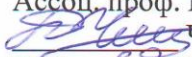


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет  
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова  
Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии специальных  
материалов

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
Заведующая кафедрой МПТиТСМ,  
Ассоц. проф. Канд. техн. наук  
 Чепуштанова Т.А.  
“30” апреля 2019 г.

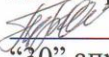
**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

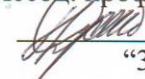
На тему: " Термодинамическое моделирование процессов горения систем  
“силумин-марганцевые руды в режиме СВС "

по специальности 5В070900 – Металлургия

Выполнил

Танжарбаев Д.Е

Руководитель от РГП ИПГ  
Магистр технических наук  
 Осеров Т.Б.  
“30” апреля 2019 г

Научный руководитель  
Ассоц. проф. Канд. техн наук  
 Гусейнова Г.Д.  
“30” апреля 2019 г.

**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**  
НАО «КазНТУ им. К.И. Сатпаева»  
Горно-металлургический  
институт им. О.А. Байконурова

Алматы 2019

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени

К.И. Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра металлургических процессов, теплотехники и технологии специальных

материалов

5B070900 – Металлургия



**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующая кафедрой МПТ и ТСМ,

Ассоц. проф. Канд. техн. наук

*Т.А. Чепуштанова* Чепуштанова Т.А

«30» апреля 2019 г.

### **ЗАДАНИЕ**

#### **на выполнение дипломной работы**

Обучающемуся Танжарбаева Данабека Ербулатовича

Тема: Термодинамическое моделирование процессов горения систем «силумин-марганцевые руды в режиме СВС»

Утверждена приказом Ректора Университета № 1113-б от «08» октября 2019 г.

Срок сдачи законченной работы: «30» апреля 2019 г.

Исходные данные к дипломной работе: алюминиевые сплавы – силумины, железо-марганцевые руды, лабораторное оборудование (печь СВС, термодинамическая программа Terra);

Краткое содержание дипломной работы:

а) основная часть: самораспространяющийся высокотемпературный синтез, силумин, термодинамические исследования системы силумин – марганцевая руда в области высоких температур;

б) экономическая часть: расчет затрат на проведение исследований, расчет затрат на электроэнергию, расчеты себестоимости и рентабельности, расчет накоплений на научно-исследовательскую работу;

в) охрана труда: размещение оборудования с точки зрения безопасности, обеспечение электробезопасности;

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей): представлены 15 слайдов презентации работы

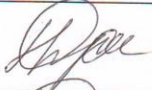
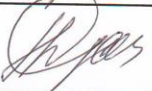
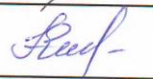
Рекомендуемая основная литература: из 17 наименований

**ГРАФИК**  
подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	5.02.2019 г.	
Литературный обзор	20.02.2019 г.	
Экспериментальная часть	18.03.2019 г.	
Экономическая часть	19.04.2019 г.	
Безопасность и охрана труда	25.04.2019 г.	
Заключение	27.04.2019 г.	
Нормоконтроль	02.05.2019 г.	

**Подписи**

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

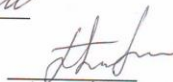
Наименования разделов	Консультанты И.О.Ф (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Экономическая часть	канд. техн. наук, ассоц. проф Гусейнова Г.Д	19.04.2019 г.	
Безопасность и охрана труда	канд. техн. наук, ассоц. проф Гусейнова Г.Д	25.04.2019 г.	
Нормоконтролер	канд. техн. наук Кобыратбекова С.С	02.05.2019 г.	

Научный руководитель



Гусейнова Г.Д

Задание принял к исполнению обучающийся



Танжарбаев Д.Е.

Дата

" 15 " октября 2018 г.

## АНДАТПА

Дипломдық жұмыс тапсырмадан, кіріспеден, негізгі бөлімнен, қорытындыдан және қолданылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс 29 беттік компьютерлік теруден, 13 суреттен, 8 кестеден тұрады. Қолданылған әдебиеттер тізімі 17 атаудан құралған.

Дипломдық жұмыстың мақсаты силумин - марганец рудасы жүйесінің жану процестерінің жалпы заңдылықтарын зерттеу болып табылады.

Зерттеу объектісі: алюминий балқымалары - силуминдер, темір марганец рудасы.

Жұмыста Қазақстанның әр түрлі кен орындарындағы силумин мен марганец шикізатының қатысуымен жүретін жоғарытемпературалық процесстердің термодинамикалық модельдеуінің нәтижелері көрсетілген. Жоғары температуралық аймақта силумин - марганец рудасы термодинамикалық модельдеу жүйесі Terra программасы көмегімен жасалынды.

Жұмыста, сондай-ақ, қоршаған ортаны қорғау бөлімдері қарастырылған және зерттеудің экономикалық көрсеткіштері есептелген.

## АННОТАЦИЯ

Дипломная работа состоит из задания, введения, основной части, заключения, списка использованной литературы. Работа изложена на 29 страницах компьютерного набора, включает 13 рисунков, 8 таблиц. Список использованной литературы содержит 17 наименований.

Целью дипломной работы является изучение общих закономерностей процессов горения системы силумин – марганцевые руды.

Объект исследования: алюминиевые сплавы – силумины, железо-марганцевые руды.

В работе приведены результаты по термодинамическому моделированию высокотемпературных процессов с участием силумина и марганцевого сырья различных месторождений Казахстана. С использованием программы Тетга проведено термодинамическое моделирование систем силумин - марганцевые руды и силумин в области высоких температур.

В работе также рассмотрены разделы, касающиеся охраны окружающей среды и рассчитаны экономические показатели проведенных исследований.

## ANNOTATION

Thesis consists of tasks, introduction, main part, conclusion, bibliography. Work is on the pages of a 29 computer set includes 13 figures, 8 tables. List of references contains 17 names.

The aim of the thesis is to study the general laws of the processes of combustion systems Silumin - manganese ore.

Object of study: aluminum alloys - silumins, iron-manganese ores.

The results of thermodynamic modeling for high temperature processes involving silumin and manganese ore from various deposits in Kazakhstan. Using the program Terra performed a thermodynamic modeling of systems Silumin - manganese ore at high temperatures .

This work also addresses topics related to the environment and economic indicators are designed studies.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	5
1	Основная часть	7
1.1	Критический обзор	8
1.2	Термодинамические исследования системы силумин – марганцевая руда в области высоких температур	8
1.2.1	Термодинамическое моделирование системы силумин – Fe-Mn руды месторождения Жомарт	8
1.2.2	Термодинамическое моделирование системы силумин - Fe-Mn руды месторождения Караадыр	16
2	Экономическая часть	22
3	Охрана труда	26
	Заключение	28
	Список использованной литературы	29

## **ВВЕДЕНИЕ**

### **Современное состояние научно-технической проблемы**

В настоящее время горно-металлургический комплекс является одной из базовых отраслей промышленности Республики Казахстан, играющей важную роль в формировании макроэкономических показателей страны. От того, как в дальнейшем станет развиваться данный комплекс, будет зависеть поступательное развитие национальной экономики в целом.

В современных условиях основной целью индустриальной политики Казахстана является создание максимального сбалансированного промышленного (индустриально-инновационного) комплекса, способного удовлетворять потребности внутреннего рынка конкурентоспособной продукцией, постоянно наращивать экспортный потенциал за счет продукции высокой степени переработки. Для достижения этой цели очень важно обеспечить рациональное использование минерально-энергетических ресурсов, способствовать организации высоких технологических укладов во всех отраслях промышленности, содействовать технологической кооперации и развитию высокотехнологических производств.

В настоящее время в РК существует семь приоритетных направлений развития, к которым относятся: Агропромышленный комплекс, металлургия, нефтепереработка, энергетика, химия и фармацевтика, стройиндустрия, транспорт и инфокоммуникации.

Черная металлургия - сравнительно молодая отрасль тяжелой промышленности Казахстана. Она появилась лишь в годы второй мировой войны и в настоящее время представлена предприятиями полного и неполного цикла производства. Они дают чугун, сталь, изделия проката и ферросплавы. В республике имеются крупные разведанные запасы высококачественных марганцевых руд. Производство марганцевых ферросплавов в республике станет одной из перспективных экспортных отраслей. Выявление новых месторождений марганцевых руд и эффективное развитие сырьевой базы позволит решить проблему обеспечения марганцевыми сплавами металлургическую промышленность РК.

### **Актуальность работы**

Главным направлением развития черной металлургии является улучшение качества и увеличение выпуска новых высокоэффективных видов металлопродукции, в том числе легированных сталей, производство которых невозможно без использования рафинированных марганцевых ферросплавов.

Несмотря на значительные успехи в развитии ферросплавного производства, проблема рационального использования марганца в последние годы приобрела особое значение. Главной причиной этого является постоянно ухудшающееся качество добываемых марганцевых руд, а также высокая стоимость исходных шихтовых материалов и электроэнергии. В связи с этим вопросы совершенствования технологии производства рафинированных



сплавов марганца продолжают оставаться актуальными и требуют проведения дальнейших теоретических, лабораторных и промышленных исследований.

**Цель:** Изучение общих закономерностей процессов горения систем силумин – марганцевые руды в режиме металлотермии.

**Объект исследования:** алюминиевые сплавы – силумины, железо-марганцевые и марганцевые руды.

**Задачи работы:**

- термодинамические исследования системы силумин – марганцевые руды в области высоких температур;
- экономический расчет;

**Научная новизна:** впервые проведено термодинамическое моделирование горения систем силумин-марганцевая руда, которое позволит определить качественный и количественный подбор состава шихты и флюсов в экспериментах по получению легирующих материалов из марганцевых руд в режиме СВС.

**Теоретическая основа** – анализ литературных данных, промежуточные научные отчеты РГП «Институт проблем горения».

**Методологическая основа** - термодинамическое моделирование с использованием программы Terra, химический метод анализа.

**Практическая база написания** - РГП «Институт проблем горения».

Лаборатория СВС – новых материалов.

**Обоснованием** для написания работы послужили выполненные дипломантом эксперименты и лабораторные испытания, которые показали принципиальную возможность осуществления предлагаемой технологии.

## 1 Основная часть

### 1.1 Критический обзор

Силумин — сплав алюминия с кремнием. Химический состав — 4 – 22 % Si, основа — Al, незначительное количество примесей Fe, Cu, Mn, Ca, Ti, Zn, и некоторых других. Некоторые силумины модифицируются добавками натрия или лития. Сплав Al-Si (силумины) обладают наилучшими литейными свойствами. В двойных сплавах Al-Si эвтектика состоит из твердого раствора и кристаллов практически чистого кремния. В легированных силуминах помимо двойной эвтектики имеются тройные и более сложные эвтектики. По сравнению с алюминием силумины обладают большей прочностью и износоустойчивостью, но уступают в этом дюралюмию — сплавам алюминия с медью. В отличие от дюралюминия, силумины устойчивы к коррозии во влажной атмосфере и морской воде, в слабокислой и щелочной среде. Обладая высокими литейными свойствами, силумины являются основным исходным материалом для создания технологичных и, в то же время, высокопрочных литейных алюминиевых сплавов, которые могут подвергаться упрочняющей термической обработке. Плотность большинства силуминов  $2650 \text{ кг/м}^3$ , т.е. меньше плотности чистого алюминия ( $2700 \text{ кг/м}^3$ ). Они хорошо свариваются [1].

Механические свойства зависят от химического состава, технологии изготовления (модифицирования, способа литья и т.д.), а также термической обработки. В двойных силуминах с увеличением содержания кремния до эвтектического состава снижается пластичность и повышается прочность. Появление в структуре сплавов крупных кристаллов первичного кремния вызывает снижение прочности и пластичности. Применяются для литья деталей в авто-мото- и авиастроении (например, картеров, блоков цилиндров, поршней), и для производства бытовой техники (теплообменников, мясорубок) [2].

Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) — экзотермический химический процесс, протекающий в автоволновом режиме горения и приводящий к образованию твердых продуктов. СВС представляет собой режим протекания экзотермической реакции, в котором тепловыделение локализовано в узком слое и передается от слоя к слою путем теплопередачи. В 1967 году небольшая группа ученых (И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов), исследуя экспериментальные модели горения конденсированных систем, открыла новое явление, получившее название «твердого пламени». Твердое пламя, которое было для того времени достаточно необычным явлением, представляет собой процесс, в котором исходные реагенты, промежуточные и конечные продукты остаются в твердом состоянии в течение всего процесса превращения. Твердое пламя позволило получать ценные тугоплавкие материалы. Это обстоятельство привело к созданию нового высокоэффективного метода их производства — самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС). Исследования СВС – процессов открыли новые горизонты познания и практических применений. Ранее неизученные

системы, явления и процессы, при исследовании которых возникали различные научные проблемы, задачи и возможные практические применения стали желаемым объектом экспериментальной диагностики и теоретического моделирования [3-5].

## 1.2 Термодинамические исследования системы силумин – марганцевая руда в области высоких температур

### 1.2.1 Термодинамическое моделирование системы силумин – Fe-Mn руды месторождения Жомарт

На территории Казахстана по данным геологии известно более 100 месторождений и рудопроявлений марганцевого рудного сырья. Государственным балансом учтено 19 месторождений, запасы руд в которых по состоянию на 01.01.2017 г. составляют: категорий А + В + С<sub>1</sub> – 425 млн.т, категории С<sub>2</sub> – 198,6 млн. т в том числе окисленные А + В + С<sub>1</sub> + С<sub>2</sub> – 625 млн.т. Около 60 % запасов от 10 до 20 % Mn, 32 % - от 20 до 30 % Mn и только 11 % - более 30 % Mn. Для руд всех типов характерна низкая концентрация фосфора (0,02 – 0,08 %) и серы (0,1 – 0,3 %) [6-7].

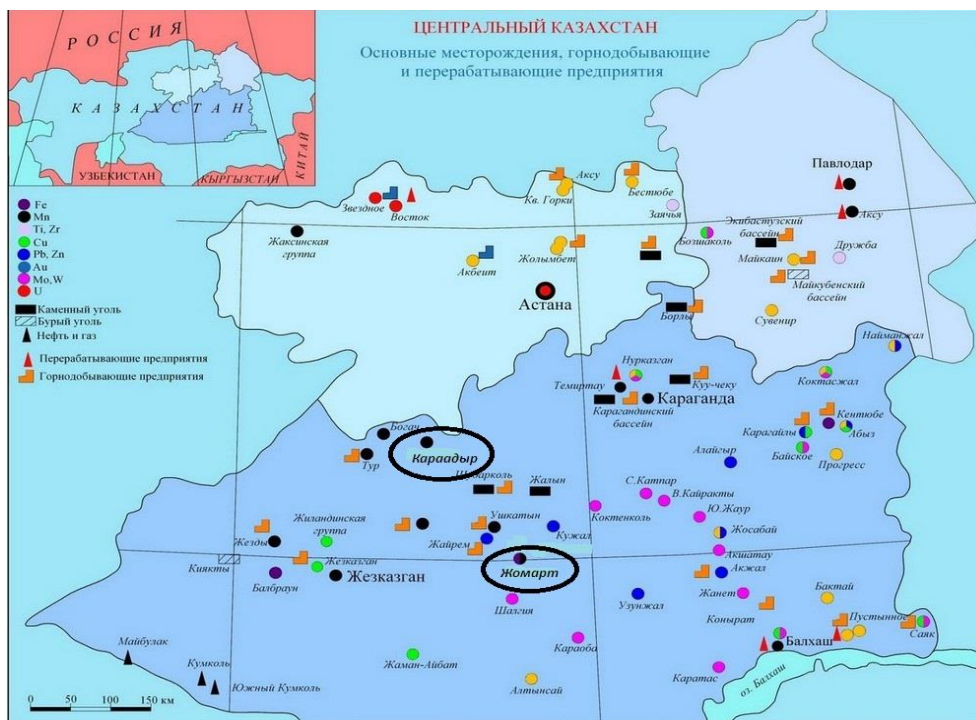


Рисунок 1 – Карта с месторождениями Караадыр и Жомарт

К наиболее крупным месторождениям относятся Каражал и Ушкатын III, в них добываются и перерабатываются преимущественно окисленные марганцевые руды, развитые в верхних частях месторождений и не требующие

больших затрат на обогащение и добычу. Переработка таких руд ведется на простых передвижных дробильно-сортировочных установках и редко на фабриках. Доля окисленных руд в объеме добычи составляет около 70 %. Следует отметить, что запасы окисленных руд месторождения Ушкатын III отработаны полностью [6]. Разведанные запасы марганцевых руд уже сейчас позволяют развивать марганцевую промышленность, способную обеспечить сырьем производство марганцевых сплавов. Дальнейшее повышение объемов производства требует рационального подхода к использованию марганцевого сырья Казахстана с решением ряда технологических задач.

В рудах различных месторождений Казахстана нестабильное соотношение содержаний марганца и железа ( $Mn / Fe =$  от 2 до 6); большое соотношение содержаний фосфора и марганца ( $P/Mn \geq 0,01$  при норме  $\leq 0,004$ ); основность –  $B = (CaO + MgO)/SiO_2 \leq 0,3$ . В последнее время в связи с выработкой богатых по содержанию ведущего элемента руд и увеличением доли более сложного, неблагоприятного по составу сырья стали актуальны проблемы производства и применения легирующих сплавов с нестандартным составом. К факторам, стимулирующим интерес к производству комплексных сплавов из неконденсированных материалов, относятся также рост цен на все виды сырья и обостряющийся дефицит восстановителей [8]. Восстановителем железа и марганца из марганцевых руд и концентратов при получении ферросплавов является в основном, углерод, а термодинамика металлотермического процесса восстановления марганцевых руд развита слабо.

Данные исследования направлены на развитие теоретических и фундаментальных основ термодинамики алюмино- и силикотермического процесса восстановления марганцевых руд различных месторождений Казахстана и изучение фазовых равновесий в продуктах восстановления. В работе сделано предположение о повышении раскислительной способности кремния, вводимого в составе комплекса вместе с алюминием. В процессе предыдущих исследований в ИПГ разработан специальный восстановитель – активированный силумин (сплав алюминия с кремнием). Моделирование взаимодействия силумина с реальным составом марганцевых руд различных месторождений проведено с применением программы Terra, при давлении 0,1 МПа и в интервале температур 700 – 3000 К. Изменение энтропии, энтальпии и фазового состава систем силумин – руда в зависимости от температуры (700 – 3000 К) приведены на рисунках 2 – 13.

На рисунках 2-7 представлены результаты термодинамического моделирования системы силумин – железо-марганцевые руды месторождения Жомарт. Руду месторождения Жомарт не используют в ферросплавном производстве из-за высокого содержания железа и низкого отношения марганца к железу (2,87) [9]. В работе смоделировано высокотемпературное взаимодействие железо-марганцевой руды с силумином, который используется в качестве восстановителя при СВ-синтезе. Исследовано влияния соотношения компонентов в системе силумин – марганцевая руда на термодинамические

характеристики, в частности энтропию и фазовый состав в области высоких температур.

Таблица 1 - Химический состав железо-марганцевых руд месторождения Жомарт

Содержание основных элементов, %						
Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	CaO	S	P	П.п.
26,21	9,12	26,08	7,8	0,02	0,03	30,74

Крупность железо-марганцевой руды 0 – 3 мм. Из данных таблицы 1 также следует, что содержание марганца в рудах месторождения Жомарт составляет 26,21 %; т.е. это относительно бедные руды по содержанию марганца. В этих рудах достаточно низкое содержание вредных примесей, серы -0,02 и фосфора – 0,03 %, содержание железа составляет 9,12 %. Содержание оксида кальция составляет 7,8 %, т.е. можно не вводить дополнительно в шихту флюс.

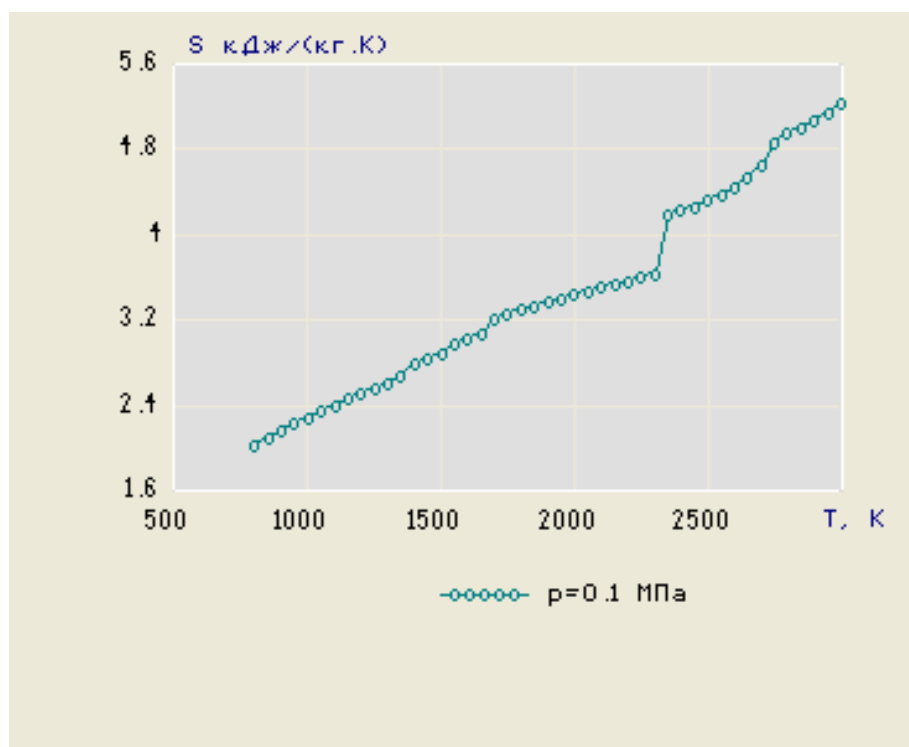


Рисунок 2 – Изменение энтропии в зависимости от температуры (20 % силумина)

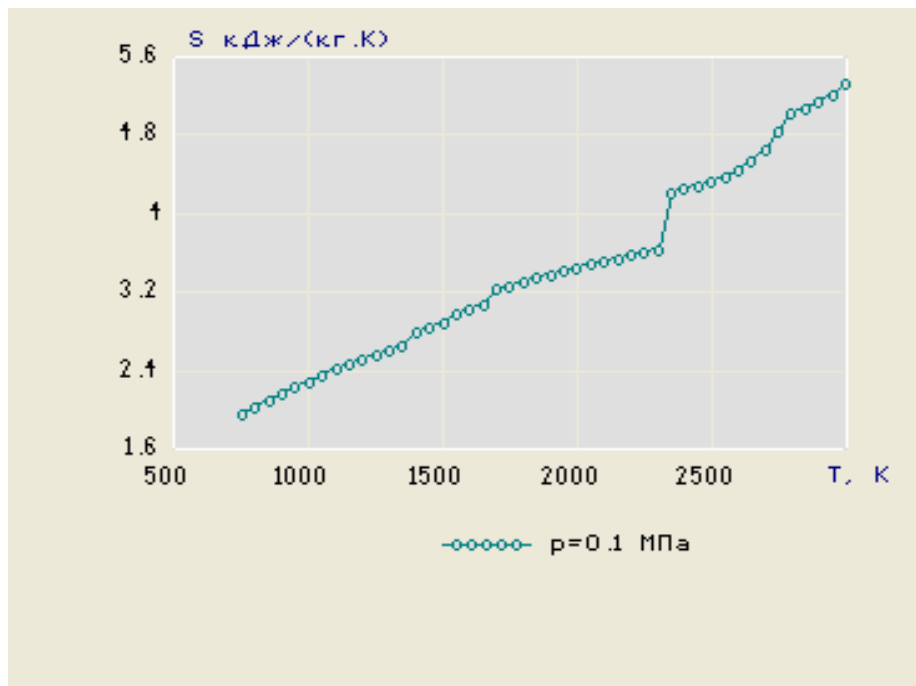


Рисунок 3 – Изменение энтропии в зависимости от температуры (22 % силумина)

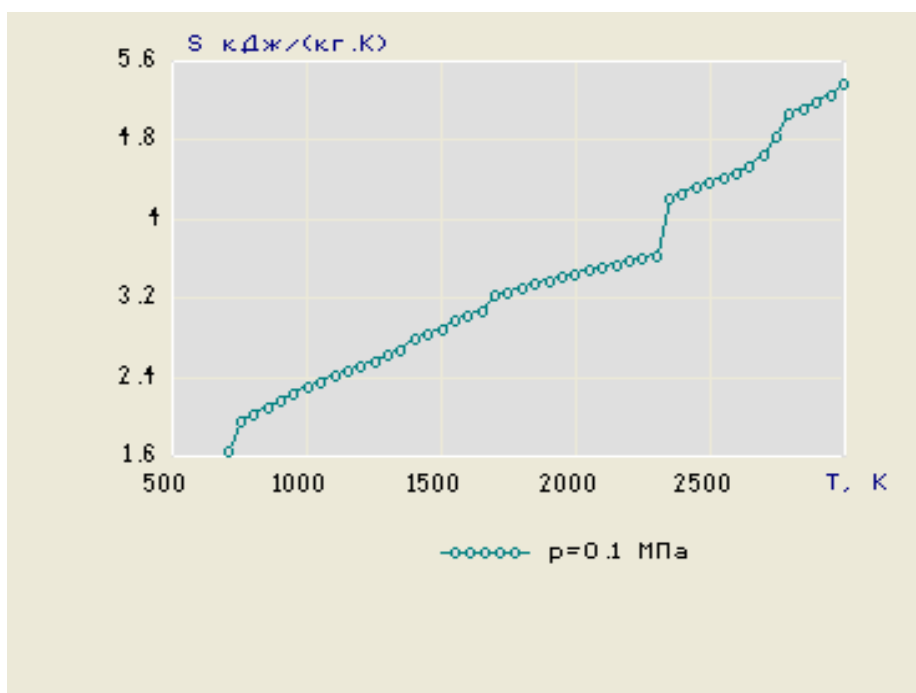


Рисунок 4 – Изменение энтропии в зависимости от температуры (24 % силумина)

Энтропия системы (рисунки 2-4) силумин – железо-марганцевая руда изменяется пропорционально температуре от значений 1,80 при 700 до

5,33 кДж/(кг·К) при 3000 К при содержании в шихте 24 % силумина, с изменением энтальпии до 1,89 при 700 К с уменьшением содержания восстановителя в шихте до 20 % и до 5,17· кДж/(кг·К) при 3000 К (таблица 2).

Таблица 2 – Зависимость степени изменения энтропии (Дж/(кг·К)) от содержания восстановителя в шихте (железо-марганцевые руды месторождения Жомарт)

Содержание восстановителя в шихте, %	Температура, К								
	700	1000	1300	1600	1900	2100	2400	2700	3000
20	-	2,30	2,65	3,04	3,36	3,50	4,25	4,70	5,17
22	1,89	2,30	2,63	3,03	3,38	3,52	4,25	4,69	5,26
24	1,80	2,30	2,62	3,03	3,39	3,53	4,26	4,68	5,33
Степень увеличения, %	5,0	-	1,1	-	3,3	0,8	0,2	0,40	3,1

Так как изменение энтальпии определяет в исследуемых системах тепловые эффекты различных процессов при протекании их при постоянном давлении (0,1 МПа), эти тепловые эффекты можно связать с окислительно-восстановительными реакциями с участием алюминия и кремния и фазовых переходов в данных системах. Так как энтропия характеризует меру упорядоченности системы, изменение энтропии пропорционально температуре при горении указывает на существование зависимости равновесия от температуры. Энтропия является функцией состояния системы и зависит только от состояния системы. Необходимо отметить, что повышение содержания восстановителя в шихте не влияет на форму кривой изменения энтальпии от температуры, а влияет незначительно на полноту превращений. Увеличение энтропии при 3000 К на 3,1 % связано с изменением фазового состава системы при высокотемпературном процессе горения (таблица 2), более подробно это покажет совместный анализ изменения фазового состава и термодинамических функций, так как между ними существует прямая связь.

На рисунках 6 – 8 приведены данные моделирования системы силумин – железо-марганцевая руда месторождения Жомарт по высокотемпературному фазовому составу с температуры 700 до 3000 К. Основные высокотемпературные фазы в исследуемых системах: Mn(c), Mn, Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, Al, Si, Fe. Количество восстановленного марганца составляет 5,51 моль/кг при 20 % восстановителя и уменьшается до 5,24 моль/кг при 24 %.

Высокотемпературный основной фазовый состав системы силумин – железо-марганцевые руды представлен металлическим марганцем, восстановление которого начинается с 750 и сохраняется до 2300 К и шлаком - Al<sub>2</sub>SiO<sub>5</sub>, т.е. при использовании алюминия и кремния в комплексе формируется легкоплавкий, способный к укрупнению и всплыванию в шлак силикат

алюминия, что очень важно для обеспечения высокой чистоты целевого продукта по неметаллическим включениям.

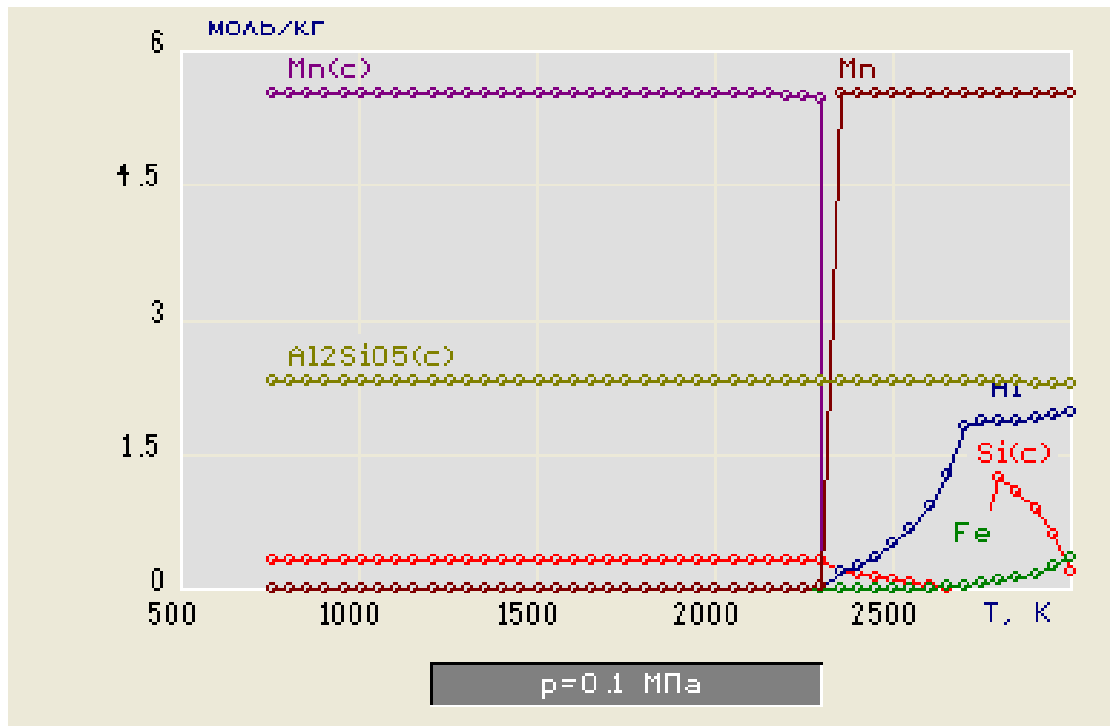


Рисунок 5 – Изменение фазового состава от температуры (20 % силумина)

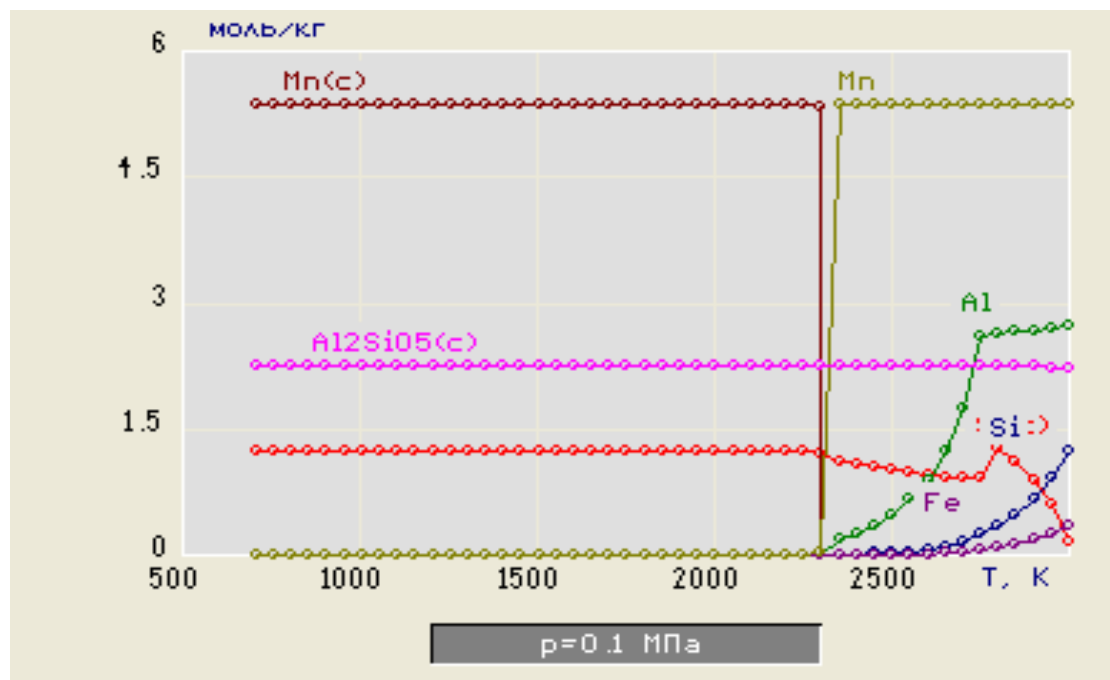


Рисунок 6 – Изменение фазового состава от температуры (22 % силумина)



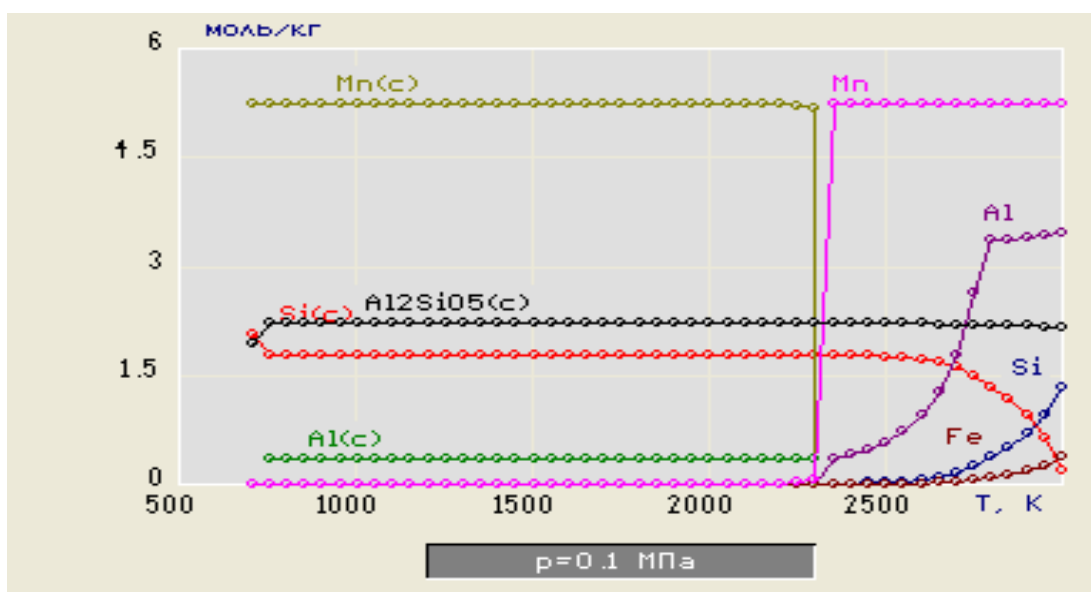


Рисунок 7 – Изменение фазового состава от температуры (24 % силумина)

Таблица 3 – Степень образования промежуточных и конечных соединений системы силумин – железо-марганцевые руды месторождения Жомарт

Восстановитель, %	Промежуточные и конечные соединения, моль/кг						
	265 0- 300 0 К	750- 2300 К	2350- 3000 К	750- 3000 К	2350- 3000 К	2350- 3000 К	750- 3000К
	Fe пр./ кон .	Mn исх./пр	Mn пр./кон	Si исх./кон.	Si пр./кон	Al пр./кон	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> исх. кон.
20	<u>0,02</u> 0,33	<u>5,51</u> 5,51	<u>5,51</u> 5,51	<u>0,32</u> 0,18	<u>0,008</u> 1,18	<u>0,19</u> 1,97	<u>2,33</u> 2,27
Изменение, %	93,9 4	0,72	-	43,75	99,32	90,36	2,7
22	<u>0,02</u> 0,36	<u>5,37</u> 5,37	<u>5,37</u> 5,37	1,24/0,16	<u>0,008</u> 1,25	<u>0,19</u> 2,74	<u>2,27</u> 2,21
Изменение, %	94,4 4	7,4	-	87,10	99,36	93,06	2,6
24	<u>0,02</u> 0,41	<u>5,24</u> 5,24	<u>5,24</u> 5,24	<u>2,06</u> 0,18	<u>0,008</u> 1,32	<u>0,36</u> 3,46	<u>2,21</u> 2,16
Изменение, %	95,1 2	0,96	-	91,26	99,39	90,0	2,26
Примечание – соединения: пр. – промежуточные; кон. – конечные; исх. – исходные.							

Анализ термодинамического моделирования системы силумин – железомарганцевые руды месторождения Жомарт показал, что выше температуры  $2350 \div 2650$  К вести процесс нежелательно, так как происходит восстановление кремния, алюминия и железа. Восстановление марганца начинается с температуры 750 К с 5,51 моль/кг и уменьшается до 5,47 моль/кг при 2300 К при 20 % восстановителя в шихте. Увеличение содержания восстановителя выше стехиометрического (22 - 24 %) приводит к уменьшению выхода марганца с 5,37 моль/кг до 5,24 моль/кг соответственно. В соответствии с термодинамикой металлотермические процессы протекают до конца, если продукты реакции находятся в жидком состоянии. Применение активированного восстановителя из сплава алюминия с кремнием даст преимущество комплексного использования сплава. Повышение активности кремния в комплексе с алюминием связано с условиями более выгодного в энергетическом плане образования комплексных оксидов – силикатов алюминия, а не тугоплавких кремнезема и корунда, образующихся при раздельном использовании этих металлов. Жидкие и полужидкие силикаты алюминия легко удаляются из зоны протекания реакции, способствуя сдвигу ее равновесия вправо. Возникает предположение об аналогичном влиянии алюминия на раскислительную способность кремния с учетом того, что при образовании сложного соединения  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  уменьшается активность как  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , так и  $\text{SiO}_2$ .

Для обеспечения сырьем марганцевой ферросплавной отрасли необходимо создавать эффективные технологии, используя некондиционные железо-марганцевые руды. Термодинамическое моделирование систем силумин – железо-марганцевая руда месторождения Жомарт выявило, что возможно получение ферросиликомарганца металлотермическим способом.

Для казахстанских руд характерно наличие примесей цветных и редких металлов. Наиболее типичны в этом отношении ушкатынские руды Центрального Казахстана. Высокую концентрацию имеют свинец и цинк. Исследование поведения примесей цветных металлов в марганцевых рудах при высоких температурах показало, что из марганцевой руды при производстве ферросиликомарганца в газовую фазу переходит 98 % Pb и 94 % Zn. В этой связи необходима комплексная переработка марганцевых руд с уменьшением пылевыносов и утилизацией отходов производства. Высококачественной рудой считается марганцевая руда со средним содержанием марганца около 40 % [6].

Месторождение Карадыр обладает запасами высококачественных марганцевых руд. Моделирование системы силумин – марганцевая руда проведено на основе химического состава марганцевых руд месторождения Карадыр. Результаты термодинамического моделирования системы представлены на рисунках 8 – 13. Марганцевое сырье месторождения Карадыр фракции 8 – 50 мм, исходные данные использованы из статьи [10].

Из данных таблицы 4 следует, что содержание марганца в рудах месторождения Карадыр составляет 40,0 %; т.е. это относительно богатые руды по содержанию марганца; содержание железа – 6,0 – 10,0 %.

Таблица 4 – Основной химический состав марганцевой руды месторождения Караадыр, масс, %

Mn	Fe	SiO <sub>2</sub>	S	P	Прочие
40,0	6,0 – 10,0	10,0 – 15,0	0,02	0,03	56,05-65,02

### 1.2.2 Термодинамическое моделирование системы силумин – Fe-Mn руды месторождения Караадыр

Один из главных критериев при использовании марганцевого сырья это соотношение марганца к железу и равно по месторождению 4 – 6,7; т.е. соответствует норме.

На рисунках 8 – 10 представлены расчеты значений энтропии (S, кДж/(кг·К)) с температуры 700 до 3000 К. В исследуемых системах варьировалось соотношение восстановителя и марганцевой руды.

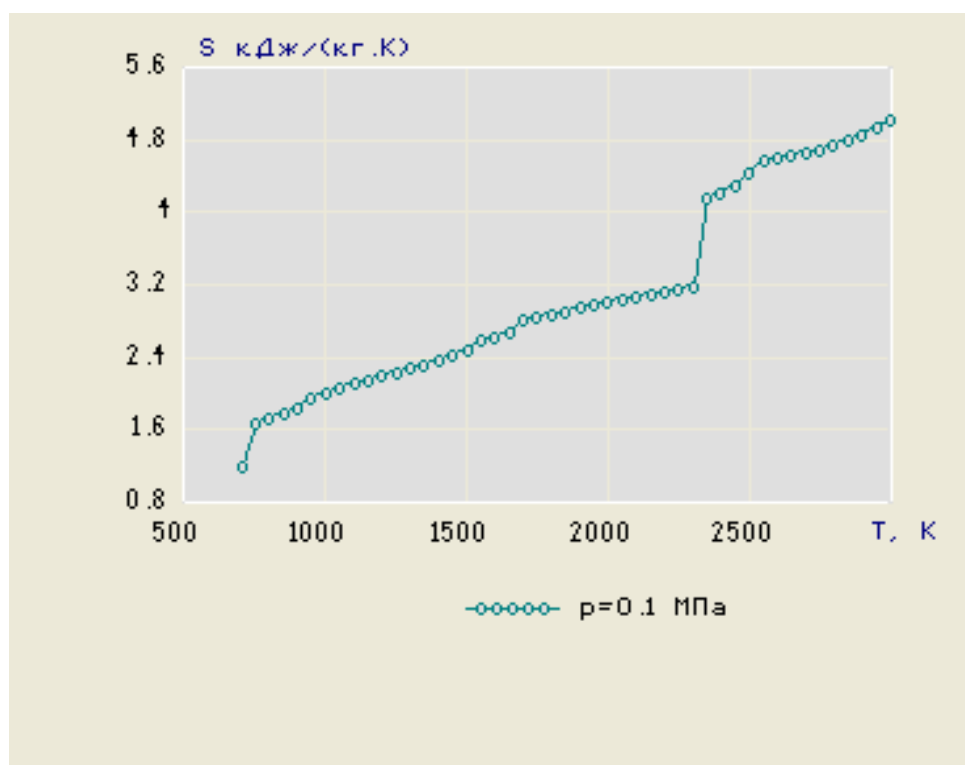


Рисунок 8 – Зависимость энтропии от температуры (20 % силумина)

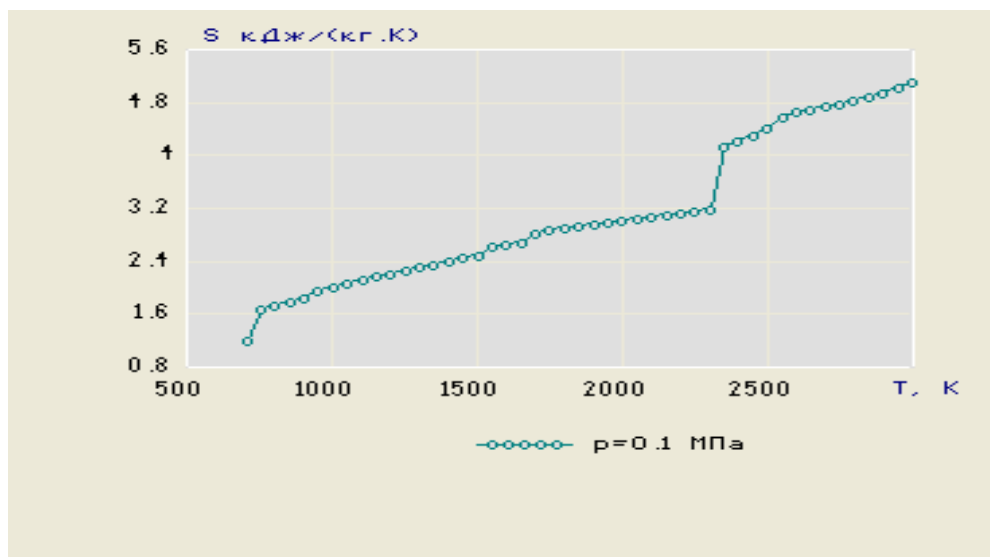


Рисунок 9 – Зависимость энтропии от температуры (22 % силумина)

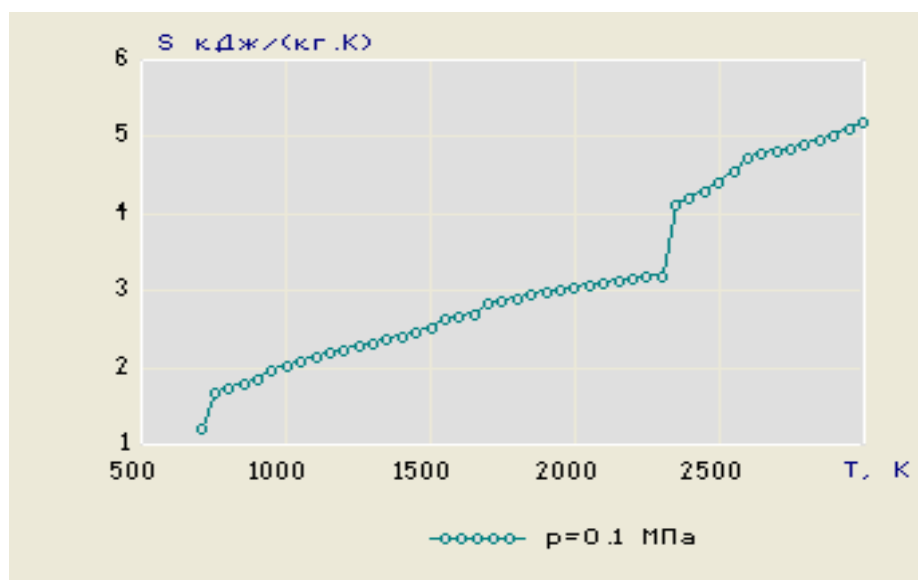


Рисунок 10 – Зависимость энтропии от температуры (24 % силумина)

Таблица 5 – Зависимость изменения энтропии (кДж/(кг·К)) от содержания восстановителя в шихте (марганцевые руды месторождения Караадыр)

Содержание восстановителя в шихте, %	Температура, К								
	700	1000	1300	1600	1900	2100	2400	2700	3000
20	1,18	2,01	2,30	2,65	2,96	3,08	4,25	4,70	5,05
22	1,20	2,02	2,31	2,66	2,96	3,11	4,24	4,77	5,14
24	1,22	2,04	2,33	2,67	3,01	3,11	4,23	4,85	5,23

Энтальпия системы (рисунки 8-10) силумин – марганцевая руда изменяется пропорционально температуре от 1,18 при 700 до 5,05 кДж/(кг·К) при 3000 К при содержании в шихте 20 % силумина и 80 % марганцевой руды, с изменением до 1,22 при 700 К с увеличением восстановителя в шихте до 24 % и повышение энтропии до 5,23 кДж/(кг·К) при 3000 К (таблица 5). Так как изменение энтальпии определяет в исследуемых системах тепловые эффекты различных процессов при протекании их при постоянном давлении (0,1 МПа), это и тепловые эффекты окислительно-восстановительных реакций с участием алюминия и кремния и фазовых переходов в данных системах. Анализ данных по влиянию количества восстановителя в шихте (рисунки 7 – 9) показал, что качественного изменения энтропии не происходит.

На рисунках 11 – 13 приведены данные моделирования системы силумин – марганцевая руда месторождения Караадыр по высокотемпературному фазовому составу от температуры 700 : 3000 К. Руды месторождения Караадыр богаты по содержанию марганца и высокотемпературный фазовый состав отличается более высоким выходом восстановленного марганца по сравнению с рудами месторождения Жомарт, 8,89 моль/кг при 20 % восстановителя и уменьшается до 8,45 моль/кг при 24 %. Выше температуры 2350-2550 К происходит восстановление алюминия, кремния и железа. Основной вывод из моделирования исследуемых систем: не перегревать шихту выше 2350 К. Результаты моделирования показывают, что силумин восстанавливает из руды марганец.

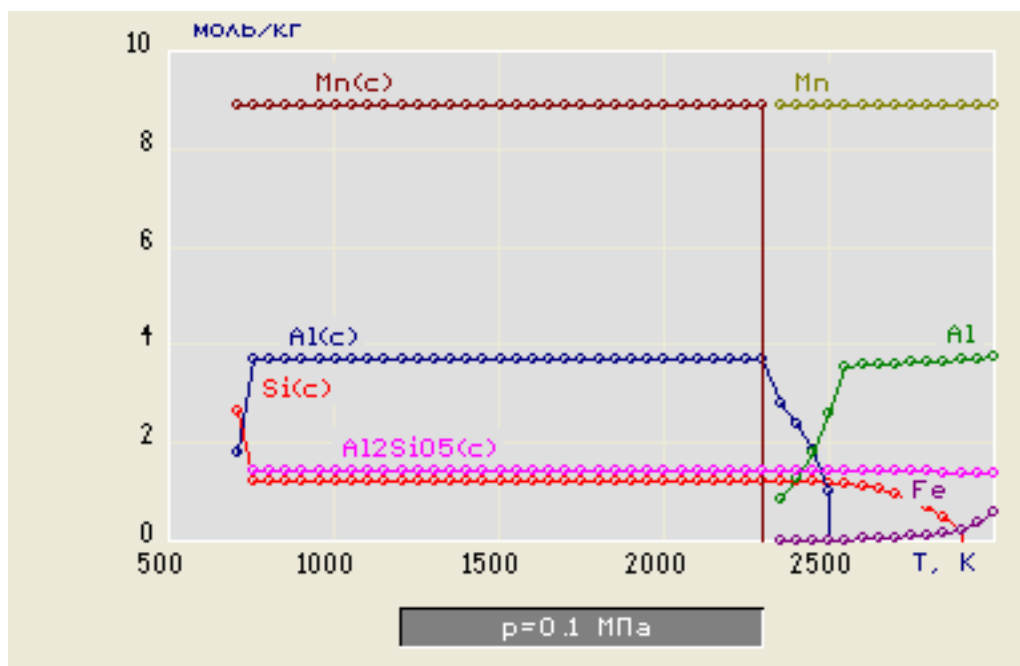


Рисунок 11 – Изменение фазового состава от температуры (20 % силумина)

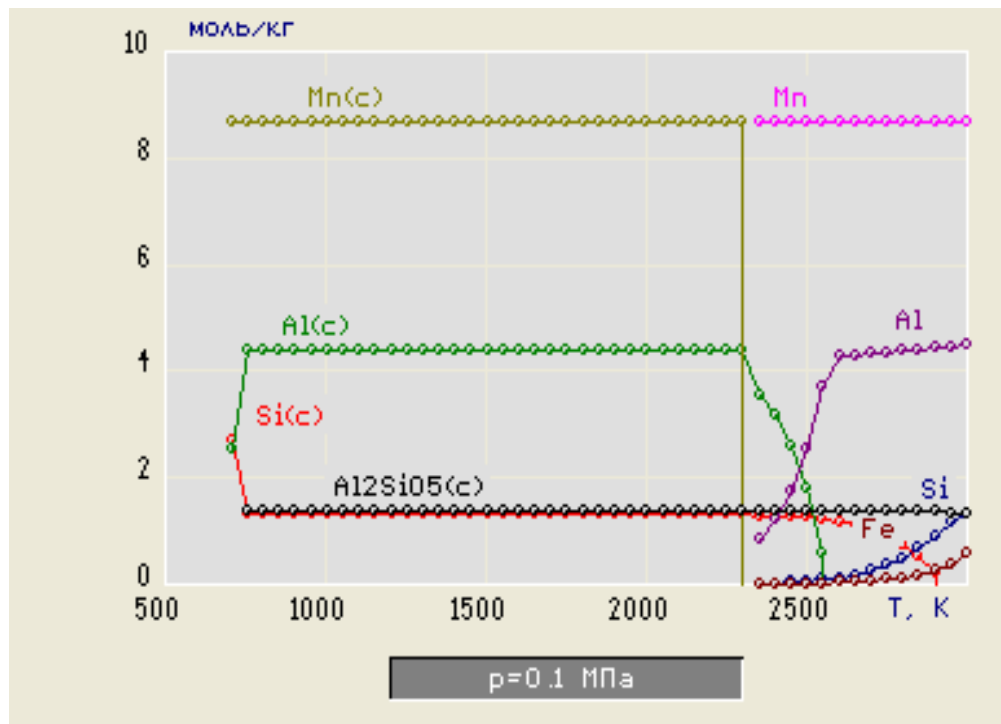


Рисунок 12 – Изменение фазового состава от температуры (22 % силумина)

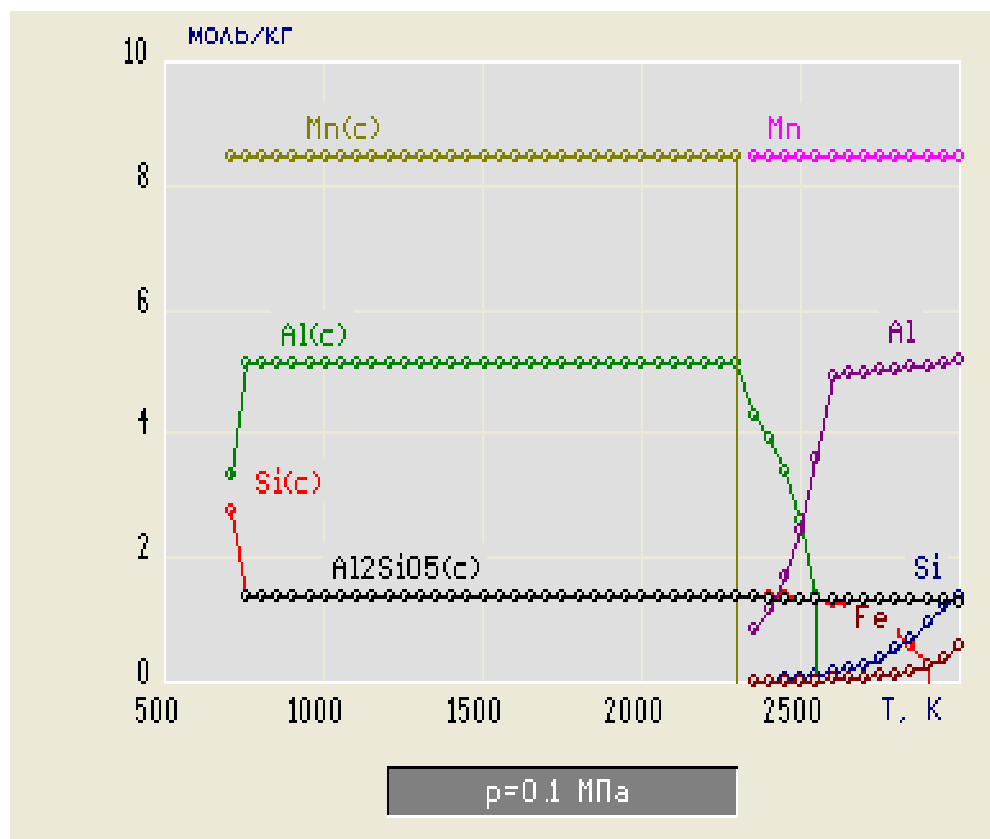


Рисунок 13 – Изменение фазового состава от температуры (24 % силумина)

Таблица 6 – Степень образования промежуточных и конечных соединений системы силумин – марганцевая руда месторождения Караадыр

Вос-ль,%	Промежуточные и конечные соединения, моль/кг						
	2550-3000 К	700-2300 К	2350-3000 К	750-2900 К	2350-3000 К	700-2500 К	750 – 3000 К
	Fe пр./кон	Mn исх./пр	Mn пр./кон.	Si исх./кон	Si пр./кон	Al исх./пр.	Al <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> исх./кон.
20	$\frac{0,02}{0,57}$	$\frac{8,89}{8,89}$	$\frac{8,89}{8,89}$	$\frac{2,66}{0,19}$	$\frac{0,01}{1,26}$	$\frac{1,78}{1,01}$	$\frac{1,42}{1,36}$
Изм.%	96,49	-	-	92,86	99,21	43,26	2,7
22	$\frac{0,02}{0,59}$	$\frac{8,70}{8,70}$	$\frac{8,70}{8,70}$	$\frac{2,69}{0,22}$	$\frac{0,01}{1,32}$	$\frac{2,57}{0,58}$	$\frac{1,39}{1,33}$
Изм.%	96,61	-	-	91,82	99,24	77,43	4,32
24	$\frac{0,02}{0,6}$	$\frac{8,45}{8,45}$	$\frac{8,45}{8,45}$	$\frac{2,75}{0,29}$	$\frac{0,01}{1,40}$	$\frac{3,31}{1,38}$	$\frac{1,35}{1,30}$
Изм.%	96,67	-	-	89,45	99,29	58,31	3,70
П р и м е ч а н и е – соединений: пр. – промежуточные; кон. – конечные; исх. – исходные. Сокращения: вос-ль – восстановитель; Изм. – изменение.							

Восстановление марганца начинается с температуры 700 К с 8,89 моль/кг при стехиометрическом соотношении в шихте восстановителя и уменьшается до 8,45 моль/кг при увеличении количества восстановителя до 24 % в шихте. Руды месторождения Караадыр имеют высокое содержание марганца, около 40 %, соответственно восстановленного марганца на 38 % больше, чем в бедных рудах месторождения Жомарт. Для получения ферромарганца металлотермическим способом в шихту необходимо дополнительно вводить оксиды железа и флюсы. В качестве флюса в шихту вводили доломит с основным составом 19,5 % MgO и 32 % CaO.

Выявлено экспериментально, что присутствие кремния в восстановителе способствует уменьшению угара алюминия. Реакционная способность кремния в присутствии алюминия повышается, чему есть объяснение [11]. Взаимодействие кремния и алюминия с кислородом, растворенным в шихте, выражается реакциями (2) и (3) и относится к металлотермическим процессам:



Повышение активности кремния в комплексе с алюминием связано с условиями более выгодного в энергетическом отношении образования комплексных оксидов – силикатов алюминия, а не тугоплавких кремнезема и корунда. Жидкие и полужидкие силикаты алюминия легко удаляются из зоны протекания реакции, способствуя сдвигу ее равновесия вправо.

В этом аспекте возникает предположение об аналогичном влиянии алюминия на реакционную способность кремния с учетом того, что при образовании сложного соединения  $\text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$  уменьшается активность как  $\text{Al}_2\text{O}_3$  так и  $\text{SiO}_2$ . Кроме того, показано, что энтальпия восстановления ферросплава при использовании флюса значительно выше, чем при восстановлении без флюса.

При производстве ферромарганца, ферросиликомарганца и металлического марганца карботермическим способом заметная доля восстановленного металла теряется в виде пара в составе отходящей газовой фазы. Предлагаемая технология получения легирующих материалов исключает эти потери. В реальных условиях синтеза полнота извлечения металла зависит от термодинамических условий печи, определяемых в первую очередь температурой процесса, количеством восстановителя в шихте. Большое влияние на данные факторы оказывают качество используемого марганцевого сырья (количество Mn), соотношения оксида кремния и основных оксидов, что обуславливает необходимость добавки в шихту разных флюсообразующих материалов. Рассматриваемые факторы характеризуют качественную сторону технологии, определяя выход целевого продукта.

Результаты термодинамического моделирования согласуются с экспериментальными данными. На основании теоретически обоснованного и экспериментально подтвержденного выбора оптимального состава шихты будут выполнены лабораторные исследования по освоению новой технологии получения ферромарганца и ферросиликомарганца металлотермическим способом в режиме СВС, с использованием руд различных месторождений Казахстана.



## 2 Экономическая часть

### 2.1 Расчет затрат на проведение исследований

В данном разделе приводится расчет основных затрат на проведение опытов. Всего было проведено 16 опытов в течение всех исследований [12].

Рассчитаем амортизационные отчисления для оборудования лаборатории. Нормы и суммы амортизации будем определять по сроку службы оборудования. Данные по амортизационным отчислениям приведены в таблице 7.

Таблица 7 - Расчет амортизационных отчислений основного оборудования

Наименование оборудования	Срок службы, лет	Количество, шт	Цена, тг	Годовая стоимость, тг	На, %	Годовая сумма амортизации, тг
Печь СВС	20	1	400000	400000	6,25	10000
Итого				400000		10000

Таблица 8 - Затраты на основные и вспомогательные материалы

Наименование материалов	Расход материалов, кг	Стоимость единицы, тг	Общая стоимость, тг
Марганец	1,85	915	1693
Итого:			1693

Затраты на основные и вспомогательные материалы составляют 1693 тг за 3 месяца (таблица 8).

Таким образом, общая стоимость оборудования составляет 400000 тг. За год сумма амортизационных отчислений за оборудование составит 10000 тг. За 3 месяца сумма амортизационных отчислений за оборудование составит 2499 тг. Рассчитаем затраты на основные и вспомогательные материалы, используемые непосредственно для проведения эксперимента, а также для проведения химических анализов. Т.к. в процессе научно – исследовательской работы было проведено 16 опытов, то и затраты на основные и вспомогательные материалы рассчитываем на данное количество опытов. Результаты расчета представлены в таблице 15.

Таким образом, затраты на основные и вспомогательные материалы составляют 1693 тг за 3 месяца.

## 2.2 Расчет затрат на электроэнергию

Работа выполнялась в дневное время суток, поэтому затраты на освещение отсутствуют.

Электричество потребляет: печь для выполнения СВС за 48 опытов 102 кВт · ч. Таким образом, общий расход электроэнергии будет составлять 102 кВт·ч. Стоимость 1 кВт/ч электричества составляет 24,25 тг.

$$102 \cdot 24,25 = 2473,5 \text{ тг.} \quad (4)$$

Следовательно, на электроэнергию израсходовано 1422,9 тг.

## 2.3 Стоимость СВС печи

Составлена вакуумформованными из армированной термоволокном огнеупорной глины плитами, открытые нагревательные. 10-ступенчатый микропроцессорный ПИД-регулятор, возможность установки скорости нагрева, выход на ЭВМ. Настольное. Без вытяжки.

Назначение: для выполнения лабораторных аналитических работ; выплавки и выжига восковых моделей из литейных форм, обжига литейных форм, термической и высокотемпературной обработки материалов и металлов в воздушной среде, обжига керамических изделий, прокаливания, отпуска и отжига изделий и материалов, плавки и пайки цветных металлов, изготовление ювелирных и сувенирных изделий.

Стоимость данной печи составляет: 400000 Тг.

## 2.4 Расчет изменения себестоимости

Снижение себестоимости может быть определено по формуле:

$$U = Z \cdot \frac{(E_2 - E_1)}{E_2}, \quad (5)$$

где  $Z$  – затраты на исследования;

$E_1$  – минимальное содержание марганца в концентрате;  $E_1$  – 63%;

$E_2$  – максимальное содержание марганца в концентрате;  $E_2$  – 95%.

Тогда изменение себестоимости будет равняться:

$$U = 200000 \cdot \frac{95-63}{95} = 67368.42 \text{ тг.} \quad (6)$$

## 2.5 Расчет накоплений на научно – исследовательскую работу

Накопления А рассчитываются по формуле:

$$A = C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33, \quad (7)$$

где  $C_{\text{п}}$  – первоначальная стоимость оборудования, умноженная на 0,33;

$I_0$  – индексация, которую принимаем равной 1,08.

Таким образом, сумма накоплений за 3 месяца составит:

$$A = 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 = 142560 \text{ тг.} \quad (8)$$

Тогда на первый год сумма накоплений ( $A_1$ ) определяется по формуле:

$$A_1 = C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^1, \quad (9)$$

где  $e$  – коэффициент эффективности, равный 0.1;

$$A_1 = 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) = 156816 \text{ тг.}$$

$$A_2 = 400000 \cdot 1,082 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 = 172817,04 \text{ тг.}$$

Стоимость проекта (В) считается по формуле:

$$B = 3 + A. \quad (10)$$

Т.о., стоимость проекта составит:

$$B = 200000 + 142560 = 342560 \text{ тг.} \quad (11)$$

Тогда на первый год стоимость проекта будет равна:

$$B_1 = 200000 + 156816 = 356816 \text{ тг.} \quad (12)$$

Тогда на второй год стоимость проекта составит:

$$B_2 = 200000 + 172817,04 = 372817,04 \text{ тг.} \quad (13)$$

## 2.6 Расчет рентабельности исследования

Для того, чтобы рентабельность была на уровне 10 %, экономический эффект должен составлять:

$$\mathcal{E}_0 = (3 + A) \cdot 0,1 \cdot (3/12) \quad (14)$$

Так как работа проводилась в течение 3 месяцев, то экономический эффект будет равен:

$$\mathcal{E}_0 = 3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e) \cdot (3/12) \quad (15)$$

Экономический эффект данной работы составляет:

$$\mathcal{E}_0 = 200000 + 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) \cdot (3/12) = 239204 \text{ тг.}$$

При 10 % рентабельности производства экономический эффект составит:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_0 &= (3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e) \cdot (3/12)) \cdot 0,1; \\ \mathcal{E}_0 &= (200000 + 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1) \cdot (3/12)) \cdot 0,1 = 23920,4 \text{ тг.} \end{aligned} \quad (16)$$

Таким образом, экономический эффект научно – исследовательской работы определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_0 &= 3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^2 \cdot (3/12); \\ \mathcal{E}_0 &= 200000 + 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 \cdot (3/12) = 243124,4 \text{ тг.} \end{aligned} \quad (17)$$

Тогда 10 % рентабельности производства на второй год экономический эффект составит:

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_0 &= (3 + C_{\text{п}} \cdot I_0 \cdot 0,33 \cdot (1 + e)^2 \cdot (3/12)) \cdot 0,1; \\ \mathcal{E}_0 &= (200000 + 400000 \cdot 1,08 \cdot 0,33 \cdot (1 + 0,1)^2 \cdot (3/12)) \cdot 0,1 = 24312,4 \text{ тг.} \end{aligned} \quad (18)$$

Таким образом, экономический эффект НИР при 10 % рентабельности на второй год составит:

$$243124,4 + 24312,4 = 267436,8 \text{ тг.} \quad (19)$$

Срок окупаемости проекта рассчитываем по формуле:

$$T = \frac{K}{U}, \quad (20)$$

где  $K$  – годовая стоимость оборудования;  
 $U$  – изменение себестоимости;

$$T = 400000 / 67368,42 = 5,9 \text{ года.} \quad (21)$$

Таким образом, срок окупаемости проекта составит 5,9 года [13-15].

## **3 Охрана труда**

### **3.1 Размещение оборудования с точки зрения безопасности**

Правильное размещение оборудования является основным звеном в организации безопасной работы на строительной площадке. При размещении оборудования необходимо соблюдать установленные минимальные разрывы между экспериментальным оборудованием и отдельными элементами здания, правильно определять ширину проходов и проездов. Невыполнение правил норм размещения оборудования приводит к загромождению помещений и травматизму.

Расположение оборудования на площади цеха или участка определяется в основном технологическим процессом и местными условиями.

Планировка рабочего места зависит от многих условий – от типа оборудования, конфигурации и габаритов деталей, применяемой технологии, организации обслуживания, но для аналогичных работ можно установить типовые рациональные планировки рабочих мест. Следует отметить, что основное и вспомогательное оборудование не должно выходить за пределы площадки, отведенной для данного рабочего места, и устройство рабочего места должно учитывать рост и другие антропометрические данные каждого рабочего [16].

По правилам безопасности, муфельные печи требуется устанавливать в вытяжные шкафы. Это предотвращает распространение вредных веществ по помещению. Из основных правил безопасности эксплуатации муфельных печей можно выделить следующие:

- эксплуатировать устройства могут только люди, обладающие соответствующим допуском к работе с электроприборами;
- печь можно подключать только к заземленной сети, при этом работающее устройство должно находиться под постоянным присмотром;
- прикасаться к нагревательным элементам и работать при отсутствии вентиляции;
- в горячее устройство запрещается ставить емкости, если существует риск закипания или разбрызгивания содержимого;
- использовать средства индивидуальной защиты.

### **3.2 Обеспечение электробезопасности**

Основные меры защиты от поражения электрическим током являются:

- обеспечение недоступности токоведущих частей, находящихся под напряжением для случайного прикосновения;
- устранение опасности поражения при появлении напряжений на корпусах, кожухах;
- защитное заземление, зануление, защитное отключение;

- использование низких напряжений;
- применение двойной изоляции.

Классификация помещений по опасности поражения током:

– класс-помещения без повышенной опасности - это сухие, помещения с нормальной температурой;

– класс-помещения с повышенной опасностью:

– сырость, относительная влажность 75 %;

– высокая температура более 30 градусов;

– токопроводящая пыль;

3 класс-помещения особо опасные:

– сырость 100 %;

– химически активная среда [17].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дипломной работе выполнены все поставленные цели и задачи, т.е. разработан эффективный способ получения легирующего вещества в системе силумин – марганцевая руда.

По результатам дипломной работы были сделаны следующие выводы:

1) Проведено термодинамическое моделирование процессов горения систем силумин-марганцевая руда различных месторождений.

2) Исследовано влияние соотношения компонентов шихты на выход целевых продуктов.

3) Выявлены границы существования высокотемпературных фаз. Основными высокотемпературными фазами являются восстановленный марганец, силикат алюминия.

4) При использовании алюминия и кремния в комплексе формируется легкоплавкий, способный к укрупнению и всплыванию в шлак силикат алюминия, что очень важно для обеспечения высокой чистоты целевого продукта по неметаллическим включениям.

5) Процесс восстановления железа и марганца из руд завершается полностью, а затем идет взаимодействие железа с марганцем с образованием ферромарганца.

Технико-экономическая оценка работы показала, что срок окупаемости процесса составляет 5,9 лет, экономический эффект при 10 % рентабельности работы по результатам первого года 23920,4 тенге, по результатам второго года 24312,4 тенге.

Дипломная работа была завершена изучением закономерностей процессов горения силумин – железо-марганцевой марганцевые руды. Выявление влияния различных факторов на процессы горения в режиме СВС.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стеценко В. Ю., Радько С. Л. Литье силуминов в кокиль со струйной системой охлаждения // Литье и металлургия. - 2006. - № 2. - С. 136-138.
- 2 Фиргер И. В. Термическая обработка сплавов. – Л: Машиностроение, 1989. - С. 332.
- 3 Мержанов А. Г., Боровинская И. П., Гордополовый Ю. А. СВС-процессы в металлургии //Электронная версия на сайте <http://www.explosive.ru> –htm.
- 4 Смирягин А. П. Твердый огонь СВС. / Литературная газета. Выпуск 19 (59) //Электронная версия на сайте <http://www.lgz.ru>
- 5 Межанов А. Г., Сычев А. Е. О самораспространяющимся высокотемпературном синтезе //Электронная версия на сайте <http://ism.ac.ru> -
- 6 Бабич В. К., Лукашин Н. Д., Морозов А. С., Поляк И. П. Основы металлургического производства. / Учебное пособие СПТУ. – М: Металлургия, 1988. - С. 273.
- 7 Леонтович Р. С. Введение в термодинамику. – Л: Высшая школа, 1989. - С. 233.
- 8 Толымбеков М.Ж., Ахметов А.Б., Байсанов С.О. и др. Некоторые аспекты производства и применения комплексных ферросплавов в металлургии // Сталь. - № 5. – 2009. - С. 34 – 37.
- 9 Инновационный патент № 20314 РК, МКМ 3. Н 22 F 9/04, Способ получения порошка силумина из металлической стружки / Касымбекова Д.А., Кетегенов Т.А., Тюменцева О.А. – Оpubл. 17.11.08. – Бюл. № 11.
- 10 Толымбеков М.Ж.. Совершенствование технологических процессов в ферросплавной подотрасли Казахстана // Сталь. - № 2. – 2009. - С. 38 – 40.
- 11 Комлев А.М. Схемы обогащения руд Порожинского месторождения // Материалы Второй всерос. Научно-техн. конф. Красноярск, 2001. – С. 131 – 137.
- 12 Агарков А.П. Экономика и управление на предприятии. – М: Экономика, 2009. - С. 400.
- 13 Бородин Т. С. Экономическая теория. – М: ИНФА-М, 2003.- С. 234.
- 14 Грязнова А. Г., Чечелева Т. В. Экономическая теория. - Ростов-на-Дону: Феникс, 2005. - С. 350.
- 15 Титов В.И. Экономика предприятия /Учебник— М.: Эксмо, 2008. — 416 с.
- 16 Смирнов А. Б. Безопасность жизнедеятельности/ Учебное пособие. – М.: Дрофа, 2009.
- 17 Фролов А.В., Бакаева Т.Н. Безопасность жизнедеятельности. Охрана труда. – Новосибирск: Академиздатцентр «Наука» РАН, 2008. - С. 750.