

$$G_S = G_S^{шт} + G_S^{кв.руда} + G_S^{хол.мат} = 26,94 + 0,81 = 27,75 \text{ кг}$$

Часть серы увлекается со шлаком и белым матом:

$$G_S = G_S^{шл} + G_S^{бел.м} = 1,10 + 7,68 = 8,78 \text{ кг},$$

Остается серы : $G_S = 27,75 - 8,78 = 18,97$ кг

Вся сера окисляется до SO_2. Количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 18,97 \cdot \frac{64,07}{32,07} = 37,91 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления серы:

$$G_O = G_{SO_2} - G_S = 37,91 - 18,97 = 18,94 \text{ кг},$$

Количество цинка в отходящих газах: $G_{Zn} = G_{Zn}^{шт} - G_{Zn}^{шл} = 1,31 - 0,36 = 0,95$ кг,

Количество свинца в отходящих газах: $G_{Pb} = G_{Pb}^{шт} - G_{Pb}^{шл} = 1,62 - 0,73 = 0,89$ кг.

Свинец в газах находится в виде PbO. Расчет количество кислорода для окисления свинца: $G_O = G_{Pb} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Pb}} = 0,89 \cdot \frac{16}{207,2} = 0,07$ кг

Всего теоретическое количество кислорода для окисления Fe, Pb, Zn и S:

7,53 + 2,04 + 0,09 + 18,94 + 0,07 = 28,67 кг.

Продолжение приложения А

В практике использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода: $G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0,96} = \frac{28,67}{0,96} = 29,86$ кг

Избыток кислорода: $G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 29,86 - 28,67 = 1,19$ кг

При 23 % содержания кислорода в воздухе необходимо в первом периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0,23} = \frac{29,86}{0,23} = 129,84 \text{ кг}$$

Количество азота в воздухе: $G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0,77 = 129,84 \cdot 0,77 = 99,98$ кг

Таблица А.5 - Состав и количество отходящих газов первого периода

Газ	S	O	N	Zn	Pb	H_2O	вес, кг	объем, $м^3$	% (объемный)
SO2	18,98	18,84					37,91	13,25	13,84
O2		1,19					1,19	0,84	0,87
N2			99,98				99,98	79,98	83,50
Zn				0,95			0,95	0,32	0,34
PbO		0,07			0,89		0,96	0,10	0,10
H_2O						1,04	1,04	1,29	1,35
всего	18,98	20,20	99,98	0,95	0,89	1,04	142,03	95,79	100,00

Таблица А.6 - Материальный баланс первого периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O_2	N_2	H_2O	Прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Холодные материалы	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00						0,00
Кремнистый флюс	26,00		1,73	0,81	1,26	17,47	2,04			0,09		1,04	1,55
Воздух	129,84									29,86	99,98		
Всего	270,84	32,38	35,54	27,75	1,26	17,47	2,04	1,31	1,62	31,54	99,98	1,04	3,91
Полученно													
Белый матт	39,27	30,41		7,68									1,18
Шлак	72,79	1,97	35,54	1,1	1,14	17,47	2,15	0,36	0,73	10,78			1,55
Газы	142,03			19,98				0,95	0,89	20,20	99,98	1,04	
Всего	254,09	32,38	35,54	27,75	1,14	17,47	2,15	1,31	1,62	30,98	99,98	1,04	2,73

Продолжение приложения А

Расчет технологического процесса второго периода

Расчет количества и состава черновой меды и отходящих газов

При продувке белого матта полусернистая медь окисляется с образованием металлической меди и SO_2.

Продуктами процесса являются черновая медь, газы и небольшое количество так называемой изгари, образующейся из примесей, содержащихся в белом мате, остатков шлака от первого периода и окислившейся меди.

По практическим данным извлечение меди из белого матта в черновой металл 99,5 %. Отсюда, количество меди, извлекаемой в черновой металл:

$$G_{Cu}^{ч.Cu} = G_{Cu}^{бел.матт} \cdot 0{,}995 = 30{,}41 \cdot 0{,}995 = 30{,}26 \text{ кг}$$

При содержании в черновой меди 99 % Cuколичество черновой меди:

$$G_{ч.Cu} = \frac{G_{Cu}^{ч.Me}}{0{,}99} = \frac{30{,}26}{0{,}99} = 30{,}57 \text{ кг}$$

Серы в черновой меди 0,1 %, что составляет:

$$G_S^{ч.Cu} = G_{ч.Cu} \cdot 0{,}001 = 30{,}57 \cdot 0{,}001 = 0{,}03 \text{ кг}$$

Всего серы в белом матте 7,68 кг, следовательно, необходимо окислить серы:

$$G_S = G_S^{бел.матт} - G_S^{ч.Cu} = 7{,}68 - 0{,}03 = 7{,}65 \text{ кг}$$

Вся сера окисляется до SO_2, следовательно, количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 7{,}65 \cdot \frac{64{,}07}{32{,}07} = 15{,}27 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления серы:

$$G_O = G_{SO_2} - G_S = 15{,}27 - 7{,}65 = 7{,}63 \text{ кг}$$

Продолжение приложения А

Практические данные показывает, что использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода:

$$G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0,96} = \frac{7,63}{0,96} = 7,95 \text{ кг}$$

Избыток кислорода: $G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 7,95 - 7,63 = 0,32$ кг

При 21 % содержания кислорода в воздухе необходимо во втором периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0,23} = \frac{7,95}{0,21} = 37,84 \text{ кг}$$

Количество азота в воздухе: $G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0,77 = 37,84 \cdot 0,79 = 29,89$ кг

Таблица А.7 – Состав и количество отходящих газов второго периода

Газ	S	O	N	Вес, кг	Объем, м^3	% (объемный)
SO_2	7,64	7,63		15,27	5,34	17,89
O		0,32		0,32	0,44	1,50
N			29,89	29,89	23,91	80,52
Всего	7,64	7,95	29,89	45,48	29,70	100,00

Таблица А.8 – Материальный баланс второго периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	S	O	N	Прочие
Поступило						
Белый матт	39,27	30,41	7,68			1,18
Воздух	37,84			7,95	29,89	
Всего	77,11	30,41	7,68	7,95	29,89	1,18
Получено						
Черновая медь	30,57	30,26	0,03			0,28
Газы	45,48		7,64	7,95	29,89	
Изгарь	1,06	0,15				0,90
Всего	77,11	30,41	7,68	7,95	29,89	1,18

Продолжение приложения А

Сводный материальный баланс

При составлении сводного материального баланса учитывается пылеунос в размере 1 % от всех жидких и твердых материалов, загружаемых в конвертер. От суммарного прихода каждого из элементов шихты в пыль снимается 1 %. В результате соответственно уменьшается количество данного элемента в жидких продуктах процесса – черновом металле и шлаке, пропорционально его содержанию в этих продуктах.

Распределение меди между черновым металлом и шлаком:

В черновом металле меди	30,26 кг	93,90 %
В шлаке	1,97 кг	6,10 %
Всего	32,23 кг	100 %

Таблица А.9 – Сводный материальный баланс процесса конвертирования медного штейна

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O	N	H_2O	прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Кремнистый флюс	26,00		1,73	0,81	1,26	17,47	2,04			0,09		1,04	1,55
Воздух	167,68									37,81	129,87		
Всего	293,68	32,38	35,54	27,75	1,26	17,47	2,04	1,31	1,62	39,48	129,87	1,04	3,91
Полученно													
Черновая медь	30,27	29,96		0,03									0,28
Шлак	72,21	1,95	35,19	1,09	1,12	17,29	2,13	0,36	0,76	10,78			1,53
Газы	187,52			26,62				0,95	0,89	28,14	129,87	1,04	
Пыль	0,92	0,32	0,36	0,01	0,01	0,17	0,02		0,01				0,02
Изгарь	1,06	0,15											0,90
Всего	291,97	32,38	35,54	27,75	1,14	17,47	2,15	1,31	1,15	38,93	129,87	1,04	2,73

Продолжение приложения А

Расчет теплового баланса конвертера

Тепловой баланс процесса рассчитывается на основании данных материальных балансов по периодам при значениях температур и теплоемкостей материалов и продуктов процесса, принимаемых по данным практики и исследований.

Таблица А.10 – Температуры и теплоемкости материалов и продуктов процесса конвертирования медного штейна

Материалы и продукты плавки	Температура		Теплоемкость, ккал/кг·°С
	I период	II период	
Штейн горячий	1100		0,2
Воздух	70	70	0,31
Белый матт	1250	1250	0,18
Черновая медь		1200	0,108
Шлак	1200		0,295
Газы	1000	1200	0,536
Поверхность кожуха конвертера	200	300	
Внутренняя полость конвертера	1300	1350	

Тепловой баланс второго периода

Расчет прихода тепла

Стандартная температура t_o=25 °С
Физическое тепло горячего штейна:

$$Q_{\text{шт}} = G_{\text{шт}} \cdot c_{\text{шт}}(t_{\text{шт}} - t_0) = 100 \cdot 0{,}2 \cdot (1100 - 25) = 21500 \text{ ккал}$$

Физическое тепло воздуха:

$$Q_{\text{д}} = V_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}}(t_{\text{д}} - t_0) = 100{,}65 \cdot 0{,}31 \cdot (70 - 25) = 1404{,}13 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления железа (расчет по железу):
а)$3Fe+2O_2=Fe_3O_4+267000$;

$$q_1 = \frac{267000}{3 \cdot 55{,}85} \cdot 5{,}22 = 8318{,}81 \text{ ккал}$$

б) $Fe+0,5O_2=FeO+63700$ ккал;

$$q_2 = \frac{63700}{55,85} \cdot 26,27 = 29964,40 \text{ ккал}$$

Всего от окисления железа до магнетита и закиси:

$$Q_{Fe} = q_1 + q_2 = 8318,81 + 29964,40 = 38283,21 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления серы (расчет по сере): $S+O_2=SO_2+70960$ ккал;

$$Q_S = \frac{70960}{32,07} \cdot 1,82 = 41988,50 \text{ ккал}$$

Тепло реакций шлакообразования (расчет по количеству железа, окисляющегося до FeO):

$2FeO+SiO_2=2FeO\cdot SiO_2+11900$ккал;

$$Q_{\text{шл}} = \frac{11900}{2 \cdot 55,85} \cdot 26,27 = 2798,87 \text{ ккал}$$

Всего приход тепла составит:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{шт}} + Q_{\text{д}} + Q_{Fe} + Q_S + Q_{\text{шл}} = 105974,71 \text{ ккал}$$

Расчет расхода тепла

Тепло белого матта:

$$Q_{\text{б.м.}} = G_{\text{б.м.}} \cdot c_{\text{б.м.}}(t_{\text{б.м.}} - t_0) = 39,27 \cdot 0,18(1250 - 25) = 8658,66 \text{ ккал}$$

Тепло шлака:

$$Q_{\text{шл}} = G_{\text{шл}} \cdot c_{\text{шл}}(t_{\text{шл}} - t_0) = 72,79 \cdot 0,295(1200 - 25) = 25229,81 \text{ ккал}$$

Тепло, уносимое отходящими газами:

$$\begin{aligned} Q_{\text{г}} &= \left(V_{SO_2} \cdot c_{SO_2} + V_{O_2} \cdot c_{O_2} + V_{N_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O}\right) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{ст}}) \\ &= (13,25 \cdot 0,536 + 0,84 \cdot 0,353 + 79,98 \cdot 0,334 + 1,29 \cdot 0,41) \\ &\cdot (1000 - 25) = 33778,70 \text{ ккал} \end{aligned}$$

Продолжение приложения А

Тепло эндотермических процессов:

FeS = Fe + S − 22720 ккал, (расчет по количеству сульфидного железа, которого имеем 33,05 кг);

$$Q_{\text{дис } FeS} = \frac{22720}{55{,}85} \cdot 33{,}05 = 13443{,}89 \text{ ккал}$$

Всего на эндотермические процессы затрачивается тепла:

$$Q_{\text{энд}} = 13443{,}89 \text{ ккал}$$

Потер тепла во внешнюю среду: Рассчитывается балансовое время переработки 100 кг штейна при суточной производительности 450 т/сутки:

$$\tau_{\text{бал}} = \frac{24}{450} \cdot 0{,}1 = 0{,}005 \text{ часа}$$

Балансовое время I и II периодов определяется из отношения количество воздуха, поданного в I и II периодах:

$$\tau_1 = \frac{0{,}005}{167{,}68} \cdot 129{,}84 = 0{,}0041 \text{ часа};\ \tau_2 = \frac{0{,}005}{167{,}68} \cdot 37{,}84 = 0{,}0012 \text{ часа}$$

а) Потер тепла поверхности кожуха конвертера.

Поверхность кожуха конвертера вычисляется как поверхность цилиндра диаметром 3,96 и длиной 9,65 м за вычетом площади горловины 6,2 м^2 с учетом ребристости кожуха.

Коэффициент ребристости по практическим данным принимается $k_{\text{реб}}$=1,4, следо-вательно

$$S_{\text{ст}} = k_{\text{реб}} \cdot (\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2 + \pi \cdot D \cdot L - S_{\text{гор}}$$

$$S_{\text{ст}} = 1{,}4 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 3{,}96^2}{4} \cdot 2 + 3{,}14 \cdot 3{,}96 \cdot 9{,}65 - 6{,}2\right) = 193{,}78 \text{ м}^2$$

При температуре наружной поверхности кожуха 200 °C$q_{\text{уд}}$=3500 ккал/м^2·час:

$$Q_{\text{ст}} = q_{\text{уд}} \cdot S_{\text{ст}} \cdot \tau_1 = 3500 \cdot 193{,}78 \cdot 0{,}0041 = 2800{,}94 \text{ ккал}$$

б) Потер тепла излучением через открытую горловину.

При температуре внутренней полости конвертера 1300 °С $q_{уд}$=200000 ккал/м^2·час:

$$Q_{изл} = q_{уд} \cdot S_{гор} \cdot \tau_1 = 200000 \cdot 6{,}2 \cdot 0{,}0041 = 5121 \text{ ккал}$$

Всего потери тепла во внешнюю среду:

$$Q_{вн} = Q_{ст} + Q_{изл} = 2800{,}94 + 5121 = 7921{,}94 \text{ ккал}$$

Всего расход тепла составит:

$$Q_{расх} = Q_{б.м.} + Q_{шл} + Q_{г} + Q_{энд} + Q_{вн} = 89656{,}89 \text{ ккал}$$

На основании проделанных расчетов составляется тепловой баланс первого периода.

Таблица А.12 - Тепловой баланс первого периода (на 100 кг горячего штейна)

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	Ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	20,29	Тепло белого матта	6858,66	8,17
Тепло воздуха	1404,13	1,32	Тепло шлака	25229,81	23,81
Тепло реакций окисления Fe, Zn, Pb	38283,21	36,12	Тепло газов	33778,70	31,87
Тепло реакций окисления серы	41988,50	39,62	Тепло эндотермичес-ких реакций	14067,78	13,27
Тепло шлакообразования	2798,87	2,64	Тепло, теряемое во внешнюю среду	7921,94	7,48
			Невязка баланса	16317,82	15,40
Всего	105974,71	100,00	Всего	105974,71	100,00

Тепловой баланс второго периода

Расчет прихода тепла

Тепло белого матта (рассчитано в первом периоде):

$$Q_{б.м.} = 8658{,}66 \text{ ккал}$$

Тепло воздуха:

$$Q_{д} = V_{д} \cdot c_{д}\left(t_{д} - t_0\right) = 29{,}33 \cdot 0{,}31 \cdot (70 - 25) = 409{,}18 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления серы (расчет по сере): $S + O_2 = SO_2 + 70960$ ккал;

$$Q_S = \frac{70960}{32,07} \cdot 7,64 = 16915,61 \text{ ккал}$$

Всего приход тепла составит:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{б.м.}} + Q_{\text{д}} + Q_S = 25983,45 \text{ ккал}$$

Расчет расхода тепла

Тепло черновой меди при температуре 1200 °С:

$$Q_{\text{ч.}Cu} = G_{\text{ч.}Cu} \cdot c_{\text{ч.}Cu}(t_{\text{ч.}Cu} - t_0) = 30,57 \cdot 0,108(1200 - 25) = 3879,12 \text{ ккал}$$

Тепло газов:

$$Q_{\text{г}} = \left(V_{SO_2} \cdot c_{SO_2} + V_{O_2} \cdot c_{O_2} + V_{N_2} \cdot c_{N_2}\right) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{ст}})$$
$$Q_{\text{г}} = (5,34 \cdot 0,536 + 0,44 \cdot 0353 + 23,91 \cdot 0,334) \cdot (1200 - 25) = 12932,56 \text{ ккал}$$

Тепло эндотермических процессов:

$Cu_2S = 2Cu + S - 23030$ ккал, (расчет по сере),

$$Q_{\text{энд}} = \frac{23030}{32,07} \cdot 7,64 = 5489,94 \text{ ккал}$$

Потери тепла во внешнюю среду:
а) Потер тепла стенками: для $t_{\text{кож}}$=300°С$q_{\text{уд}}$=6500 ккал/м^2·час

$$Q_{\text{ст}} = 6500 \cdot 193,78 \cdot 0,0012 = 1515,86 \text{ ккал}$$

б) Излучение горловиной: для $t_{\text{внут}}$=1350°С$q_{\text{уд}}$=240000 ккал/м^2·час

$$Q_{\text{изл}} = 240000 \cdot 6,2 \cdot 0,0012 = 1790,79 \text{ ккал}$$

Всего расход тепла составит:

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{ч.}Cu} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{энд}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{изл}} = 25608,29 \text{ ккал}$$

Продолжение приложения А

Таблица А.13 – Тепловой баланс второго периода

Приход тепла			Расход тепло		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	ккал	%
Тепло белого матта	8658,66	33,32	Тепло черновой меди	3879,12	14,93
Тепло воздуха	409,18	1,57	Тепло газов	12932,56	49,77
Тепло реакций окисления серы сери	16915,61	65,10	Тепло эндотермических реакций	5489,94	21,13
			Тепло теряемое во внешнюю среду	3306,66	12,73
			Невязка баланса	375,16	1,44
Всего	25983,45	100,00	Всего	25983,45	100,00

Таблица А.14 – Сводный тепловой баланс конвертера

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Стать расхода	ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	17,44	Тепло черновой меди	3879,12	3,15
Тепло воздуха	1813,31	1,47	Тепло шлака	25229,81	20,46
Тепло реакций окисления Fe	38283,21	31,05	Тепло газов	46,711	37,88
Тепло реакций окисления серы	58904,11	47,77	Тепло эндотермических реакций	19557,73	15,86
Тепло шлакообразования	2798,87	2,27	Тепло теряемое во внешнюю среду	11228,60	9,11
			Невязка баланса	16692,98	13,54
Всего	123299,50	100,00	Всего	123229,50	100,00

Приложение Б

Металлургические расчеты

Расчет материального баланса конвертирования с добавлением сульфидного медного концентрата

Расчет рационального состава медного штейна

Расчет производится на 100 кг горячего медного штейна. На плавку поступает медный штейн состава, % (по массе): Cu – 32,38; Zn – 1,31; Pb – 1,62; Fe – 33,81; S – 26,94; O_2 – 1,58; прочие – 2,36.

Так же на плавку поступает кварцевая руда с содержанием, %: Fe– 6,94; S – 3,25; SiO_2– 70; CaO– 5,04; Al_2O_3– 8,18; прочие – 6,59. Влажность кварцевой руды 4 %.

Рассчитывается минералогический состав штейна:

Весь кислород связан с железом в виде магнетита, а медь связана в виде халькозина.

Количество халькозина в штейне: $G^{Cu_2S} = G^{Cu} \cdot \frac{\mu_{Cu_2S}}{\mu_{Cu}} = 32{,}38 \cdot \frac{159{,}15}{2 \cdot 63{,}54} = 40{,}55$ кг,

Количество серы в халькозине: $G_S^{Cu_2S} = G^{Cu_2S} - G^{Cu} = 40{,}55 - 32{,}38 = 8{,}17$ кг,

Количество сфалерита в штейне: $G^{ZnS} = G^{Zn} \cdot \frac{\mu_{ZnS}}{\mu_{Zn}} = 1{,}31 \cdot \frac{97{,}46}{65{,}39} = 1{,}95$ кг,

Количество серы в сфалерите: $G_S^{ZnS} = G^{ZnS} - G^{Zn} = 1{,}95 - 1{,}31 = 0{,}64$ кг,

Количество галенита в штейне: $G^{PbS} = G^{Pb} \cdot \frac{\mu_{PbS}}{\mu_{Pb}} = 1{,}62 \cdot \frac{239{,}27}{207{,}2} = 1{,}87$ кг,

Количество серы в сфалерите: $G_S^{PbS} = G^{PbS} - G^{Pb} = 1{,}87 - 1{,}62 = 0{,}25$ кг,

Остальное количество серы связанно с пирротином.

$G_S^{FeS} = G^S - G_S^{Cu_2S} - G_S^{ZnS} - G_S^{PbS} = 26{,}94 - 8{,}17 - 0{,}64 - 0{,}25 = 17{,}88$ кг,

Количество пирротина в штейне: $G^{FeS} = G_S^{FeS} \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 17{,}88 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 49{,}01$ кг,

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS} = G_S^{FeS} \cdot \frac{\mu_{Fe}}{\mu_S} = 17{,}88 \cdot \frac{55{,}85}{32{,}07} = 31{,}13$ кг,

Количество магнетита в штейне:

$$G^{Fe_3O_4} = 100 - G^{Cu_2S} - G^{ZnS} - G^{PbS} - G^{FeS} - G^{Проч.} = 4{,}26 \text{ кг},$$

Количество железа в магнетите: $G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G^{Fe} - G_{Fe}^{FeS} = 33{,}81 - 31{,}13 = 2{,}68$ кг.

Таблица Б.1 - Рациональный состав медного штейна

Компонент	Cu_2S	FeS	Fe_3O_4	ZnS	PbS	Прочие	Всего
Cu	32,38						32,38
Fe		31,33	2,68				33,81
Zn				1,31			1,31
Pb					1,62		1,62
S	8,17	17,88		0,64	0,25		26,94
O			1,58				1,58
Прочие						2,36	2,36
Всего	40,55	49,01	4,26	1,95	1,87	2,36	100,00

Расчет рационального состава медного концентрата

Расчет производится на 100 кг медного концентрата. На плавку поступает медный концентрат состава, % (по массе): Cu – 24,51; S – 35,13; CaO – 0,20; SiO_2 – 0,50; Fe – 26; Pb – 2,56, Zn – 9,94, Al_2O_3 – 0,2; прочие – 9,5.

Рассчитывается минералогический состав медного концентрата:

Вся медь в медном концентрате находится в виде $CuFeS_2$.

Количество халькопирита: $G^{CuFeS_2} = G^{Cu} \cdot \frac{\mu_{CuFeS_2}}{\mu_{Cu}} = 24{,}51 \cdot \frac{183{,}53}{63{,}54} = 70{,}80$ кг,

Количество серы в халькопирите: $G_S^{CuFeS_2} = G^{Cu} \cdot \frac{2 \cdot \mu_S}{\mu_{Cu}} = 24{,}51 \cdot \frac{2 \cdot 32{,}07}{63{,}54} = 24{,}74$ кг,

Количество железа в халькопирите:

$$G_{Fe}^{CuFeS_2} = G^{CuFeS_2} - G^{S} - G^{Cu} = 70{,}80 - 24{,}74 - 24{,}51 = 21{,}54 \text{ кг},$$

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS_2} = G^{Fe} - G_{Fe}^{CuFeS_2} = 26 - 4{,}46 = 4{,}46$ кг,

Количество серы в пирротине: $G_S^{FeS_2} = G_{Fe}^{FeS_2} \cdot \frac{2 \cdot \mu_S}{\mu_{Fe}} = 4{,}46 \cdot \frac{2 \cdot 32{,}07}{55{,}85} = 5{,}12$ кг,

Количество пирротина: $G^{FeS_2} = G_S^{FeS_2} + G_{Fe}^{FeS_2} = 4{,}46 + 5{,}12 = 9{,}57$ кг,

Количество галенита: $G^{PbS} = G^{Pb} \cdot \frac{\mu_{PbS}}{\mu_{Pb}} = 2{,}56 \cdot \frac{239{,}27}{207{,}20} = 2{,}96$ кг,

Количество серы в галените: $G_S^{PbS} = G^{PbS} - G^{Pb} = 2{,}96 - 2{,}56 = 0{,}40$ кг,

Количество сфалерита: $G^{ZnS} = G^{Zn} \cdot \frac{\mu_{ZnS}}{\mu_{Zn}} = 9{,}94 \cdot \frac{97{,}46}{65{,}39} = 14{,}81$ кг.

Количество серы в сфалерите: $G_S^{ZnS} = G^{ZnS} - G^{Zn} = 14{,}81 - 9{,}94 = 4{,}87$ кг

Таблица Б.2 - Рациональный состав медного концентрата.

Компонент	$CuFeS_2$	FeS_2	PbS	ZnS	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Прочие	Всего
Cu	24,51								24,51
Fe	21,54	4,46							26,00
Pb			2,56						2,56
Zn				9,94					9,94
S	24,74	5,12	0,40	4,87					35,13
SiO_2					0,50				0,50
CaO						0,20			0,20
Al_2O_3							0,20		0,20
Прочие								0,96	0.96
Всего	70,80	9,57	2,96	14,81	0,50	0,20	0,20	0,96	100,00

Расчет рационального состава кварцевой руды

Для расчета принимается, что все сера связана с железом в FeS, находим количество FeS.

Количество пирротина: $G_{FeS}^{кв.руда} = G_S^{кв.руда} \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 3{,}25 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 8{,}91$ кг

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS} = G_{FeS} - G_S = 8{,}91 - 3{,}25 = 5{,}66$ кг

Остается железа на оксид железо II: $G_{Fe}^{FeO} = G_{Fe}^{кв.руда} - G_{Fe}^{FeS} = 6{,}94 - 5{,}66 = 1{,}28$ кг

Количество оксид железо II:

$$G_{FeO} = G_{Fe}^{FeO} \cdot \frac{\mu_{FeO}}{\mu_{Fe}} = 1{,}28 \cdot \frac{71{,}85}{55{,}85} = 1{,}65 \text{ кг}$$

Количество кислорода в оксид железо II:

$$G_O^{FeO} = G_{FeO} - G_{Fe}^{FeO} = 1{,}65 - 1{,}28 = 0{,}37 \text{ кг}$$

Таблица Б.3 - Рациональный состав кварцевой руды без учета влаги

Компоненты	FeS	FeO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	прочие	всего
Fe	5,66	1,28					6,94
S	3,25						3,25
O		0,37					0,37
CaO			5,04				5,04
SiO_2				70,00			70
Al_2O_3					8,18		8,18
прочие						6,22	6,22
всего	8,91	1,65	5,04	70,00	8,18	6,22	100,00

Расчет технологического процесса первого периода

Количество конверторного шлака и кварцевой руды

Для расчета количество флюса и шлака задается определенный состав шлака, %: Cu – 1,07; Fe – 46,83; S – 1,51; SiO_2 – 26; CaO – 1,86;Pb – 1; Zn – 0,5; Al_2O_3 – 2,96; Pb – 1,8; Zn – 2,51; прочие – 15,44.

Обозначим:

x кг – количество конвертерного шлака, образующегося на 100 кг горячего штейна;

y кг – потребное количество кварцевой руды.

Железо в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна	33,81
Из 15 кг медного концентрата	3,9
Из *y* кг кварцевой руды	$0{,}0694 \cdot y$
Всего поступает железа	$(37{,}71+0{,}0694 \cdot y)$

Количество железа в *x* кг шлаке $0{,}4683 \cdot x$ кг.

При полном извлечении железа в шлак должно быть справедливо уравнение (21):

$$37{,}71+0{,}0694 \cdot y = 0{,}4683 \cdot x \qquad (21)$$

Кремнекислоты в конвертер поступает, кг:

Из *у*кг кварцевой руды	$0{,}70 \cdot y$
Из 15 кг медного концентрата	0,075
Всего поступает	$(0{,}70 \cdot y + 0{,}075)$

При полном переходе всей кремнекислоты в конвертерный шлак должно быть справедливо уравнение (22):

$$0{,}7 \cdot y + 0{,}075 = 0{,}26 \cdot x \qquad (22)$$

Решая уравнения (21) и (22), находим количество шлака и флюса:

$$x = 85{,}20 \text{ кг}; \; y = 31{,}54 \text{ кг}$$

Количество кварцевой руды с учетом 4 % влаги: y=32,85 кг

Расчет определение количества и состава конвертерного шлака

Вся медь в конвертерном шлаке находится в форме Cu_2S.

Количество меди в шлаке: $G_{Cu}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Cu)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{1{,}07}{100} = 0{,}91 \text{ кг},$

Количество Cu_2Sв шлаке: $G_{Cu_2S}^{шл} = G_{Cu}^{шл} \cdot \frac{\mu_{Cu_2S}}{2 \cdot \mu_{Cu}} = 0{,}91 \cdot \frac{159{,}15}{2 \cdot 63{,}54} = 1{,}14 \text{ кг},$

Количество серы в Cu_2S: $G_S^{Cu_2S} = G_{Cu_2S}^{шл} - G_{Cu}^{шл} = 1{,}14 - 0{,}91 = 0{,}23 \text{ кг},$

Количество серы в шлаке: $G_S^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(S)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{1{,}51}{100} = 1{,}29 \text{ кг},$

Остается серы: $G_S = G_S^{шл} - G_S^{Cu_2S} = 1{,}29 - 0{,}23 = 1{,}06 \text{ кг},$

Приняв, что оставшаяся сера связана с железом в FeS, находим количество FeS:

Количество железа в шлаке: $G_{Fe}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Fe)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{46{,}83}{100} = 39{,}90 \text{ кг},$

Продолжение приложения Б

Количество пирротина: $G_{FeS} = G_S \cdot \frac{\mu_{FeS}}{\mu_S} = 1{,}06 \cdot \frac{87{,}92}{32{,}07} = 2{,}90$ кг,

Количество железа в пирротине: $G_{Fe}^{FeS} = G_{FeS} - G_S = 2{,}90 - 1{,}06 = 1{,}84$ кг,

Содержание магнетита в конвертерном шлаке 10 %.

Количество магнетита в шлаке: $G_{Fe_3O_4}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Fe_3O_4)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{10}{100} = 8{,}52$ кг,

Количество железо в магнетите:

$$G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{3 \cdot \mu_{Fe}}{\mu_{Fe_3O_4}} = 8{,}52 \cdot \frac{3 \cdot 55{,}85}{231{,}55} = 6{,}17 \text{ кг},$$

Количество кислорода в магнетите: $G_O^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{4 \cdot \mu_O}{\mu_{Fe_3O_4}} = 8{,}52 \cdot \frac{4 \cdot 16}{231{,}55} = 2{,}35$ кг,

Остается железа на оксид железо II: $G_{Fe}^{FeO} = G_{Fe}^{шл} - G_{Fe}^{FeS} - G_{Fe}^{Fe_3O_4} = 31{,}89$ кг,

Количество кислорода на FeO: $G_O^{FeO} = G_{Fe}^{FeO} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Fe}} = 31{,}89 \cdot \frac{16}{55{,}85} = 9{,}14$ кг,

Количество оксид железо II: $G_{FeO}^{шл} = G_{Fe}^{FeO} + G_O^{FeO} = 31{,}84 + 9{,}14 = 41{,}03$ кг,

Количество свинца в шлаке: $G_{Pb}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Pb)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{1{,}8}{100} = 1{,}55$ кг,

Количество оксид свинца (глет): $G_{PbO}^{шл} = G_{Pb}^{шл} \cdot \frac{\mu_{PbO}}{\mu_{Pb}} = 1{,}55 \cdot \frac{223{,}2}{207{,}2} = 1{,}67$ кг,

Количество кислорода в глете: $G_O^{PbO} = G_{PbO}^{шл} - G_{Pb}^{шл} = 1{,}67 - 1{,}55 = 0{,}12$ кг,

Количество цинка в шлаке: $G_{Zn}^{шл} = G_{шл} \cdot \frac{(Zn)}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{2{,}51}{100} = 2{,}14$ кг,

Количество оксид цинка: $G_{ZnO}^{шл} = G_{Zn}^{шл} \cdot \frac{\mu_{ZnO}}{\mu_{Zn}} = 2{,}14 \cdot \frac{81{,}39}{65{,}39} = 2{,}66$ кг,

Количество кислорода в оксид цинке: $G_O^{ZnO} = G_{ZnO}^{шл} - G_{Zn}^{шл} = 2{,}66 - 2{,}14 = 0{,}52$ кг.

Продолжение приложения Б

Таблица Б.4 - Состав и количество конвертерного шлака

Компо-ненты	FeS	Cu_2S	FeO	Fe_3O_4	ZnO	PbO	SiO_2	CaO	Al_2O_3	Прочие	Всего, кг	Всего,%
Cu		0,91									0,91	1,07
Fe	1,84		31,89	6,17							39,90	46,80
Zn					2,14						2,14	2,51
Pb						1,55					1,55	1,82
S	1,06	0,23									1,29	1,51
O			9,14	2,35	0,52	0,12					12,13	14,23
SiO_2							22,15				22,15	25,98
CaO								1,61			1,61	1,89
Al_2O_3									2,55		2,55	2,99
Прочие										1,02	1,02	1,20
Всего,кг	2,90	1,14	41,03	8,52	2,66	1,67	22,15	1,61	2,55	1,02	85,26	100,00
Всего,%	3,40	1,34	48,12	9,99	3,12	1,96	25,98	1,89	2,99	1,20	100,00	

Продолжение приложения Б

Расчет определение количества и состава белого матта

Халькозин в конвертер поступает, кг:

Из 100 кг горячего штейна	40,55
Из 15 кг медного концентрата	4,60
Всего	47,16
С конвертерным шлаком увлекается:	1,14
Остается в белом мате	44,01

Количество меди в халькозине:

$$G_{Cu}^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} \cdot \frac{2 \cdot \mu_{Cu}}{\mu_{Cu_2S}} = 44{,}01 \cdot \frac{2 \cdot 63{,}54}{159{,}15} = 35{,}14 \text{ кг},$$

Количество серы в халькозине: $G_S^{Cu_2S} = G_{Cu_2S} - G_{Cu}^{Cu_2S} = 44{,}01 - 35{,}14 = 8{,}87 \text{ кг},$

Общее количество Cu_2S образующий белый матт:

$$G = G_{Cu_2S} = 44{,}01 \text{ кг},$$

Сумма меди и серы в белом мате составляет 96% и 4% приходится на прочие.

Количество белого мата: $G_{бел.матт} = \frac{44{,}01}{0{,}96} = 45{,}38 \text{ кг},$

Количество прочих в белом матте: $G_{проч}^{бел.матт} = 45{,}38 \cdot 0{,}04 = 1{,}36 \text{ кг}.$

Таблица Б.5 - Количество и состав белого матта

Компоненты	Cu	S	Прочие	Всего, кг
Cu2S	35,14	8,87		44,01
Прочие			1,36	1,36
Всего	35,14	8,87	1,36	45,38

Окисление железа, цинка и свинца

В конвертерном шлаке содержится железа в форме магнетита:

$$G_{Fe}^{Fe_3O_4} = G_{Fe_3O_4}^{шл} \cdot \frac{3 \cdot \mu_{Fe}}{\mu_{Fe_3O_4}} = 8{,}52 \cdot \frac{3 \cdot 55{,}85}{231{,}55} = 6{,}17 \text{ кг}$$

С горячим штейном железа в форме магнетита вводится $G_{Fe}^{Fe_3O_4} = 2{,}68$ кг.

Всего в процесс поступает железа в форме магнетита: 2,68 кг

Окисляется железа кислородом дутья до магнетита: 6,17-2,68=3,48 кг

Количество кислорода для окисления железа по реакции (23):

$$3Fe + 2O_2 = Fe_3O_4 \qquad (23)$$

составит: $$G_O = G_{Fe} \cdot \frac{4 \cdot \mu_O}{3 \cdot \mu_{Fe}} = 3{,}48 \cdot \frac{64}{3 \cdot 55{,}85} = 1{,}33 \text{ кг}$$

В конвертерном шлаке содержится железа в форме FeO:

$$G_{Fe}^{FeO} = G_{FeO}^{шл} \cdot \frac{\mu_{Fe}}{\mu_{FeO}} = 41{,}03 \cdot \frac{55{,}85}{71{,}55} = 31{,}89 \text{ кг}$$

С кварцевой рудой поступает железа в форме FeO:

$$G_{Fe}^{FeO} = G_{кв.руда} \cdot \frac{C_{Fe}}{100} = 31{,}54 \cdot \frac{1{,}28}{100} = 0{,}40 \text{ кг}$$

Окисляется железа кислородом дутья до FeO в количестве:

$$31{,}89 - 0{,}40 = 32{,}49 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления железа по реакции (24):

$$2Fe + O_2 = 2FeO \qquad (24)$$

составит: $$G_O = G_{Fe} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Fe}} = 31{,}49 \cdot \frac{16}{55{,}85} = 9{,}02 \text{ кг}$$

Всего на окисление железа теоретически требуется кислорода:

$$1{,}33 + 9{,}02 = 10{,}35 \text{ кг}$$

В конвертерном шлаке содержится цинк в форме ZnO:

$$G_{Zn}^{ZnO} = G_{шл} \cdot \frac{C_{Zn}}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{2{,}51}{100} = 2{,}14 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления цинка по реакции (25):

$$2Zn + O_2 = 2ZnO \qquad (25)$$

составит: $$G_O = G_{Zn} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Zn}} = 2{,}14 \cdot \frac{16}{65{,}39} = 0{,}52 \text{ кг}$$

В конвертерном шлаке содержится свинец в форме PbO:

$$G_{Pb}^{PbO} = G_{шл} \cdot \frac{C_{Pb}}{100} = 85{,}20 \cdot \frac{1{,}8}{100} = 1{,}55 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления свинца по реакции (26):

$$2Pb + O_2 = 2PbO \qquad (26)$$

составит: $$G_O = G_{Pb} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Pb}} = 01{,}55 \cdot \frac{16}{207{,}2} = 0{,}12 \text{ кг}$$

Расчет определение количества и состава отходящих газов

В первый период конвертирование поступает сера с горячим штейном, медным концентратом и кварцевой рудой.

Количество поступающейся серы:

$$G_S = G_S^{шт} + G_S^{кв.руда} + G_S^{мед.конц.} = 26{,}94 + 1{,}03 + 5{,}27 = 33{,}24 \text{ кг},$$

Часть серы увлекается со шлаком и белым матом:

$$G_S = G_S^{шл} + G_S^{бел.м} = 1{,}29 + 8{,}87 = 10{,}16 \text{ кг},$$

Остается серы : $$G_S = 33{,}24 - 10{,}16 = 23{,}08 \text{ кг}$$

Вся сера окисляется до SO_2. Количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 23{,}08 \cdot \frac{64{,}07}{32{,}07} = 46{,}11 \text{ кг},$$

Продолжение приложения Б

Количество кислорода для окисления серы:

$G_O = G_{SO_2} - G_S = 46{,}11 - 23{,}08 = 23{,}03$ кг,

Количество цинка в отходящих газах: $G_{Zn} = G_{Zn}^{шт} - G_{Zn}^{шл} = 1{,}31 - 0{,}65 = 0{,}66$ кг,

Количество свинца в отходящих газах: $G_{Pb} = G_{Pb}^{шт} - G_{Pb}^{шл} = 1{,}62 - 1{,}17 = 0{,}45$ кг,

Свинец в газах находится в виде PbO. Расчет количество кислорода для окисления свинца: $G_O = G_{Pb} \cdot \frac{\mu_O}{\mu_{Pb}} = 0{,}45 \cdot \frac{16}{207{,}2} = 0{,}04$ кг,

Всего теоретическое количество кислорода для окисления Fe, Pb, Zn и S:

9,02 + 0,52 + 0,12 + 23,03 + 0,04 + 1,33 = 34,06 кг,

В практике использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода: $G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0{,}96} = \frac{34{,}06}{0{,}96} = 35{,}48$ кг

Избыток кислорода: $G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 35{,}48 - 34{,}06 = 1{,}42$ кг,

При 23 % содержания кислорода в воздухе необходимо в первом периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0{,}23} = \frac{35{,}48}{0{,}23} = 154{,}25 \text{ кг},$$

Количество азота в воздухе: $G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0{,}77 = 154{,}25 \cdot 0{,}77 = 118{,}77$ кг

Таблица Б.6 - Состав и количество отходящих газов первого периода

Газ	S	O	N	Zn	Pb	H_2O	вес, кг	Объем, $м^3$	% (объемный)
SO_2	23,08	23,03					46,11	16,12	14,13
O_2		1,42					1,42	0,99	0,87
N_2			118,77				118,77	95,02	83,32
Zn				0,66			0,66	0,23	0,20
PbO		0,04			0,45		0,49	0,05	0,04
H_2O						1,31	1,31	1,64	1,43
всего	23,08	24,48	118,77	0,66	0,45	1,31	168,77	114,04	100,00

Продолжение приложения Б

Таблица Б.7 - Материальный баланс первого периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O_2	N_2	H_2O	Прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Медный концентрат	15,00	3,68	3,90	5,27	0,03	0,08	0,03						0,14
Кремнистый флюс	32,85		2,19	1,02	1,59	22,08	2,58			0,12		1,31	1,96
Воздух	154,25									35,48	118,77		
Всего	302,11	36,06	39,90	33,23	1,62	22,15	2,61	2,80	2,00	37,17	118,77	1,31	4,47
Полученно													
Белый матт	45,38	35,14		8,87									1,36
Шлак	85,20	0,91	39,90	1,29	1,61	22,15	2,55	2,14	1,55	12,13			1,02
Газы	168,77			23,08				0,66	0,45	24,48	118,77	1,31	
Всего	299,34	36,06	39,90	33,23	1,61	22,15	2,55	2,80	2,00	36,62	118,77	1,31	2,38

Продолжение приложения Б

Расчет технологического процесса второго периода

Расчет количества и состава черновой меды и отходящих газов

При продувке белого матта полусернистая медь окисляется с образованием металлической меди и SO_2.

Продуктами процесса являются черновая медь, газы и небольшое количество так называемой изгари, образующейся из примесей, содержащихся в белом мате, остатков шлака от первого периода и окислившейся меди.

По практическим данным извлечение меди из белого матта в черновой металл 99,5 %. Отсюда, количество меди, извлекаемой в черновой металл:

$$G_{Cu}^{ч.Cu} = G_{Cu}^{бел.матт} \cdot 0{,}995 = 35{,}14 \cdot 0{,}995 = 34{,}97 \text{ кг}$$

При содержании в черновой меди 99 % Cuколичество черновой меди:

$$G_{ч.Cu} = \frac{G_{Cu}^{ч.Me}}{0{,}99} = \frac{34{,}97}{0{,}99} = 35{,}32 \text{ кг}$$

Серы в черновой меди 0,1 %, что составляет:

$$G_S^{ч.Cu} = G_{ч.Cu} \cdot 0{,}001 = 35{,}32 \cdot 0{,}001 = 0{,}04 \text{ кг}$$

Всего серы в белом матте 8,87 кг, следовательно, необходимо окислить серы:

$$G_S = G_S^{бел.матт} - G_S^{ч.Cu} = 8{,}87 - 0{,}04 = 8{,}83 \text{ кг}$$

Вся сера окисляется до SO_2, следовательно, количество SO_2:

$$G_{SO_2} = G_S \cdot \frac{\mu_{SO_2}}{\mu_S} = 8{,}83 \cdot \frac{64{,}07}{32{,}07} = 17{,}65 \text{ кг}$$

Количество кислорода для окисления серы: $G_O = G_{SO_2} - G_S = 17{,}65 - 8{,}83 = 8{,}81$ кг

Практические данные показывает, что использование кислорода ванной конвертера 96 %, следовательно, практическое количество кислорода:

$$G_O^{прак} = \frac{G_O^{теор}}{0{,}96} = \frac{8{,}81}{0{,}96} = 9{,}18 \text{ кг}$$

Избыток кислорода: $G_O^{изб} = G_O^{прак} - G_O^{теор} = 9{,}18 - 8{,}81 = 0{,}37$ кг

При 21 % содержания кислорода в воздухе необходимо во втором периоде подать воздух:

$$G_{воздух} = \frac{G_O^{прак}}{0{,}23} = \frac{9{,}18}{0{,}21} = 43{,}72 \text{ кг}$$

Количество азота в воздухе: $G_N^{воздух} = G_{воздух} \cdot 0{,}79 = 43{,}72 \cdot 0{,}79 = 34{,}54$ кг

Таблица Б.8 - Состав и количество отходящих газов второго периода

Газ	S	O	N	Вес, кг	Объем, м^3	% (объемный)
SO_2	8,83	8,81		17,65	6,17	17,98
O		0,37		0,37	0,51	1,50
N			34,54	34,54	27,63	80,52
Всего	8,83	9,18	34,54	52,56	34,32	100,00

Таблица Б.9 - Материальный баланс второго периода

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	S	O	N	Прочие
Поступило						
Белый матт	45,38	35,14	8,87			1,36
Воздух	43,72			9,18	34,54	
Всего	89,10	35,14	8,87	9,18	34,54	1,36
Получено						
Черновая медь	35,32	34,97	0,04			0,32
Газы	52,56		883	9,18	34,54	
Изгарь	1,22	0,18				1,04
Всего	89,10	35,14	8,87	9,18	34,54	1,36

Сводный материальный баланс

При составлении сводного материального баланса учитывается пылеунос в размере 1 % от всех жидких и твердых материалов, загружаемых в конвертер. От суммарного прихода каждого из элементов шихты в пыль снимается 1 %. В результате соответственно уменьшается количество данного элемента в жидких продуктах процесса – черновом металле и шлаке, пропорционально его содержанию в этих продуктах.

Продолжение приложения Б

Распределение меди между черновым металлом и шлаком:

В черновом металле меди	34,97 кг	97,46 %
В шлаке	0,91 кг	2,54 %
Всего	35,88 кг	100 %

Соответственно этому распределению снимается в пыль за счет чернового металла: $35{,}88 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}98 = 0{,}35$ кг

За счет шлака: $35{,}88 \cdot 0{,}01 \cdot 0{,}03 = 0{,}01$ кг

Отсюда, количество меди в черновом металле: 34,97 -0,35=34,62 кг

Меди в шлаке: 0,91-0,01=0,90 кг

Распределение железа в шлак:

Железо в шлаке	39,90 кг	100%

Снимается пыль за счет шлака: 39,90·0,01=0,40 кг

Количество железа в шлаке: 39,90-0,40=39,50 кг

Распределение серы между черновым металлом и шлаком:

В черновом металле серы	0,04 кг	2,67%
В шлаке	1,29 кг	97,33%
Всего	1,32 кг	100%

Снимается пыль за счет чернового металла: 1,32·0,01·0,03=0 кг

За счет шлака: 1,32·0,01·0,97=0,01 кг

Количество серы в черновом металле: 0,04-0,00=0,03 кг

В шлаке: 1,29-0,01=1,27 кг

Распределение оксида кремния в шлак: 22,15 кг 100%

Снимается пыль за счет шлака: 22,15·0,01=0,22 кг

Количество оксида кремния в шлаке: 22,15-0,22=21,93 кг

Распределение оксида кальция в шлак: 1,61 100%

Снимается пыль за счет шлака: 1,61·0,01=0,02 кг

Количество оксида кальция в шлаке: 1,61-0,02=1,60 кг

Распределение оксида алюминия в шлаке: 2,55 100%

Снимается пыль за счет шлака: 2,55·0,01=0,03 кг

Количество оксида кальция в шлаке: 2,55-0,03=2,53 кг

Распределение прочих:

В черновой металл:	0,32 кг	23,76%
В шлак	1,02 кг	72,24%
Всего	1,34 кг	100%

Продолжение приложения Б

Снимается пыль за счет чернового металла: 1,34·0,01·0,24=0,00 кг
За счет шлака: 1,34·0,01·0,72=0,01 кг
Количество прочих в черновой меди: 0,32-0,00=0,31 кг
В шлаке: 1,02-0,01=1,01 кг

Продолжение приложения Б

Таблица Б.10 – Сводный материальный баланс процесса конвертирования медного штейна

Материалы и продукты плавки	Всего	Cu	Fe	S	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Zn	Pb	O	N	H_2O	прочие
Поступило													
Штейн горячий	100,00	32,38	33,81	26,94				1,31	1,62	1,58			2,36
Медный концентрат	15,00	3,68	3,90	5,27	0,03	0,08	0,03	1,61	0,38				0,14
Кремнистый флюс	32,85		2,19	1,02	1,59	22,08	2,58			0,12		1,31	1,96
Воздух	197,98									44,66	153,32		
Всего	345,83	36,06	39,90	33,23	1,62	22,15	2,61	2,92	2,00	46,36	153,32	1,31	4,47
Полученно													
Черновая медь	34,87	34,62		0,03									0,32
Шлак	85,20	0,90	39,50	1,27	1,60	21,93	2,53	2,14	1,55	12,13			1,01
Газы	221,32			31,91				0,66	0,45	33,66	153,32	1,31	
Пыль	3,11	0,36	0,40	0,01	0,02	0,22	0,03	0,01	0,00				0,01
Изгарь	1,22	0,18											1,04
Всего	345,83	36,06	39,90	33,23	1,61	22,15	2,55	2,91	2,00	45,80	153,32	1,31	2,38

Продолжение приложения Б

Расчет теплового баланса конвертера

Тепловой баланс процесса рассчитывается на основании данных материальных балансов по периодам при значениях температур и теплоемкостей материалов и продуктов процесса, принимаемых по данным практики и исследований.

Таблица Б.11 - Температуры и теплоемкости материалов и продуктов процесса конвертирования медного штейна

Материалы и продукты плавки	Температура		Теплоемкость, ккал/кг·°С
	I период	II период	
Штейн горячий	1100		0,2
Воздух	70	70	0,31
Белый матт	1250	1250	0,18
Черновая медь		1200	0,108
Шлак	1200		0,295
Газы	1000	1200	0,536
Поверхность кожуха конвертера	200	300	
Внутренняя полость конвертера	1300	1350	

Тепловой баланс первого периода

Расчет прихода тепла

Стандартная температура t_o=25 °С
Физическое тепло горячего штейна:

$$Q_{\text{шт}} = G_{\text{шт}} \cdot c_{\text{шт}}(t_{\text{шт}} - t_0) = 100 \cdot 0{,}2 \cdot (1100 - 25) = 21500 \text{ ккал}$$

Физическое тепло воздуха:

$$Q_{\text{д}} = V_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}}\left(t_{\text{д}} - t_0\right) = 119{,}58 \cdot 0{,}31 \cdot (70 - 25) = 1668{,}08 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления железа (расчет по железу):
а)$3Fe+2O_2=Fe_3O_4+267000$;

$$q_1 = \frac{267000}{3 \cdot 55{,}85} \cdot 3{,}48 = 5553{,}51 \text{ ккал}$$

б) $Fe+0,5O_2=FeO+63700$ ккал;

$$q_2 = \frac{63700}{55,85} \cdot 31,49 = 35916,30 \text{ ккал}$$

Всего от окисления железа до магнетита и закиси:

$$Q_{Fe} = q_1 + q_2 = 5553,51 + 35916,30 = 41469,81 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления серы (расчет по сере):

$$S+O_2=SO_2+70960 \text{ ккал};$$

$$Q_S = \frac{70960}{32,07} \cdot 23,08 = 51065,70 \text{ ккал}$$

Тепло реакций шлакообразования (расчет по количеству железа, окисляющегося до FeO):

$$2FeO+SiO_2=2FeO \cdot SiO_2+11900 \text{ккал};$$

$$Q_{\text{шл}} = \frac{11900}{2 \cdot 55,85} \cdot 31,89 = 3354,82 \text{ ккал}$$

Всего приход тепла составит:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{шт}} + Q_{\text{д}} + Q_{Fe} + Q_S + Q_{\text{шл}} = 119058,42 \text{ ккал}$$

Расчет расхода тепла

Тепло белого матта:

$$Q_{\text{б.м.}} = G_{\text{б.м.}} \cdot c_{\text{б.м.}}(t_{\text{б.м.}} - t_0) = 45,38 \cdot 0,18(1250 - 25) = 10005,26 \text{ ккал}$$

Тепло шлака:

$$Q_{\text{шл}} = G_{\text{шл}} \cdot c_{\text{шл}}(t_{\text{шл}} - t_0) = 85,20 \cdot 0,295(1200 - 25) = 29532,15 \text{ ккал}$$

Тепло,уносимое отходящими газами:

$$Q_{\text{г}} = \left(V_{SO_2} \cdot c_{SO_2} + V_{O_2} \cdot c_{O_2} + V_{N_2} \cdot c_{N_2} + V_{H_2O} \cdot c_{H_2O}\right) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{ст}}) = (16{,}12 \cdot 0{,}536 + 0{,}99 \cdot 0{,}353 + 95{,}02 \cdot 0{,}334 + 1{,}64 \cdot 0{,}41) \cdot (1000 - 25) = 40363{,}11 \text{ ккал}$$

Тепло эндотермических процессов:

а)FeS = Fe + S − 22720 ккал, (расчет по количеству сульфидного железа, которого имеем 40,25 кг);

$$Q_{\text{дис } FeS} = \frac{22720}{55{,}85} \cdot 40{,}19 = 16350{,}24 \text{ ккал}$$

б) $FeS+Fe_3O_4=FeO+SO_2-96760$ ккал;

$$Q_{FeS+\text{Fe3O4}} = \frac{(3{,}90 + 5{,}27) \cdot 96760}{87{,}92} = 10091{,}50 \text{ ккал}$$

в) $FeS_2=FeS+S-19800$ ккал;

$$Q_{\text{дис } FeS_2} = \frac{(3{,}90 + 5{,}27) \cdot 19800}{87{,}92} = 2065{,}03 \text{ ккал}$$

г) $Cu_2O=2Cu+0{,}5O_2-39840$ ккал;

$$Q_{\text{дис } Cu_2\text{O}} = \frac{0{,}91 \cdot 39840}{2 \cdot 63{,}54} = 285{,}79 \text{ ккал}$$

д) $CaO+SiO_2=CaO \cdot SiO_2-19700$ ккал;

$$Q_{CaO+SiO_2} = \frac{1{,}62 \cdot 22720}{56{,}08} = 568{,}91 \text{ ккал}$$

Всего на эндотермические процессы затрачивается тепла:

$$Q_{\text{энд}} = 13011{,}28 \text{ ккал}$$

Потер тепла во внешнюю среду: Рассчитывается балансовое время переработки 100 кг штейна при суточной производительности 450 т/сутки:

$$\tau_{\text{бал}} = \frac{24}{450} \cdot 0{,}1 = 0{,}005 \text{ часа}$$

Балансовое время I и II периодов определяется из отношения количество воздуха, поданного в I и II периодах:

$$\tau_1 = \frac{0{,}005}{194{,}66} \cdot 152{,}65 = 0{,}0042 \text{ часа};\ \tau_2 = \frac{0{,}005}{194{,}66} \cdot 42{,}01 = 0{,}0012 \text{ часа}$$

а) Потер тепла поверхности кожуха конвертера.

Поверхность кожуха конвертера вычисляется как поверхность цилиндра диаметром 3,96 и длиной 9,65 м за вычетом площади горловины 6,2 м^2 с учетом ребристости кожуха.

Коэффициент ребристости по практическим данным принимается $k_{\text{реб}}$=1,4, следо-вательно

$$S_{\text{ст}} = k_{\text{реб}} \cdot (\frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot 2 + \pi \cdot D \cdot L - S_{\text{гор}}$$

$$S_{\text{ст}} = 1{,}4 \cdot \left(\frac{3{,}14 \cdot 3{,}96^2}{4} \cdot 2 + 3{,}14 \cdot 3{,}96 \cdot 9{,}65 - 6{,}2\right) = 193{,}78 \text{ м}^2$$

При температуре наружной поверхности кожуха 200 °С$q_{\text{уд}}$=3500 ккал/м^2·час:

$$Q_{\text{ст}} = q_{\text{уд}} \cdot S_{\text{ст}} \cdot \tau_1 = 3500 \cdot 193{,}78 \cdot 0{,}0042 = 2818{,}32 \text{ ккал}$$

б) Потер тепла излучением через открытую горловину.

При температуре внутренней полости конвертера 1300 °С$q_{\text{уд}}$=200000 ккал/м^2·час:

$$Q_{\text{изл}} = q_{\text{уд}} \cdot S_{\text{гор}} \cdot \tau_1 = 200000 \cdot 6{,}2 \cdot 0{,}0042 = 5152{,}78 \text{ ккал}$$

Всего потери тепла во внешнюю среду:

$$Q_{\text{вн}} = Q_{\text{ст}} + Q_{\text{изл}} = 2818{,}32 + 5152{,}78 = 7971{,}09 \text{ ккал}$$

Всего расход тепла составит:

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{б.м.}} + Q_{\text{шл}} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{энд}} + Q_{\text{вн}} = 118021{,}58 \text{ ккал}$$

На основании проделанных расчетов составляется тепловой баланс первого периода.

Таблица Б.12 - Тепловой баланс первого периода (на 100 кг горячего штейна)

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	Ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	18,06	Тепло белого матта	10005,26	8,40
Тепло воздуха	1668,08	1,40	Тепло шлака	29532,15	24,80
Тепло реакций окисления железа	41469,81	34,83	Тепло газов	40363,11	33,90
Тепло реакций окисления серы	51065,70	42,89	Тепло эндотермичес-ких реакций	30149,97	25,32
Тепло шлакообразования	3354,82	2,82	Тепло, теряемое во внешнюю среду	7971,09	6,70
			Невязка баланса	1036,84	0,87
Всего	119058,42	100,00	Всего	119058,42	100,00

Тепловой баланс второго периода

Расчет прихода тепла

Тепло белого матта (рассчитано в первом периоде):

$$Q_{\text{б.м.}} = 10005{,}26 \text{ккал}$$

Тепло воздуха:

$$Q_{\text{д}} = V_{\text{д}} \cdot c_{\text{д}}\left(t_{\text{д}} - t_0\right) = 33{,}89 \cdot 0{,}31 \cdot (70 - 25) = 472{,}82 \text{ ккал}$$

Тепло реакций окисления серы (расчет по сере):

$$S+O_2=SO_2+70960 \text{ ккал};$$

$$Q_S = \frac{70960}{32{,}07} \cdot 8{,}83 = 19546{,}33 \text{ ккал}$$

Всего приход тепла составит:

$$Q_{\text{прих}} = Q_{\text{б.м.}} + Q_{\text{д}} + Q_S = 30024{,}41 \text{ ккал}$$

Расчет расхода тепла

Тепло черновой меди при температуре 1200 °С:

$$Q_{\text{ч.}Cu} = G_{\text{ч.}Cu} \cdot c_{\text{ч.}Cu}(t_{\text{ч.}Cu} - t_0) = 34{,}97 \cdot 0{,}108(1200 - 25) = 4482{,}41 \text{ ккал}$$

Тепло газов:

$$Q_{\text{г}} = \left(V_{SO_2} \cdot c_{SO_2} + V_{O_2} \cdot c_{O_2} + V_{N_2} \cdot c_{N_2}\right) \cdot (t_{\text{г}} - t_{\text{ст}})$$
$$Q_{\text{г}} = (6{,}17 \cdot 0{,}536 + 0{,}51 \cdot 0353 + 27{,}63 \cdot 0{,}334) \cdot (1200 - 25) = 14943{,}84 \text{ ккал}$$

Тепло эндотермических процессов:

$Cu_2S=2Cu+S–23030$ ккал, (расчет по сере):

$$Q_{\text{энд}} = \frac{23030}{32{,}07} \cdot 8{,}83 = 6343{,}74 \text{ ккал}$$

Потери тепла во внешнюю среду:
а) Потер тепла стенками: для $t_{\text{кож}}$=300°С$q_{\text{уд}}$=6500 ккал/м^2·час

$$Q_{\text{ст}} = 6500 \cdot 193{,}78 \cdot 0{,}0012 = 1483{,}59 \text{ ккал}$$

б) Излучение горловиной: для $t_{\text{внут}}$=1350°С$q_{\text{уд}}$=240000 ккал/м^2·час

$$Q_{\text{изл}} = 240000 \cdot 6{,}2 \cdot 0{,}0012 = 1752{,}67 \text{ ккал}$$

Всего расход тепла составит:

$$Q_{\text{расх}} = Q_{\text{ч.}Cu} + Q_{\text{г}} + Q_{\text{энд}} + Q_{\text{ст}} + Q_{\text{изл}} = 29006{,}25 \text{ ккал}$$

Продолжение приложения Б

Таблица Б.13 - Тепловой баланс второго периода

Приход тепла			Расход тепло		
Статьи прихода	ккал	%	Статьи расхода	ккал	%
Тепло белого матта	10005,26	33,32	Тепло черновой меди	4482,41	14,93
Тепло воздуха	472,82	1,57	Тепло газов	14943,84	49,77
Тепло реакций окисления серы сери	19546,33	65,10	Тепло эндотермических реакций	6343,74	21,13
			Тепло теряемое во внешнюю среду	3236,25	10,78
			Невязка баланса	1018,16	3,39
Всего	30024,41	100,00	Всего	30024,41	100,00

Таблица Б.14 - Сводный тепловой баланс конвертера

Приход тепла			Расход тепла		
Статьи прихода	ккал	%	Стать расхода	ккал	%
Тепло горячего штейна	21500,00	15,46	Тепло черновой меди	4482,41	3,22
Тепло воздуха	2140,90	1,54	Тепло шлака	29532,15	21,23
Тепло реакций окисления Fe	41469,81	29,82	Тепло газов	55306,95	39,77
Тепло реакций окисления серы	70612,03	50,77	Тепло эндотермических реакций	36493,72	26,24
Тепло шлакообразова-ния	3354,82	2,41	Тепло теряемое во внешнюю среду	11207,35	8,06
			Невязка баланса	2055,00	1,48
Всего	139077,57	100,00	Всего	139077,57	100,00