

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»

Кафедра общей химии и химической технологии

**МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ**

Тема работы
«Магнитное обогащение железной руды и техногенного железосодержащего сырья»

УДК 622.7.012.7:537.86:553.31

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Ежов Артём Михайлович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Швалёв Ю.Б.	К.Т.Н.		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Креницына З.В.	К.Т.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Назаренко О.Б.	Д.Т.Н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
ОХХТ	Тихонов В.В.	К.Т.Н.		

Томск – 2016 г.

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

**Запланированные результаты обучения по программе**  
18.04.01 «Химическая технология»

Планируемые результаты обучения

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
Р1	Применять <i>глубокие</i> естественно-научные, математические и инженерные <i>знания</i> для создания <i>новых</i> материалов	Требования ФГОС (ПК-2, 10, 12, 22, 23), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р2	Применять <i>глубокие знания</i> в области современных технологий химического производства для решения <i>междисциплинарных</i> инженерных задач	Требования ФГОС (ПК-2, 4-7, ОК-4), Критерий 5 АИОР (пп. 1.1, 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р3	Ставить и решать <i>инновационные</i> задачи <i>инженерного анализа</i> , связанные с созданием материалов и изделий, с использованием системного анализа и моделирования объектов и процессов химической технологии	Требования ФГОС (ПК-2, 17, 20), Критерий 5 АИОР (пп. 1.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р4	Разрабатывать химико-технологические процессы, <i>проектировать</i> и использовать <i>новое</i> оборудование для создания материалов, конкурентоспособных на <i>мировом</i> рынке	Требования ФГОС (ПК-1, 17-21), Критерий 5 АИОР (п. 1.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
Р5	Проводить теоретические и экспериментальные <i>исследования</i> в области создания <i>новых</i> материалов, современных химических технологий, нанотехнологий	Требования ФГОС (ПК-14-16, ОК-2-6), Критерий 5 АИОР (п. 1.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P6	Внедрять, эксплуатировать современные высокотехнологичные линии автоматизированного производства, обеспечивать их <i>высокую эффективность</i> , соблюдать правила охраны здоровья и безопасности труда на химическом производстве, выполнять требования по защите окружающей среды	Требования ФГОС (ПК-1, 10), Критерий 5 АИОР (п. 1.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Универсальные компетенции</i>		
P7	Использовать <i>глубокие знания по проектному менеджменту</i> для ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов защиты интеллектуальной собственности	Требования ФГОС (ПК-3, 8, 13), Критерий 5 АИОР (п. 2.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	<i>Активно владеть иностранным языком</i> на уровне, позволяющем работать в иноязычной среде, разрабатывать документацию, презентовать и защищать результаты инновационной инженерной деятельности	Требования ФГОС (ПК-7, ОК-3), Критерий 5 АИОР (п. 2.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P9	Эффективно работать индивидуально, в качестве <i>члена и руководителя группы</i> , состоящей из специалистов различных направлений и квалификаций, демонстрировать ответственность за результаты работы и готовность <i>следовать корпоративной культуре</i> организации	Требования ФГОС (ПК-9, ОК-4, 5), Критерий 5 АИОР (пп. 1.6, 2.3,), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Демонстрировать <i>глубокие знания социальных, этических и культурных аспектов</i> инновационной инженерной деятельности, компетентность в вопросах <i>устойчивого развития</i>	Требования ФГОС (ПК-5, 6, 10), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P11	<i>Самостоятельно учиться</i> и непрерывно <i>повышать квалификацию</i> в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ПК-11, ОК-1, 2, 6), Критерий 5 АИОР (2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения и кредитная стоимость результатов обучения представлены в следующих таблицах.

### Взаимное соответствие целей ООП и результатов обучения

Результаты обучения	Цели ООП				
	Ц1	Ц2	Ц3	Ц4	Ц5
P1	+	+	+	+	+
P2	+	+		+	
P3	+	+	+	+	+
P4				+	
P5			+		+
P6	+	+		+	
P7		+			
P8			+		+
P9		+			
P10		+	+		
P11			+	+	+

### Кредитная стоимость результатов обучения

<i>Профессиональные компетенции выпускника – 100 кредитов ECTS</i>							<i>Универсальные компетенции выпускника – 20 кредитов ECTS</i>				
Кредиты	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11
		19	20	9	19	21	12	2	4	6	4

**Министерство образования и науки Российской Федерации**  
 федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
 высшего образования  
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
 ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт физики высоких технологий

Направление подготовки 18.04.01 «Химическая технология»

Кафедра общей химии и химической технологии

УТВЕРЖДАЮ:

Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
 (подпись)      (дата)      Тихонов В.В.  
 (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**

**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Магистерской диссертации (бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)
--

Студенту:

Группа	ФИО
2ДМ4В	Ежову Артёму Михайловичу

Тема работы:

Магнитное обогащение железной руды и техногенного железосодержащего сырья	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	От 22.01.2016 № 283/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	В качестве объектов исследования взять железную руду Бакчарского месторождения и шлаки черной металлургии (мартеновские шлаки), провести литературный обзор по тематике научно-исследовательской работы, в экспериментальной части описать использованное оборудование, предоставить методики проведения экспериментов, проанализировать полученные результаты, сделать выводы.
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	Введение, литературный обзор, методика проведения экспериментов, электромагнитная сепарация, анализ качества концентратов, финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение, социальная ответственность, заключение.
<b>Перечень графического материала</b>	Принципиальные схемы устройства лабораторного электромагнитного сепаратора «ЭВС-10/5»

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Доцент кафедры МЕН, к.т.н., Криницына Зоя Васильевна

Социальная ответственность	Профессор кафедры ЭБЖ, д.т.н., Назаренко Ольга Брониславовна
Раздел на иностранном языке	Доцент кафедры ИЯПР Сыскина Анна Александровна

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

- 2.1 Железная руда Бакчарского железорудного месторождения
- 2.2.2 Области применения шлаков металлургии
- 3.2.1 Обогащение железной руды Бакчарского месторождения методом магнитной сепарации  
Магнитная сепарация железной руды Бакчарского месторождения
- 4.1 Заключение

**Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику**

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ОХХТ	Швалёв Ю.Б.	к.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Ежов А.М.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ4В	Ежову Артёму Михайловичу

<b>Институт</b>	ИФВТ	<b>Кафедра</b>	ОХХТ
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология неорганических веществ и материалов

**Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:**

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Амортизация специального оборудования составила 27900 рублей, итоговая плановая себестоимость НИ 157915,4 рублей.</i>
2. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений</i>	<i>Отчисления на социальные нужды (30,5 %) составили 30400,3 рубля.</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	1.1. <i>Потенциальные потребители результатов исследования</i> 1.2. <i>Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i> 1.3. <i>Диаграмма Исикавы</i> 1.4. <i>Оценка готовности проекта к коммерциализации</i> 1.5. <i>Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования</i>
2. <i>Планирование научно-исследовательских работ</i>	2.1. <i>Структура работ в рамках исследования</i> 2.2. <i>Организационная структура проекта</i>
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	3.1. <i>Иерархическая структура работ проекта</i> 3.2. <i>Определение трудоемкости выполнения работ</i> 3.3. <i>Разработка графика научного исследования</i> 3.4. <i>Бюджет научного исследования</i> 3.5. <i>Основная зарплата исполнителей работы</i> 3.6. <i>Страховые отчисления</i> 3.7. <i>Накладные расходы</i> 3.8. <i>Формирование бюджета затрат НТИ</i>
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	4.1 <i>Оценка сравнительной эффективности исследования</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

1. *Карта сегментирования рынка*
2. *Диаграмма Исикавы*
3. *Иерархическая структура работ проекта*
4. *Временные показатели проведения научного исследования*
5. *Диаграмма Ганта*

**Дата выдачи задания для раздела по линейному графику**

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Креницына З.В.	К.Т.Н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ4В	Ежов А.М.		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
2ДМ4В	Ежову Артёму Михайловичу

<b>Институт</b>	ИФВТ	<b>Кафедра</b>	ОХХТ
<b>Уровень образования</b>	Магистратура	<b>Направление/специальность</b>	Химическая технология неорганических веществ и материалов

<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования	<i>Магнитное обогащение железной руды и техногенного железосодержащего сырья</i>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<b>1. Производственная безопасность</b> –	<p>1.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>– действие фактора на организм человека;</li> <li>– приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>– предлагаемые средства защиты;</li> <li>– (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства).</li> </ul> <p>1.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>– электробезопасность;</li> <li>– пожаробезопасность.</li> </ul>
<b>2. Экологическая безопасность:</b>	– выполнить анализ воздействия объекта на окружающую среду;
<b>3. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– перечень возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения;</li> <li>– выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>– разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>– разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>
<b>4. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. Расчет освещения.</li> </ul>

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
---	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Профессор каф. ЭБЖ	Назаренко Ольга Брониславовна	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
2ДМ4В	Ежов Артём Михайлович		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа \_\_\_\_\_ 131 \_\_\_\_\_ с., \_\_\_\_\_ 27 \_\_\_\_\_ рис., \_\_\_\_\_ 18 \_\_\_\_\_ табл., \_\_\_\_\_ 60 \_\_\_\_\_ источников, \_\_\_\_\_ 1 \_\_\_\_\_ прил.

Ключевые слова: полезные ископаемые, обогащение, электромагнитная сепарация, железная руда, металлургические шлаки, мартеновские шлаки,

Объектом исследования являются железная руда Бакчарского месторождения (Томская область), металлургические шлаки мартеновских печей из Цеха шлакопереработки (г. Новокузнецк)

Цели работы 1) исследовать железную руду на обогатимость, получить максимально богатый железорудный концентрат, указать пути совершенствования процесса магнитного обогащения руд; 2) провести анализ технологии комплексной переработки мартеновских шлаков и указать пути возможной модернизации существующей технологической схемы

В процессе исследования проводились опыты по применению метода сухой электромагнитной сепарации для обогащения железной руды; проводился гранулометрический анализ рудных навесок и химический анализ железорудных концентратов по ГОСТ 22772.4-77; осваивалась методика отбора и сокращения проб концентратов мартеновских шлаков по ГОСТ 15054-80; проводился анализ действующей технологической схемы по переработке мартеновских шлаков; выводились рекомендации по усовершенствованию процессов обогащения железной руды и металлургических шлаков

В результате исследования получены зависимости массового выхода и величины железосодержания рудных концентратов от силы тока в обмотке сепаратора; даны рекомендации по увеличению качества железорудных концентратов; предложена модернизированная технологическая схема комплексной переработки мартеновских шлаков

Степень внедрения: результаты исследования абсолютно совместимы с существующими технологическими схемами обогащения железной руды и мартеновских шлаков, поэтому степень внедрения ограничивается лишь финансированием с заинтересованной стороны (заказчика и/или покупателя технологии)

Область применения: горно-обогатительная промышленность и ресурсоэффективные технологии в области переработки техногенного металлсодержащего сырья

Экономическая эффективность/значимость работы в случае внедрения предлагаемых в работе решений ожидается существенный положительный экономический эффект; разработка богатого железорудного месторождения дополнительно укрепит сырьевой потенциал страны, а переработка металлсодержащих шлаков позволит сэкономить на разработке железорудных месторождений; кроме того, шлакопереработка ведет к сокращению площади шлакоотвалов

В будущем планируется развивать предложенные технологические схемы и саму методику переработки природного и техногенного сырья для повышения общего ресурсоэффективного эффекта

## **Определения, обозначения, сокращения, нормативные ссылки**

В настоящей работе использованы ссылки на следующие стандарты:

- ГОСТ 12.1.005-88 «ССБТ. Воздух рабочей зоны. Общие санитарно-гигиенические требования»
- ГОСТ 12.1.012-90 «ССБТ. Вибрационная безопасность. Общие требования»
- ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты»
- ГОСТ 12.2.003-91 «ССБТ. Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
- СанПиН №11-19-94 «Перечень регламентированных в воздухе рабочей зоны вредных веществ»
- СанПиН 2.2.4.1191-03 «Электромагнитные поля в производственных условиях, на рабочих местах. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы»
- СНиП 2.01.28-85 «Полигоны по обезвреживанию и захоронению токсичных промышленных отходов. Основные положения по проектированию»
- СНиП 23-05-95 «Естественное и искусственное освещение»
- ГОСТ 21753-76 «Система человек-машина. Рычаги управления»
- ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности»
- ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
- ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования»

## Оглавление

Введение .....	15
1 Обзор литературы .....	18
1.1 Проблемы современной обогатительной промышленности .....	18
1.2 Сравнение подходов к шлакопереработке в России и странах Европы и Азии .....	19
1.3 Сущность магнитного метода обогащения .....	23
1.3.1 Баланс сил при магнитной сепарации .....	26
1.3.2 Влияние характеристики руды на сепарацию .....	27
1.3.3 Классификация магнитных сепараторов .....	28
1.3.4 Селективность магнитной сепарации .....	30
2 Объекты и методы исследования .....	31
2.1 Железная руда Бакчарского железорудного месторождения .....	31
2.2 Шлаки черной металлургии .....	33
2.2.1 Классификация шлаков .....	33
2.2.2 Области применения шлаков металлургии .....	35
2.2.3 Утилизация шлаков сталеплавильного производства .....	38
2.2.4 Переработка сталеплавильных (мартеновских, доменных) шлаков и шлакометаллических (шлакостальных) коржей (ШСК) в ЦШП .....	42
3 Расчеты и аналитика .....	47
3.1 Аппаратурное оформление .....	47
3.1.1 Магнитный сепаратор ЭВС-10/5 .....	47
3.2 Методика исследования .....	49
3.2.1 Обогащение железной руды Бакчарского месторождения методом магнитной сепарации .....	49
3.2.2 Анализ технологии комплексной переработки шлаков .....	51
3.2.3 Получение и применение У-1,2 и 29ШСК .....	54
4 Результаты проведенных исследований .....	55

4.1	Магнитная сепарация железной руды Бакчарского месторождения	55
4.2	Технологические решения, сделанные на основе анализа действующей схемы переработки шлаков .....	59
5	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение .....	62
5.1	Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения .....	62
5.1.1	Введение .....	62
5.1.2	Потенциальные потребители результатов исследования .....	63
5.1.3	Анализ конкурентных технических решений .....	64
5.1.4	Диаграмма Исикавы .....	65
5.1.5	Оценка готовности проекта к коммерциализации .....	66
5.1.6	Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования .....	68
5.2	Планирование научно-исследовательских работ .....	69
5.2.1	Структура работ в рамках научного исследования .....	69
5.2.2	Организационная структура проекта .....	71
5.2.3	Иерархическая структура работ проекта .....	72
5.2.4	Определение трудоемкости выполнения работ .....	73
5.2.5	Разработка графика проведения научного исследования .....	76
5.2.6	Бюджет научно-технического исследования (НТИ) .....	80
5.2.6.1	Расчет материальных затрат НТИ .....	80
5.2.6.2	Основная заработная плата исполнителей работы .....	81
5.2.6.3	Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)	84
5.2.6.4	Накладные расходы .....	85
5.2.6.5	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта .....	85
5.2.6.6	Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой,	

бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования .....	85
6 Социальная ответственность .....	88
6.1 Введение .....	88
6.2 Описание рабочей зоны .....	89
6.2.1 Электромагнитные поля .....	89
6.2.2 Вибрации .....	90
6.2.3 Шумы .....	91
6.2.4 Вредные вещества .....	92
6.2.5 Опасные проявления факторов производственной среды .....	93
6.3 Охрана окружающей среды .....	95
6.3.1 Защита селитебной зоны .....	95
6.3.2 Воздействие на атмосферу .....	95
6.3.3 Воздействие на гидросферу .....	96
6.3.4 Воздействие на литосферу .....	96
6.3.5 Обеспечение экологической и трудовой безопасности .....	97
6.4 Защита в чрезвычайных ситуациях .....	98
6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности ..	99
6.6 Расчет освещения .....	101
Заключение .....	104
Список публикаций студента .....	106
Список используемых источников .....	108
Приложение А .....	115

## Введение

Сегодняшнее время характеризуется огромными объемами добычи и переработки полезных ископаемых. Это связано, конечно, с не менее значительным потреблением продуктов обогащения, пригодных для любой области промышленности, т.к. при добыче сырья процент готовых к немедленному потреблению материалов очень невелик. Эта проблема и привела к появлению важнейшей отрасли тяжелой индустрии – обогащению полезных ископаемых.

Обогащение полезных ископаемых – это совокупность процессов переработки твердого минерального сырья с целью получения продуктов, пригодных для технической возможной и экономически целесообразной переработки (использования) [1].

Чтобы аргументировать необходимость в этих процессах, достаточно проанализировать данные из табл. 1 [1, 2].

Таблица 1 – Разница содержаний полезного компонента руды [1, 2]

Металл	Содержание в руде, % масс.	Содержание в концентрате, % масс.
Pb	< 1,5	60
W	0,1-0,4	60-70
Mo	0,01-1	40-50
Sn	1	9-20

Как видно из табл. 1, применение сырой руды в производстве чего-либо не только нецелесообразно, но зачастую просто невозможно ввиду столь малой концентрации полезного компонента. Помимо этого, подготовленное для переработки сырье должно не только содержать в себе необходимое количество ценного компонента, но и отвечать многим другим условиям. Так, например, плавка чугуна в доменных печах протекает при прочих равных условиях тем быстрее, чем больше удельная поверхность

рудных минералов, больше газопроницаемость их слоя, меньше содержание в них низших оксидов железа, меньше влажность и количество включений, меньше колебания свойств внутри сорта [3, 4]. Основным видом металлургического сырья является концентрат, состоящий из природных минералов, в которых содержание металла достаточно велико, чтобы при современном уровне развития техники оказалось возможным и экономически целесообразным проводить его извлечение [5]. Обогащение – важнейшее промежуточное звено между добычей полезных ископаемых и использованием извлекаемых веществ, в основе которого лежат анализ свойств минералов и их взаимодействия в процессах разделения [1].

Наиболее распространенными являются методы флотационного и магнитного обогащения, т.к. они зачастую универсальны, а иногда являются единственными способами разделения руд (так, например, только с помощью флотации можно получить отдельные концентраты из комплексных сульфидных руд).

С увеличением потребительских запросов промышленности появилась стойкая необходимость в разработке бедных месторождений, потому что богатые либо труднообрабатываемы, либо уже исчерпаны или близки к этому. В этом вопросе Российская Федерация, как страна с огромными запасами полезных ископаемых, остро нуждается в модернизации процессов переработки руд для удовлетворения своих широкомасштабных внутренних целей (таких как снабжение металлами промышленной и военной отрасли, получение высокоочищенных ископаемых твердых топлив для ТЭС и пр.) [6].

В нашей стране помимо хорошо разработанных месторождений (в частности, Курской магнитной аномалии) встречаются также и ранее неизвестные проявления богатых залежей – ярким примером этого служит случайное открытие в 1960-х годах Бакчарского железорудного месторождения, которое согласно официальной информации [7]: «является крупнейшим проявлением железной руды в России и мире, однако рудные

горизонты и вышележащие толщи сильно обводнены, поэтому планы разработки месторождения появились только в начале XXI века». Согласно тому же источнику разведанные запасы железной руды оцениваются в 28,7 млрд. тонн, а прогнозные запасы в 110 млрд. т. Эти показатели в два раза превышают известные запасы в стране. В 2009 году мировая добыча железной руды по данным U.S. Geological Survey составила 2,3 млрд тонн (рост на 3,6 % по сравнению с 2008 годом), из которых на долю РФ приходится только 4,4% (согласно данным World Iron Producing Countries, 2010).

Кроме природного железосодержащего сырья в промышленный оборот все чаще включается сырье техногенное. Наиболее перспективным источником металла являются металлургические шлаки, которые в России накапливались на протяжении трехсот лет (с начала освоения черной металлургии). Магнитная переработка этих шлаков позволяет существенно снизить расход природного сырья, что ведет к сбережению природных территорий. Кроме этого, переработка шлаков освобождает зашлакованные ранее площади вблизи заводов и комбинатов.

Самым привлекательным фактором использования шлаков в качестве сырья для получения железосодержащих продуктов является их технологическая «готовность». Единственной зачастую необходимой процедурой перед процессом магнитного обогащения является дробление и грохочение шлаков. Эта стадия настолько эффективна, что в некоторых странах (например, Германии) измельченные шлаки становятся пригодными для использования сразу после стадии дробления.

Из этого краткого обзора можно сделать вывод, что и рост добычи природного сырья, и накопление техногенных материалов прямо указывает на необходимость совершенствования технологии переработки. Ее принципы неизменны, однако модернизация технологических схем благотворно влияет на экономику в сфере черной металлургии, сокращая затраты на разработку новых месторождений и способствуя восстановлению природных территорий.

## 1 Обзор литературы

### 1.1 Проблемы современной обогатительной промышленности

Добываемые в настоящее время руды имеют очень низкую крупность раскрытия, прямым следствием из чего является необходимость достижения более тонкого измельчения частиц с совершенствованием технологий измельчения. Шламы и илы, образующиеся при измельчении, зачастую не поддаются обычной технологии промывки хвостов. Доля теряемых тонких минеральных частиц огромна: при обогащении многих руд в отвалы уходит 20-50% ценного минерала [8].

Примерные потери ценных минералов в виде шламов (данные на 1992 год) [8]:

- 1/3 фосфатов, добываемых во Флориде;
- 1/2 олова, добываемого в Боливии;
- 1/4 вольфрама, добываемого во всем мире.

Такие потери, вероятно, только будут возрастать вследствие увеличения добычи низкокачественных руд.

Если для природных руд потеря мелких частиц является основной технологической проблемой, то для металлургических шлаков такой проблемой являются законодательные особенности: в России все без исключения шлаки относятся к категории отходов, что автоматически выводит их из области интересов металлургических предприятий. Конечно, те же самые предприятия охотно покупают продукты шлакопереработки для добавок в шихту (или даже в качестве 100%-го сырья для конвертеров), однако предпочитают не заниматься вопросом шлакопереработки самостоятельно, возлагая эту задачу на узкоспециализированные цеха. Учитывая небольшое количество подобных цехов и высокие потребности в сырье металлургических заводов, проблема малого использования шлаков лишь обостряется.

## 1.2 Сравнение подходов к шлакопереработке в России и странах Европы и Азии

В европейских странах с развитой металлургической промышленностью перерабатываются все доменные шлаки, а также бóльшая часть сталеплавильных шлаков. В настоящее время в Германии действуют законы, которые переводят металлургические шлаки в категорию побочных продуктов производства из разряда отходов. При этом для каждой разновидности шлаков существует собственный перечень факторов, определяющих сферы производства, в которых эти шлаки могут быть использованы.

По данным Euroslag (общеевропейская ассоциация) из 25 млн. т доменных шлаков, образовавшихся в странах ЕС в 2000 г., было использовано почти 100% [9].

В целом, в Европе сталеплавильные шлаки используются по трем основным направлениям: в сельском хозяйстве – для известкования почв, в дорожном строительстве – при прокладке дорог, в металлургии – в качестве компонента шихты для вторичной переплавки. На рис. 1 отображены сферы применения шлаков в странах Европы по состоянию на 2010 г [10].



Рисунок 1 – Использование сталеплавильных шлаков в странах ЕС в 2010 г [10]

Методы переработки шлаков в Европе основываются в первую очередь на дроблении и гранулометрической сортировке, поэтому необходимость в магнитной сепарации шлаков актуальна лишь для вторичного использования в металлургии. Из рис. 1 видно, что такое использование занимает едва ли не минимальную долю всей шлакопереработки. В России же наоборот предполагается перерабатывать шлаки именно для дополнительного снабжения сталеплавильных цехов. Такой подход сокращает расход железной руды и скрапа при выплавке чугуна, что, как следствие, ведет к сбережению ресурсов земли вблизи карьеров.

Главной составляющей деятельности Euroslag является постоянный анализ ситуации в индустрии шлакопереработки. Из этих исследований стало известно, что около 38% шлаков в 2008 г. были обработаны кристаллизационным охлаждением на воздухе для использования в дорожном и объектном строительстве, а 48% (только доменный шлак) было подвергнуто грануляции для использования в качестве компонентов бетонов и прочих строительных смесей [11]. Таким образом, в странах ЕС существует тенденция к переработке жидких шлаков непосредственно после их слива из печей, в то время как в России приходится иметь дело с давно накопленными лежалыми отвалами. Разумеется, в таком случае процессы грануляции полностью замещаются процессами дробления или, напротив, высокотемпературной агломерации. Здесь важно отметить, что страны ЕС не могут позволить себе отсыпать и содержать крупные шлаковые отвалы ввиду ограниченной свободной площади и действующих экологических законов. Шлаки перерабатываются сразу и максимально полно.

Сравнение европейских и российских статистических данных указывает на важное законодательное затруднение: в России все без исключения шлаки входят в разряд отходов, в то время как в Европе существенная часть шлаков признается вторичным сырьем. По этой причине

несколько некорректно сравнивать данные о количествах накопленных шлаков в России и странах Европейского союза.

С проблемой чрезмерного шлаконакопления в последнее время стали сталкиваться и восточно-азиатские страны. Так, например, в настоящее время в Китае накоплено около 670 млн. тонн металлургических шлаков, и их объемы продолжают расти [12]. Проблема обостряется тем, что мировая доля КНР в производстве стали стремительно увеличивается. По данным World Steel Association [13] в 2013 г. производство стали в КНР возросло на 7,5% на фоне 3,5% прироста выплавки стали в мире. Дефицит свободной площади ограничивает отсыпку новых шлакоотвалов, поэтому в Китае, как и в Европе, металлургические шлаки стремятся перерабатывать сразу после их слива. Для ускорения этого процесса КНР активно внедряет на своих предприятиях зарубежные технологии.

Так, одно из наиболее современных металлургических предприятий КНР – завод Баосталь – приобрел лицензию на технологию переработки металлургических шлаков в жидком состоянии; эта технология была разработана в Уральском институте металлов (г. Екатеринбург). Отвальные же шлаки в Китае перерабатывают по тому же принципу, что и в России: путем дробления и магнитной сепарации. Так, например, китайские компании Zenith и Shibang Machinery производят оборудование для магнитных линий переработки, в которых шлак после дробления на конусных или щековых дробилках подается на магнитное разделение [14]. Производительность такой установки по исходному шлаку достигает 1 млн. т/год.

В целом же, между российским и зарубежным подходами к шлакопереработке существуют два принципиальных отличия:

- объемы отечественных отвалов существенно превышают зарубежные, а технология жидкофазной шлакопереработки пока не получила широкого распространения. Поэтому существует острая необходимость

в постройке мощных конвейерных линий по магнитному разделению шлака для вторичного использования в металлургии;

- в России все без исключения шлаки относят к категории отходов, что выводит их из поля зрения металлургических предприятий. Поэтому для переработки шлаков возникают независимые предприятия, покупающие эти отвалы и продающие затем продукты шлакопереработки тем же металлургическим предприятиям. Однако несмотря на выгодность такого подхода количество шлакоперерабатывающих предприятий в России невелико.

За триста лет отечественной металлургии вблизи заводов были накоплены огромные количества шлаков самого различного состава и происхождения. По общей оценке [15, 16] на предприятиях черной металлургии России в отвалах накоплено более 300 млн.т. одних лишь сталеплавильных шлаков. В то же время по данным ассоциации Euroslag [17] в 2010 г. общее количество сталеплавильного шлака в странах ЕС составило 45 млн. т. Таким образом, проблеме переработки техногенных железосодержащих отходов во всем мире уделяется большое внимание [18-21].

Переработка и утилизация образующихся в сталеплавильном производстве шлаков являются обязательными элементами безотходной технологии. Многочисленные шлаковые отвалы и связанные с ними отчуждения земельных угодий, образование пыли, негативное воздействие на воздушный и водный бассейны вредны и экологически недопустимы. Кроме того, утилизация отходов экономически выгодна. Достаточно отметить, что только чистого металла из шлаков извлекается более 1 млн. т в год [22].

### 1.3 Сущность магнитного метода обогащения

*Магнитная сепарация (магнитное обогащение)* – способ обогащения полезных ископаемых, основанный на использовании различия в магнитных свойствах (величинах магнитной восприимчивости, остаточной индукции, коэрцитивной силы и др.) компонентов разделяемой механической смеси (минералов, их сростков и др.) крупностью до 150 мм в неоднородном постоянном или переменном магнитном поле.

Основными физическими величинами, учитываемыми в магнитно-обогащительных процессах, являются [23]:

- *магнитная восприимчивость* – физическая величина, характеризующая связь между магнитным моментом (намагниченностью) вещества и магнитным полем в этом веществе;
- *коэрцитивная сила* – это напряженность магнитного поля, в котором намагниченный до насыщения ферромагнитный образец размагничивается;
- *остаточная индукция* – магнитная индукция в веществе при напряженности магнитного поля, равной нулю;
- *размагничивающий фактор* – коэффициент, связывающий напряженность собственного поля намагниченного образца и его намагниченность. Определяется геометрической формой образца.

С помощью магнитной сепарации обогащают железные, вольфрамовые, титановые и другие промышленно и стратегически важные руды. Одной из наиболее освоенных практик является обогащение железной руды для получения концентратов, пригодных для термической обработки в доменных печах. Рядовые концентраты содержат от 60 до 70 % железа и до 10 % примесей, в которых преобладает кремний в виде кварца и других кремний содержащих минералов, а также алюминий, кальций, магний и другие примеси [24].

Основными стадиями металлургического процесса является добыча железной руды, ее обогащение и химическое восстановление железа из природных соединений, находящихся в руде. Обогащение железной руды производится методом магнитной сепарации, который обеспечивает отделение парамагнитных соединений железа от диамагнитных примесей [24].

Эффективность магнитного обогащения зависит от качества добываемой руды: содержания железа, состава и магнитных свойств его соединений и взаимосвязи этих соединений с примесями.

По величине удельной магнитной восприимчивости  $\chi$  все минералы условно делятся на следующие группы [25]:

- сильномагнитные ( $\chi > 3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{кг}$ );
- слабомагнитные ( $\chi = 1,26 \cdot 10^{-7} - 7,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3/\text{кг}$ );
- немагнитные ( $\chi < 1,26 \cdot 10^{-7} \text{ м}^3/\text{кг}$ );
- диамагнитные ( $\chi < 0 \text{ м}^3/\text{кг}$ ).

До появления более мощных магнитных сепараторов считалось, что минералы третьей группы по вышеизложенной классификации не поддаются обогащению методом магнитной сепарации. Однако затем было установлено, что магнитные сепараторы с замкнутыми магнитными системами и фокусированным полем позволяют магнитное поле напряженностью до  $1,6 \cdot 10^6 \text{ А/м}$  и обогащать материалы, удельная магнитная восприимчивость которых лишь несколько более  $10^{-9} \text{ м}^3/\text{кг}$  [26].

Влияние магнитного поля на ориентацию атомов (молекул, ионов) парамагнетиков показано на рис. 2, 3, 4 [27].

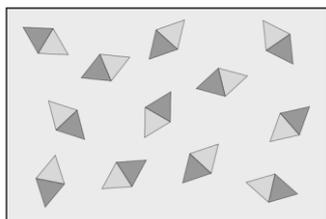


Рисунок 2 – Парамагнетик вне магнитного поля [27]

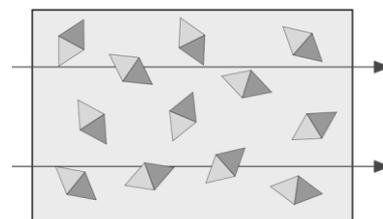


Рисунок 3 – Парамагнетик в слабом магнитном поле [27]

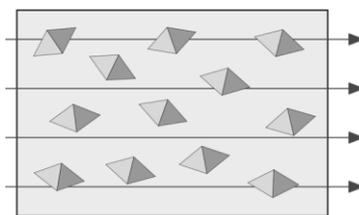


Рисунок 4 – Парамагнетик в сильном магнитном поле [27]

Под действием внешнего магнитного поля магнитные моменты атомов (ионов) парамагнетика ориентируются преимущественно по направлению поля. В результате парамагнетик приобретает суммарный магнитный момент  $J$ , пропорциональный напряженности поля  $H$  и направленный по полю.

К основным технологическим показателям обогащения относятся [28]: содержание компонентов в продуктах обогащения и исходном сырье, степень извлечения полезного компонента, выход концентрата и эффективность операций разделения.

Средой разделения минералов может быть вода или воздух. В соответствии с этим процесс называется *мокрой* или *сухой* магнитной сепарацией.

В целом доля магнитной фракции определяет легкость проведения хорошей сепарации. Наиболее простым случаем является удаление небольшого количества сравнительно крупнозернистых магнитных частиц из немагнитного продукта.

Чистота магнитного продукта также будет зависеть от плотности питания. С увеличением объемной плотности все больше немагнитных частиц будет переноситься с магнитными и для стопроцентного удаления магнитной фракции будет необходима значительная магнитная сила. При этом необходимо поддерживать магнитную силу настолько низкой, насколько это возможно во избежание захвата немагнитных частиц. Конечная перечистная стадия обычно необходима, если требуется высокое качество немагнитной фракции.

### 1.3.1 Баланс сил при магнитной сепарации

Если говорить в общем, то суть процесса магнитного разделения строится на балансе механических сил (тяжести, инерции, центробежных, сопротивления среды и т.д.) и магнитной силы, действующих на частицы потока. Магнитная сила ( $f_{\text{магн}}$ ), изменяющая траекторию и скорость полета зерен, действует только на магнитные частицы, направляя их к сборнику соответствующей фракции. Механические силы ( $\sum f_{\text{мех}}$ ), направленные противоположно магнитным, влияют на все частицы без исключения, но в итоге определяют траекторию только немагнитных частиц, направляя их к другому фракционному сборнику. Помимо двух этих противоборствующих сил существует еще и третья составляющая – инерционная сила ( $f_{\text{ин}}$ ), которую развивают магнитные частицы при движении. Инерционная сила зависит только от массы зерна и скорости его движения.

Таким образом, для теоретически успешного разделения минералов должно выполняться условие:

$$f_{\text{магн}} > \sum f_{\text{мех}} + f_{\text{ин}} \quad (1)$$

Важное условие для успешной магнитной сепарации – питание должно двигаться плотным потоком. Если частицы расположены настолько плотно, что большинство из них двигаются в турбулентном потоке, то весь поток ведет себя как жидкость [29].

В плотном потоке отклонение существенной части (от 10%) магнитных частиц с помощью поперечной магнитной силы дает в результате отклонение всего потока [29]. Это отрицательно влияет на чистоту конечной магнитной фракции, вынуждая повторно проводить процесс разделения, что ресурсо- и энергозатратно.

### 1.3.2 Влияние характеристики руды на сепарацию

Процесс магнитной сепарации определяется параметрами сепаратора, на котором производится обогащение (его магнитным полем, скоростью и характером движения руды и др.), а также характеристикой обогащаемой руды. К основным свойствам руды, влияющим на процесс магнитной сепарации, относятся: магнитная восприимчивость ее минеральных компонентов, крупность и исходное содержание извлекаемого в магнитную фракцию минерала [30].

Размеру частиц обогащаемого минерала придают большое значение, т.к. процесс разделения основан на балансе магнитных сил (заданных настройкой самого сепаратора) и сил механических, из которых важнейшей составляющей является сила тяжести движущихся частиц, направленная противоположно магнитной силе.

Следует также отметить, что при высокой удельной магнитной восприимчивости минерала возможно понижение магнитной силы поля без ущерба для выхода конечного продукта, в то время как для разделения слабомагнитных руд (пирита, халькопирита, касситерита и пр.) требуется более мощное магнитное поле. Для сравнения, у сепараторов для сильномагнитных и слабомагнитных руд напряженность магнитного поля может составлять  $64.000 \text{ A/m}$  и  $1.600.000 \text{ A/m}$  соответственно [25].

Железная руда и металлургические шлаки относятся к сильномагнитному типу сырья ввиду высокого содержания общего железа. Однако из-за неполного раскрытия сростков (особенно в шлаках) напряженность магнитного поля при сепарации должна быть несколько выше расчетной. Такой подход, конечно, ведет к загрязнению продукта примесями, но потери металла с хвостами еще более нежелательны. Вся регулировка процесса магнитной сепарации сводится к тонкому балансу между чистотой продукта и обедненностью хвостов обогащения.

### 1.3.3 Классификация магнитных сепараторов

По причине разнообразия гранулометрического и магнитного состава разделяемых частиц в рудной промышленности и химической технологии существует классификация магнитных сепараторов по их характеристикам. Все магнитные сепараторы подразделяются [25]:

- в зависимости от назначения сепаратора и напряженности магнитного поля на:
  - сепараторы со *слабым* магнитным полем ( $H = 70 - 120 \text{ кА/м}$ );
  - сепараторы с *сильным* магнитным полем ( $H = 800 - 1600 \text{ кА/м}$ );
- в зависимости от характера среды разделения минералов на:
  - *сухие* – для обогащения в воздушной среде (размер частиц 3-100 мм);
  - *мокрые* – для обогащения в водной среде (размер частиц менее 3 мм).

Для обогащения слабомагнитных руд применяют сепараторы с высокой напряженностью магнитного поля. Принципиальная схема работы магнитного сепаратора для слабомагнитных руд показана на рис. 5 [31].

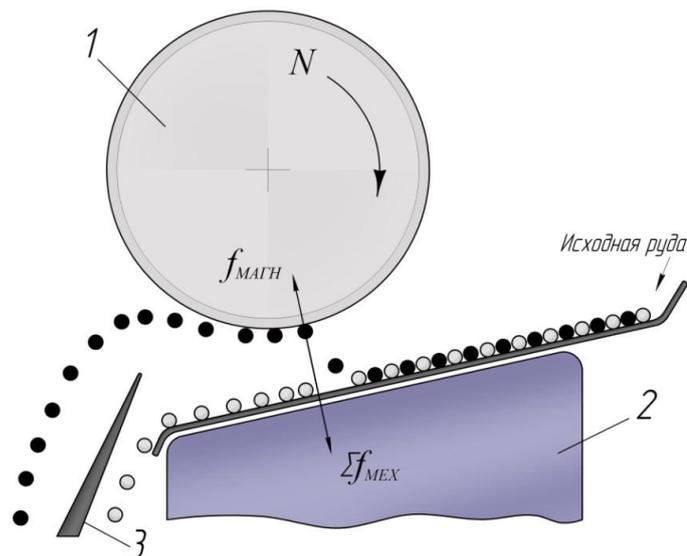


Рисунок 5 – Схема магнитного сепаратора для слабомагнитных руд [31]:  
1 – барабан со встроенной магнитной системой; 2 – полюсный наконечник;  
3 – делительная перегородка;

- - магнитные зерна;  $\circ$  – немагнитные зерна;

$f_{\text{магн}}$  – магнитная сила;  $\sum f_{\text{мех}}$  – равнодействующая всех механических сил.

Разделение минералов осуществляется в рабочей зоне сепаратора. Исходный материал поступает в зазор между барабаном  $I$  и питающим лотком. Магнитные частицы под действием магнитного поля притягиваются к поверхности барабана  $I$  и выносятся за пределы действия магнитных сил, где разгружаются в приемники для магнитного продукта. Немагнитные частицы разгружаются в приемники для немагнитного продукта.

Магнитное поле в рабочей зоне сепаратора создается системами из постоянных магнитов или электромагнитными системами с обмоткой, питаемой постоянным или переменным током, вызывающим соответственно образование постоянного или переменного магнитного поля. В настоящее время наиболее широко используется обогащение в постоянном магнитном поле [25].

В магнитных сепараторах применяются только неоднородные магнитные поля, т.к. только они позволяют получить направленную магнитную силу притяжения минерального зерна [25]:

$$F_m = \mu_0 \chi m H \text{ grad } H, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная, равная  $1,257 \cdot 10^{-6} \text{ Гн/м}$ ;

$m$  – масса зерна, кг;

$H$  – напряженность поля, А/м;

$\text{grad } H$  – градиент напряженности, А/м<sup>2</sup>.

Для концентрирования переменного электромагнитного поля в рабочем пространстве сепаратора его барабану придают «зубчатую» форму, нарезаая множество конических дорожек. Поле концентрируется на пиках дорожек, способствуя эффективному разделению.

Важным изменяемым параметром при сепарации является рабочий зазор между барабаном и точкой (питателем). Он должен обеспечивать свободное перемещение железосных частиц между поверхностью барабана и плоскостью питателя.

### 1.3.4 Селективность магнитной сепарации

Селективность и эффективность разделения минералов при магнитной сепарации возрастают с увеличением различия между их удельными магнитными восприимчивостями  $\chi_1$  и  $\chi_2$ , однородности поля сепаратора по величине магнитной силы  $F_m$ , и с уменьшением диапазона крупности зерен в исходном материале [25].

Очевидно, что при прочих равных условиях, чем больше магнитная восприимчивость (удельная), тем с большей силой магнитное поле действует на минеральное зерно и наоборот. Достичь разделения близких по значению  $\chi$  минеральных зерен можно только в однородном по величине магнитной силы поле.

Однако магнитные поля современных сепараторов неоднородны не только по напряженности  $H$ , но и по магнитной силе  $F_m$ . Поэтому при близких значениях  $\chi_1$  и  $\chi_2$  разделяемых зерен может оказаться, что  $F_{m1}$  более магнитного зерна, удаленного от полюса, будет меньше  $F_{m2}$  менее магнитного зерна, находящегося у полюса, что приведет к взаимному засорению магнитного и немагнитного продуктов. Как показывает практика, для успешного разделения минералов в магнитных сепараторах необходимо, чтобы коэффициент селективности магнитного обогащения был не менее 3 – 5 [25].

Необходимо также учитывать, что чрезмерное увеличение напряженности поля может привести к ухудшению качества концентрата за счет извлечения в него большого количества сростков магнитных минералов с немагнитными. В некоторых случаях для получения особо чистых концентратов приходится жертвовать большим выходом в пользу качества получаемого продукта. В такой ситуации велики потери полезных частиц в хвостах обогащения, т.к. напряженности магнитного поля недостаточно для максимально полного извлечения.

## 2 Объекты и методы исследования

### 2.1 Железная руда Бакчарского железорудного месторождения

Вторым объектом исследований стала железная руда Бакчарского железорудного месторождения (проявления), случайно открытого в 1960-х годах при разведке нефти. Для экспериментальной части была использована технологическая проба железной руды, отобранная методом скважинной гидродобычи (СГД) с глубины 161-174 м в 2008 году.

Железная руда, рассматриваемая в данной статье, согласно источникам [32, 33] содержит до 43,9% общего железа (Fe), представленного в виде смеси оксидов железа и, частично, в виде гетита ( $\text{FeOOH}$ ), гидрогетита ( $\text{FeOOH} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ) и сидерита ( $\text{FeCO}_3$ ), магнитные свойства которых проявляются только после термообработки, что связано с их переходом в оксидные формы. В рудах Бакчарского месторождения наблюдается низкое содержание примесей серы и мышьяка и повышенное содержание оксида фосфора (V) – до 1,2% и оксида ванадия (V) – до 0,15% [34]. Все это позволяет отнести их к богатым и перспективным железным рудам, однако в работах [5, 35] указано, что для термической обработки в доменных печах рядовые концентраты должны содержать от 60 до 70 % железа и не более 10 % вредных примесей. При меньшем содержании железа и избытке примесей наблюдается повышенное шлакообразование и низкое качество выплавляемого металла. В руде Бакчарского месторождения содержание пригодного для извлечения железа представлено преимущественно оксидами  $\text{FeO}$  и  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , (1,77...31,64% и 14,61...56,22%, соответственно) [33].

Месторождение занимает площадь в 16 тыс. км<sup>2</sup>, его рудные пласты залегают на глубинах 150-200 м, а рудный горизонт колеблется от 20 до 70 м. Разведанные запасы железной руды оцениваются в 28,7 млрд. тонн, а прогнозные запасы – в 110 млрд. т [7]. Эти показатели в три раза превышают

запасы железных руд Курской магнитной аномалии (КМА) и являются крупнейшими в мире.

Однако масштабная разработка Бакчарского месторождения затруднена сильной обводненностью грунтовой толщи и рудных горизонтов, поэтому планы освоения появились только в XXI веке. Предполагается вести добычу не карьерным способом, а методом скважинной гидродобычи, относительно новым и перспективным способом. Согласно химическому анализу технологических проб, отобранных методом СГД в 2006-2009 годах, руда Бакчарского месторождения содержит от 35,87 до 43,91% железа, представленного в основном в виде гетита, гидрогетита и сидерита [33].

Основной областью применения железной руды является только черная металлургия, но потребителями ее продукции являются все отрасли промышленности. Магнитная сепарация является единственным эффективным способом отделения полезных компонентов железной руды от диамагнитных включений, поскольку извлекаемые соединения железа обладают высокой магнитной восприимчивостью (как правило,  $20-90 \cdot 10^{-7}$  м<sup>3</sup>/кг [36]). При этом в горнорудной промышленности должна применяться технология предобогащения минерального сырья с применением самоходных дробильно-обогащительных установок [37].

Тем не менее, ряд авторов [38-40] предполагает флотационное обогащение железных руд, тем более что интенсивное развитие теории и практики флотации сделало этот метод обогащения наиболее универсальным и динамично развивающимся. Однако флотационный метод более продолжителен и технологически сложен, т.к. требует тщательной сушки железных концентратов и наличия локализованных водоемов. Актуальность проведенной исследовательской работы заключается в широких перспективах разработки Бакчарского месторождения. Другим немаловажным фактором являются большие объемы железорудных залежей (по предварительным оценкам свыше 30 млрд. тонн), что превышает запасы многих месторождений железной руды в мире.

## 2.2 Шлаки черной металлургии

### 2.2.1 Классификация шлаков

Шлаки содержат невосстановленные соединения (доменный процесс) или вновь образовавшиеся продукты окисления и соединения, поступающие при плавлении (сталеплавильный процесс и производство ферросплавов) [41].

Шлаки – это многокомпонентные системы, состав которых определяют оксиды CaO, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO и FeO. Кроме того, в шлаках содержатся оксиды Mn, P, Cr, Ba, S, Fe, V, Ti и пр.

По роду металлургического процесса шлаки черной металлургии подразделяются на:

- доменные и первичные шлаки электроплавки (шлаки первичных металлургических процессов);
- передельные (шлаки вторичных процессов или шлаки сталеплавильных печей).

По химическому составу шлаки условно делятся на:

- основные;
- кислые;
- нейтральные.

К кислым относятся шлаки, у которых модуль основности менее 1, а к нейтральным относятся шлаки, у которых  $M_0 = 1$ .

По степени стойкости:

- стойкие (нераспадающиеся);
- склонные к распаду;
- нестойкие (самораспадающиеся) шлаки.

По степени плавкости:

- легкоплавкие – условная температура плавления менее 1300 °С;
- тугоплавкие – условная температура плавления выше 1300 °С.

По степени вязкости шлаки делятся на короткие и длинные: к коротким относятся шлаки, характеризующиеся сравнительно коротким температурным интервалом изменения вязкости, т. е. интервалом перехода при охлаждении расплава из подвижного в неподвижное состояние.

Конвертерные и мартеновские шлаки содержат свободный СаО, который при гидратации способствует разрушению шлака вследствие увеличения объема [41]. В обычных доменных шлаках 90% химического состава занимают СаО, SiO<sub>2</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, содержание металла достигает 2-4 % масс. [41]. Плотность жидких доменных шлаков находится в диапазоне 2,6-2,7 т/м<sup>3</sup>. Остывшие доменные шлаки представляют собой кристаллические камневидные образования. Сталеплавильные шлаки содержат в себе до 12% металла, а СаО, SO<sub>2</sub> и оксиды железа занимают 70-85% химического состава. Жидкие сталеплавильные шлаки имеют плотность 2,6-3,1 т/м<sup>3</sup>.

Объектом анализа данной работы стал шлаковый отвал, расположенный в г. Новокузнецке Кемеровской области. Комплексной переработкой шлаков отвала занимается Цех шлакопереработки (далее – ЦШП), входящий в состав ООО «Технологии рециклинга». Вместимость шлакового отвала составляет 20 млн. м<sup>3</sup>, общая площадь достигает 1,4 км<sup>2</sup>.

Весь шлаковый отвал поделен на два самостоятельных отвала:

- доменный отвал для хранения доменного шлака;
- мартеновский отвал для хранения сталеплавильных шлаков.

В настоящее время заполнения отвала не происходит, территория выведена из отвального применения. В декабре 2003 года была запущена в эксплуатацию установка по извлечению металла из мартеновских шлаков (далее – УИММШ-1). В мае 2005 года по такому же проекту запущена еще одна установка (ПДСУ-2).

## 2.2.2 Области применения шлаков металлургии

Металлургические шлаки представляют собой ценное сырье для производства ряда строительных материалов и изделий, являющихся более дешевыми и прочными, чем полученные из природного сырья [42]. Металлургические шлаки характеризуются значительной электропроводностью, что указывает на присутствие в них ионов и, следовательно, на электрический тип связи [43].

Ряд металлургических шлаков (доменные, мартеновские, электросталеплавильные, ферросплавные) образуются со значительным содержанием соединений фосфора и окиси кальция, а также ряда других элементов, что дает возможность их использования в качестве удобрений и агентов, улучшающих структуру почв; технология переработки шлаков в этом случае сводится к их дроблению и измельчению до частиц размером 2 мм с одновременной магнитной сепарацией [43].

В металлургических шлаках содержится значительное количество металла, который необходимо извлекать и использовать в шихте сталеплавильных и других печей [44]. В мартеновском шлаке металл содержится в виде корольков и скрапа, что затрудняет его извлечение: для переработки шлака необходимо мощное дробильное оборудование, магнитные сепараторы, а недостаточное использование металлургических шлаков приводит не только к недоизвлечению прибыли, но и к удорожанию основной металлургической продукции за счет больших затрат на вывозку шлаков и содержание огромных отвалов [44,45].

Металлургический шлак идет на производство шлаковой пемзы или термозита – искусственного пористого заполнителя легкого бетона, получаемого вспучиванием расплавов металлургических шлаков при их быстром охлаждении [46].

На рис. 6 отображены области применения сталеплавильных шлаков.

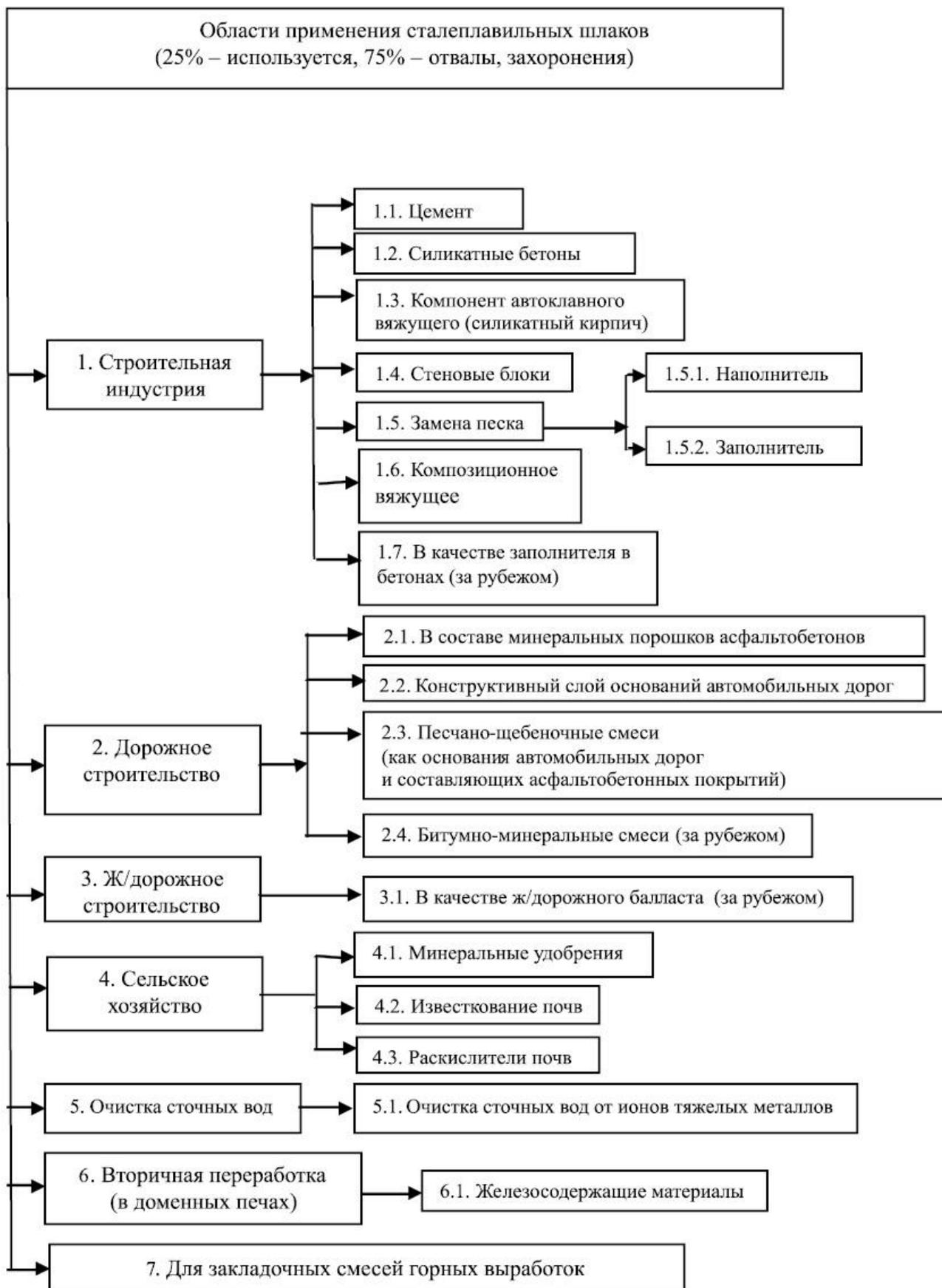


Рисунок 6 – Области применения сталеплавильных шлаков

На рис. 7 представлены сферы применения металлургических шлаков по данным ФГУП «ЦНИИчермет» [47].

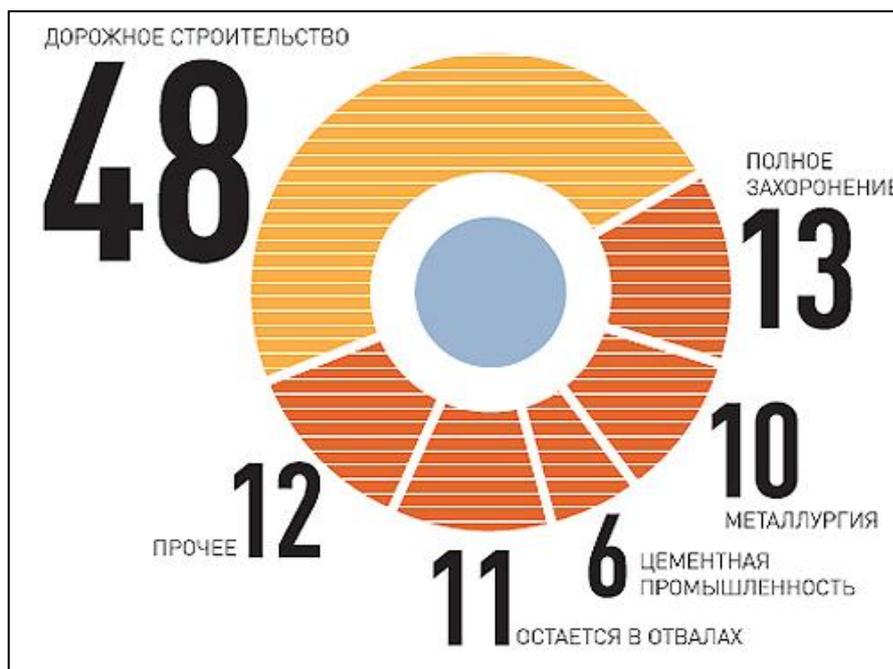


Рисунок 7 – Сферы применения металлургических шлаков [47]

Использование доменных шлаков при производстве цемента предполагает их получение, как правило, в гранулированном виде, что, в свою очередь, требует осуществления грануляции на самом металлургическом заводе [46]. При использовании доменных шлаков для литья брусчатки или в качестве заполнителя для бетона важно, чтобы шлаковый материал был абсолютно стабилен [48].

Одной из проблемных сторон использования шлакового щебня в дорожном и объектном строительстве является повышенное содержание оксидов железа. ТУ 5718-004-67684077-2011 «Щебень из доменного шлака для дорожного строительства» ограничивает содержание общего железа на уровне 5% масс., однако в рядовом шлаковом щебне содержание общего железа может достигать 20% масс. Столь высокая концентрация металла приводит к ухудшению прочностных характеристик и снижению коррозионной устойчивости, поэтому применение такого щебня в строительстве допустимо только в качестве компонента общей засыпки.

### 2.2.3 Утилизация шлаков сталеплавильного производства

Переработка и утилизация образующихся в сталеплавильном производстве шлаков являются главным элементом безотходной технологии. Многочисленные шлаковые отвалы и связанные с ними отчуждения земельных угодий, образование пыли, негативное воздействие на воздушный и водный бассейны вредны и экологически недопустимы. Кроме того, утилизация отходов экономически выгодна. Достаточно отметить, что только чистого металла из шлаков извлекается более 1 млн. т в год [49].

Основными путями утилизации шлаков сталеплавильного производства являются:

- извлечение металла;
- получение железобитума для вагранок (заводских печей для переплавки чугуна) и аглодоменного производства;
- получение щебня для дорожного / промышленного строительства;
- использование основных шлаков в качестве известковых удобрений (шлаковой муки) для сельского хозяйства;
- использование фосфорсодержащих шлаков для получения удобрений для сельского хозяйства;
- вторичное использование конечных сталеплавильных шлаков.

Сталеплавильные шлаки можно условно разделить следующие подгруппы:

- шлаки, образующиеся в начальный период плавки (этот период нередко называют окислительным). Эти шлаки содержат большое количество оксидов железа (иногда до 40 % от общего количества шлака). Железо в шлаке может присутствовать в виде оксидов FeO и Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и в виде корочек железа. Основность этих шлаков невелика; обычно они скапливаются из агрегата по завершении начального периода плавки и могут храниться и перерабатываться отдельно;

- шлаки, сформировавшиеся в конце плавки (конечные шлаки). Обычно эти шлаки содержат несколько меньшее количество железа и имеют повышенное значение основности ( $\text{CaO/SiO}_2 = 2,5-3,5$ ). При выплавке низкоуглеродистой стали содержание оксидов железа и в этих шлаках может быть достаточно высоким (15-20% масс.), однако содержание железа в них значительно меньше. В дуговых печах при проведении восстановительного периода под белым или карбидным шлаками содержание оксидов железа снижается до  $<1\%$ , в то время как содержание  $\text{CaO}$  возрастает до 55-60%. Конечные шлаки можно оставлять в агрегате для использования в последующей плавке или вновь загружать в печь после выпуска;
- шлаки, попадающие в сталеразливочный ковш с выпускаемой сталью. Эти шлаки в жидком состоянии содержат незначительное количество железа. На практике часто определенное количество металла, оставшегося на днище и стенках ковша по окончании разливки стали, попадает вместе со шлаком в чаши (т.н. *скрапины*). Получаемый в результате конгломерат конечного шлака и скрапин металла подвергают тщательной разделке ради максимального извлечения железа.

В среднем можно принять, что в сталеплавильных шлаках содержится – в пересчете на чистое – 20-25% железа, в том числе 10-15% металлического железа. Находящееся в шлаках металлическое железо затрудняет дальнейшую переработку шлака, т.к. для его помола требуется мощное дробильное оборудование. При измельчении шлака до кусков размером 25-27 мм из него удается извлечь металл (около 15% от массы шлака, что экономически оправдывает затраты на помол и последующее извлечение).

В отдельных случаях переработка шлака сталеплавильного производства еще более эффективна:

- когда шлаки содержат достаточно высокие концентрации оксидов железа и марганца, они используются в качестве флюсов для аглодоменного и ваграночного производств;
- когда шлаки содержат достаточно много фосфора, они успешно заменяют суперфосфат и широко используются в сельском хозяйстве. Шлаки, содержащие много фосфора, настолько ценны, что сама технология передела высоко фосфористых чугунов построена таким образом, чтобы одновременно получить и чистую по фосфору сталь, и возможно более богатый фосфором шлак;
- высокоосновные шлаки используются в сельском хозяйстве для известкования почвы;
- при переделе руд, содержащих ванадий, одним из элементов технологии является кратковременная продувка чугуна в конвертере. Ванадий – это элемент, обладающий высоким сродством к кислороду; он окисляется вместе с кремнием, титаном, марганцем в самом начале продувки. Такие чугуны перерабатываются, например, в конвертерных цехах Чусовского металлургического завода и Нижнетагильского металлургического комбината. Для повышения концентрации ванадия в образующемся шлаке известь в начале операции не загружают. Таким образом, в начальный период продувки удается получить шлак, содержащий 16-18 %  $V_2O_5$ . Его откачивают и направляют на ферросплавные заводы для производства феррованадия или же используют в чистом виде для прямого легирования стали (так как известь в конвертеры не загружается, ванадиевый шлак содержит очень мало фосфора и серы);
- при переделе чугуна с повышенным содержанием марганца образуются высоко марганцевые шлаки; они могут использоваться как добавки, повышающие содержание марганца в стали;
- высокоосновные конечные шлаки используются повторно. Так, например, конечные шлаки конвертерного производства содержат (в %

масс.): CaO – 50-60, SiO<sub>2</sub> – 13-15, FeO – 10-26, MgO – 4-10. Они также содержат определенное количество извести, не успевшей ошлаковаться за время плавки. При вторичном использовании (переработке) такого шлака расход извести снижается, улучшается шлакообразование, повышается степень дефосфорации металла. Высокосиловые малоуглеродистые конечные шлаки электроплавки используются для внепечной обработки стали с целью десульфурации;

- в больших масштабах сталеплавильные шлаки используются в дорожном строительстве. Негативным фактором при этом являются случаи реагирования оставшейся не ошлакованной извести в шлаке со влагой воздуха. Свойства и плотность материала при этом изменяются, и на дорожном покрытии образуются трещины. Кроме этого, распад основных шлаков обусловлен переходом во время охлаждения сложного силиката (CaO)<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub> в другую модификацию с увеличением объема.

В большинстве случаев использованию шлака в качестве строительного материала предшествует его выдержка в отвалах. Затем шлак измельчают и направляют на магнитную сепарацию для извлечения металла. Щебень из сталеплавильных шлаков является полноценным заменителем гранитного щебня в бетонах и железобетонах (при условии его соответствия техническим условиям на щебень для строительства).

На ряде металлургических предприятий (таких как Новолипецкий металлургический комбинат, череповецкий «Северсталь», Таганрогский металлургический завод и др.) создано и действует оборудование для практически полной переработки шлаков. При этом получают значительные количества щебня, шлаковой муки, фосфат-шлака и извлекаются большие количества металла. Однако пока еще в целом по стране проблема утилизации шлаков решена не полностью: многие конструктивные разработки находятся в стадии поисков и решений.

## 2.2.4 Переработка сталеплавильных (мартеновских, доменных) шлаков и шлакометаллических (шлакостальных) коржей (ШСК) в ЦШП

На рис. 8 представлена схема получаемой в ЦШП продукции из мартеновских шлаков.

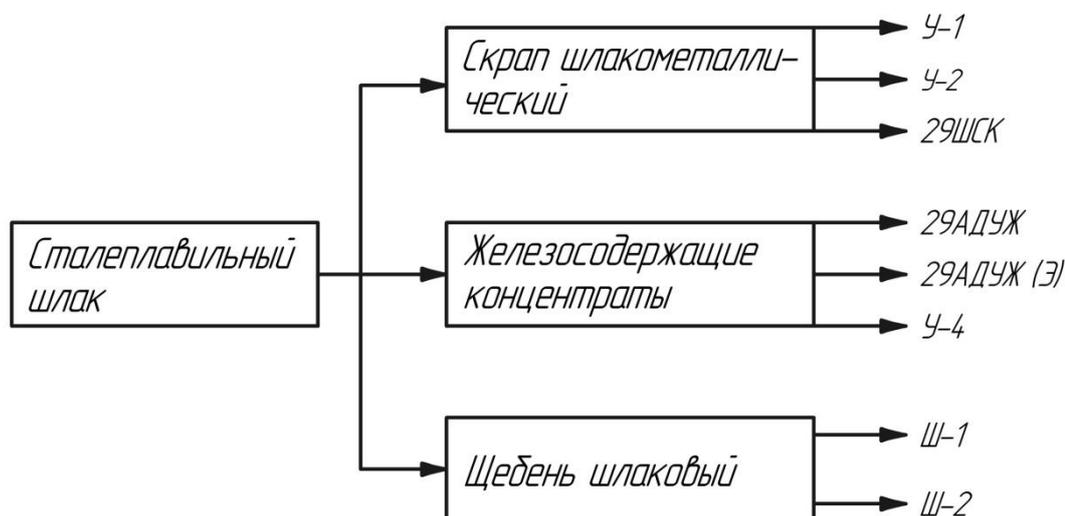


Рисунок 8 – Продукция, получаемая при переработке мартеновских шлаков

В табл. 2 приведены габаритные требования и требования к железосодержанию получаемой продукции.

Таблица 2 – Габаритные требования и требования к железосодержанию

Продукция	Фракция, мм	Массовая доля Fe, %
У-1	300-800	≥75
У-2	80-300	
У-4	0-13	≥40
29ШСК	≤800x1000x1500	≥75
29АДУЖ / 29АДУЖ(Э)	20-80	≥35
Ш-1	0-300	≤5
Ш-2	0-20	≤5

На рис. 9 представлена схема получаемой продукции из доменных шлаков.

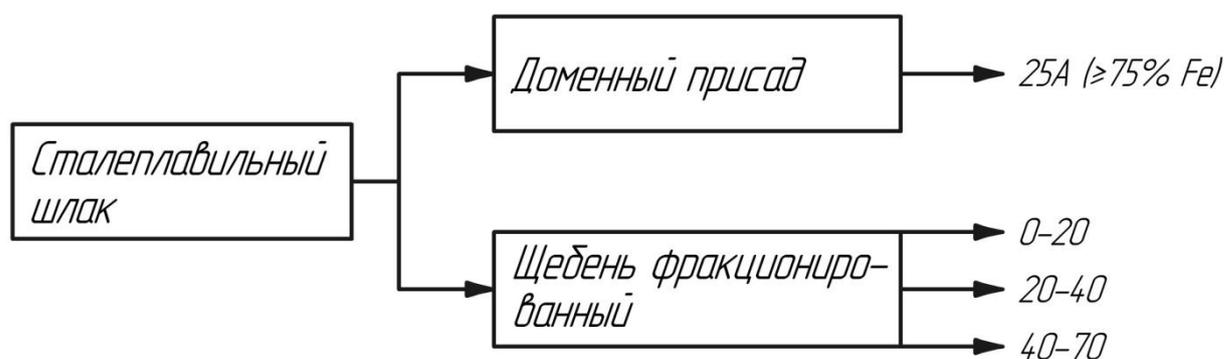


Рисунок 9 – Продукция, получаемая при переработке доменных шлаков

В настоящее время установка по переработке доменных шлаков в ЦШП находится в законсервированном состоянии, поэтому работы проводятся только над мартеновскими шлаками.

Доменный шлак применяют для производства шлаковых кирпичей, шлаковых блоков и шлакобетона; из кислого шлака получают вату, которую вследствие малой теплопроводности применяют в качестве теплоизоляционного материала [50]. Доменный шлак может применяться в качестве ускорителя только после усреднения, он не изменяет свойства стекла и не оказывает агрессивного действия на огнеупорную кладку печи [51]. Доменные шлаки по своему химическому составу напоминают цементный клинкер [52].

По ТИ 899-ЦШП-01-2015 «Переработка сталеплавильных шлаков в ЦШП» была составлена принципиальная блок-схема (рис. 10).

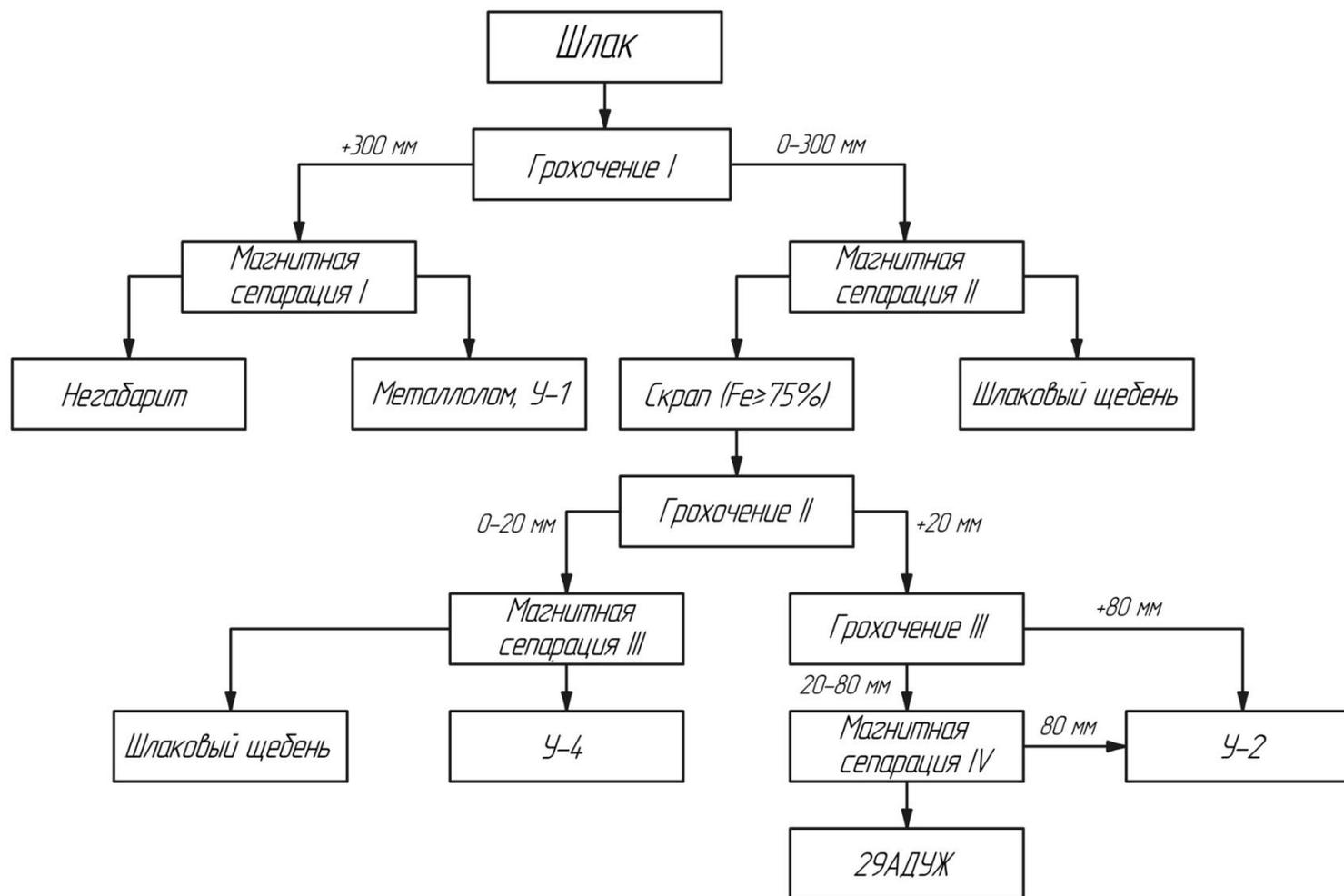


Рисунок 10 – Блок-схема переработки мартеновских шлаков в ЦШП

По ТИ 899-ЦШП-03-2012 «Переработка доменного шлака» была составлена принципиальная блок-схема (рис. 11)

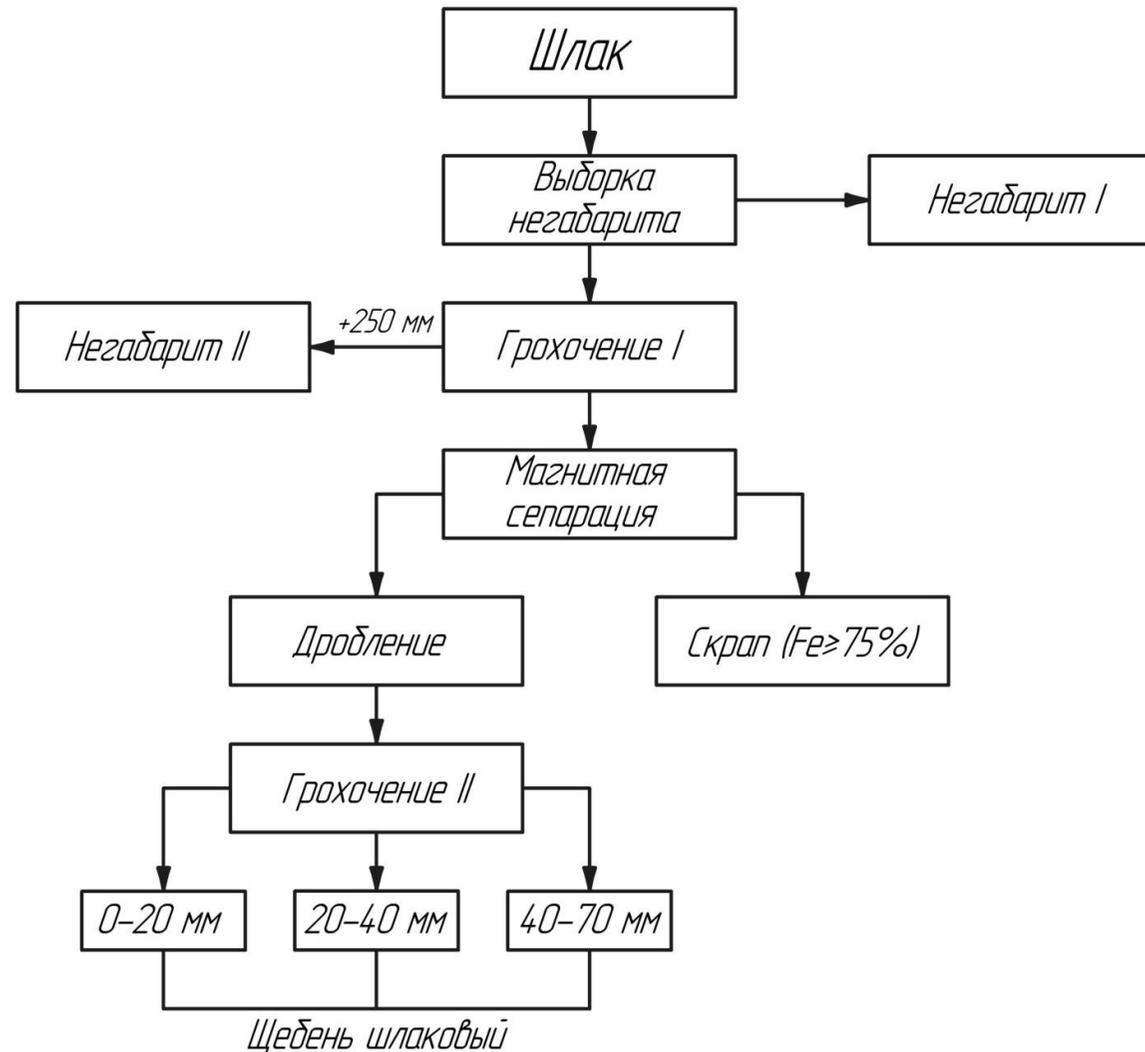


Рисунок 11 – Блок-схема переработки доменных шлаков в ЦШП

По ТИ 899-ЦШП-02-2012 «Переработка шлакометаллических коржей, скрапа и чугунных изложниц на бойном участке ЦШП» была составлена принципиальная блок-схема (рис. 12).

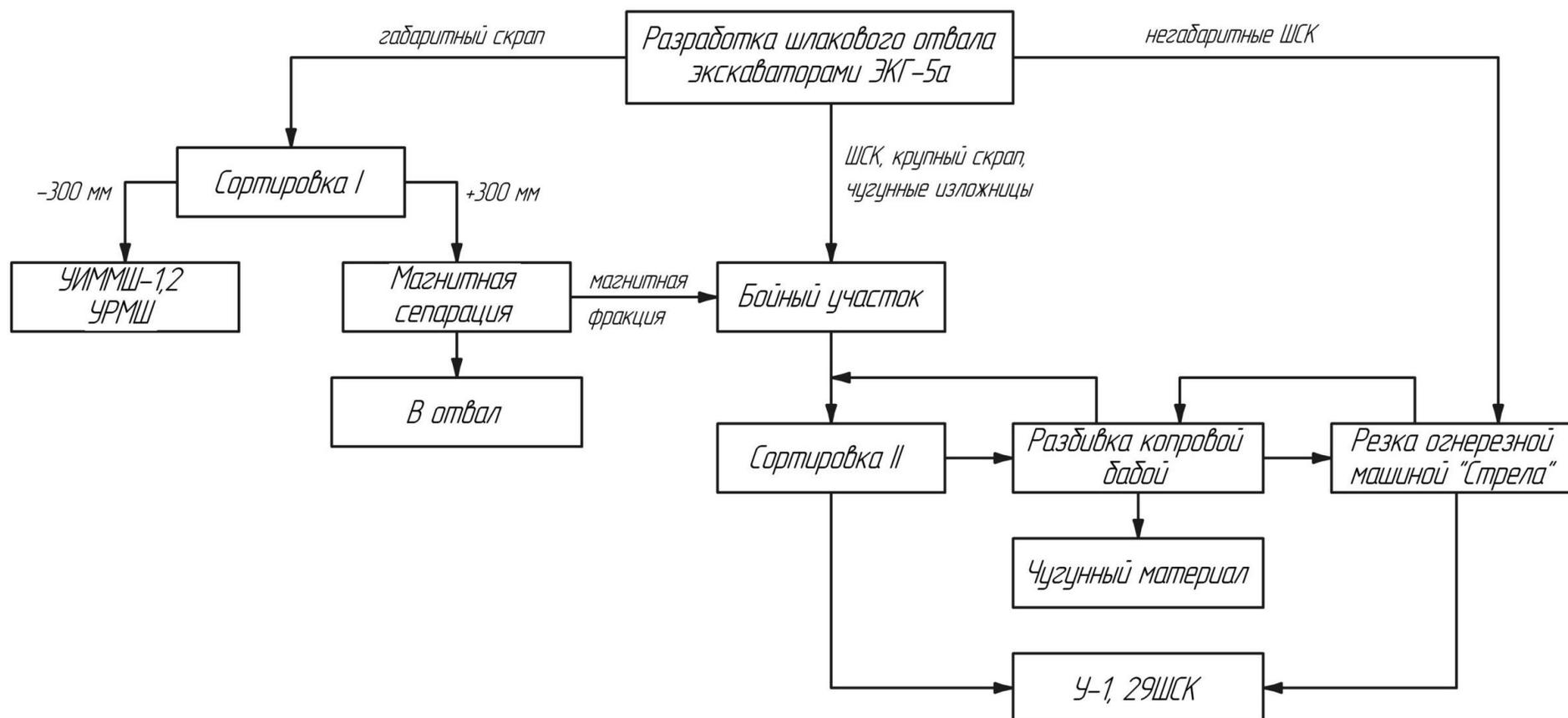


Рисунок 12 – Переработка шлакометаллических коржей, скрапа и чугунных изложниц на бойном участке ЦШП

### 3 Расчеты и аналитика

#### 3.1 Аппаратурное оформление

Принципы разделения (обогащения) природной железной руды и мартеновских шлаков идентичны, различны лишь генераторы электромагнитных полей: магнитный сепаратор для железной руды и подвесной железоотделитель для шлаков.

##### 3.1.1 Магнитный сепаратор ЭВС-10/5

Для проведения магнитного обогащения применялся магнитный сепаратор ЭВС-10/5 2013-го года выпуска. Согласно правилам индексации сепараторов он является электромагнитным валковым сепаратором для сухой сепарации с диаметром валка 10 см и его длиной – 5 см. Схема устройства этого сепаратора представлена на рис. 13.

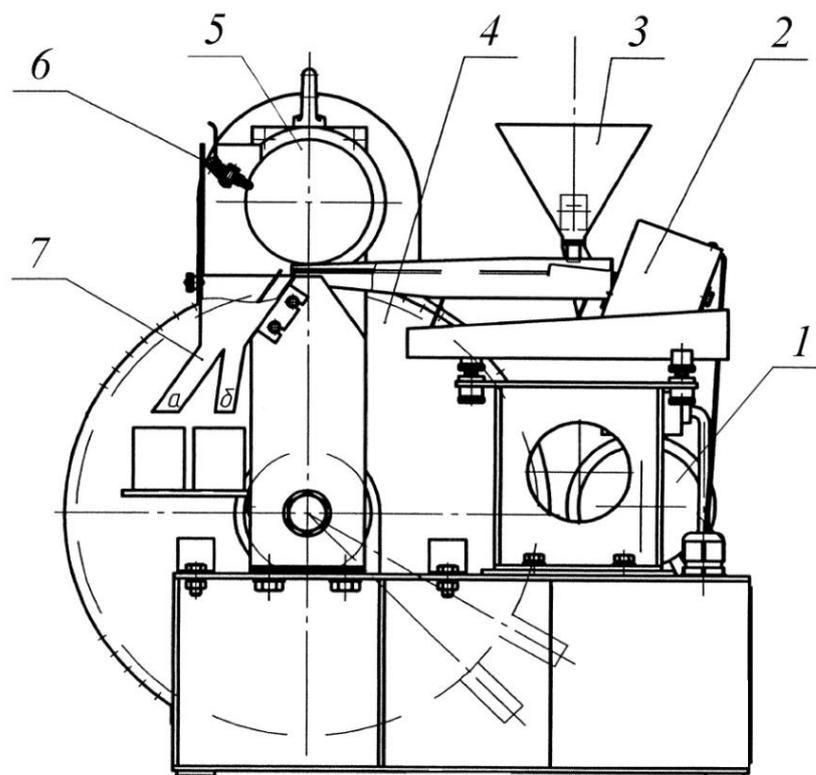


Рисунок 13 – Схема устройства магнитного сепаратора ЭВС-10/5:

1 – электродвигатель; 2 – вибропитатель; 3 – бункер питания; 4 – ограждение;  
5 – валок; 6 – скребок; 7 – каналы для продуктов

Сепаратор ЭВС-10/5 предназначен для разделения руды с крупностью зерен 0,3-2 мм в магнитном поле с индукцией не менее 1,7 Тл и с диапазоном вариации силы тока в обмотке 1-12 А.

Для магнитного разделения мартеновских шлаков над конвейерами устанавливают подвесные железоотделители с непрерывным отводом магнитного продукта в сторону. Схема работы типового железоотделителя представлена на рис. 14.

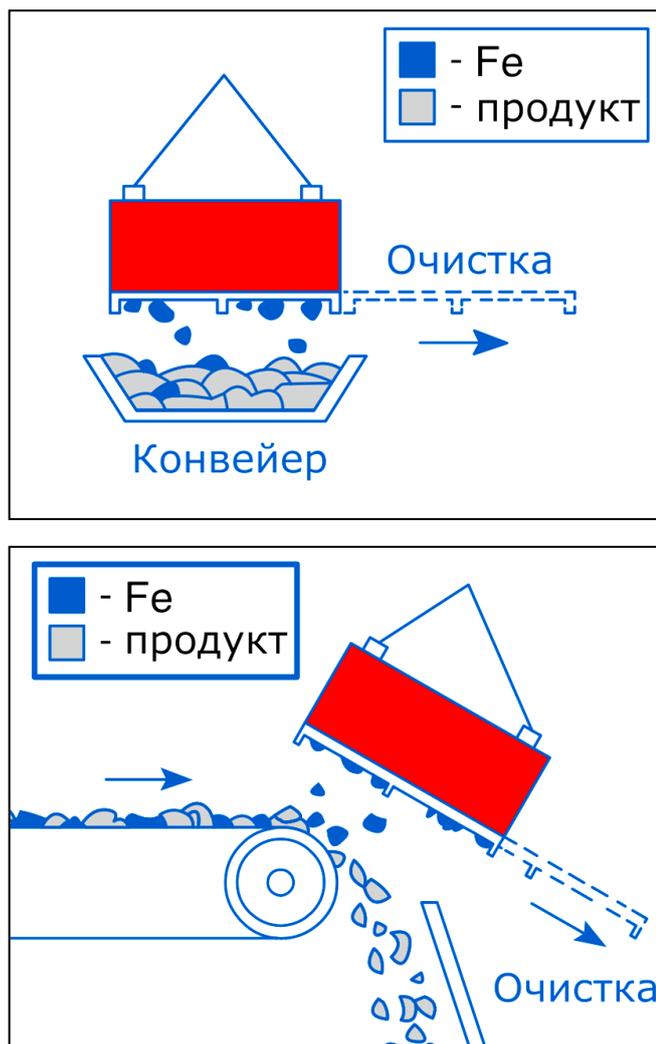


Рисунок 14 – Схема работы железоотделителя серии СПМР

Сила тока в обмотке электромагнита выбирается в диапазоне от 8 до 11А, но, как правило, она не превышает 9А во избежание повышенных энергозатрат.

## 3.2 Методика исследования

### 3.2.1 Обогащение железной руды Бакчарского месторождения методом магнитной сепарации

Для проведения сухой магнитной сепарации навеска железной руды массой 500 г, отобранная в 2008 году методом СГД, была просеяна на наборе сит для определения ее гранулометрического состава. Результаты этого анализа показаны на рис. 15.

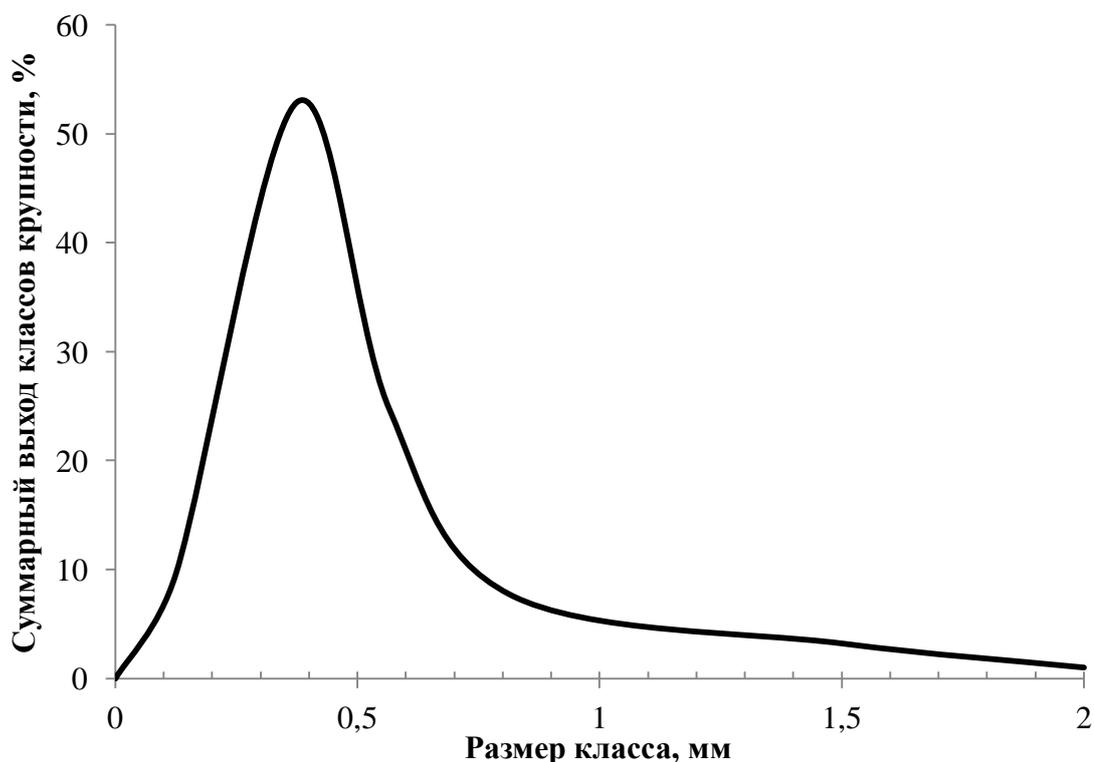


Рисунок 15 – Гранулометрическая характеристика навески железной руды

Порядок проведения процесса сепарации соответствовал методике [31] и заключался в следующем: навеска железной руды массой 60 г (класс крупности  $-0,63 +0,5$  мм) подавалась в рабочую зону устройства, где в магнитном поле разделялась на магнитную и немагнитную составляющие. После проведения цикла разделения при заданной силе тока в обмотке магнитный концентрат взвешивался на лабораторных весах и возвращался в исходную навеску. Затем та же навеска вновь подвергалась разделению при

линейно возрастающей силе тока в обмотке (а, следовательно, и напряженности магнитного поля) при неизменных прочих параметрах.

Для химического анализа получаемых магнитных концентратов на содержание общего железа из каждой магнитной фракции отбиралась доля массой 2 г.

После завершения цикла обогащения была применена схема магнитной доочистки руды. Для этого исходная навеска руды подвергалась сепарации при силе тока в обмотке 4А, затем полученный концентрат повторно сепарировался при той же силе тока.

Содержание общего железа в полученных концентратах определялось бихроматным методом химического анализа по ГОСТ 22772.4-96. Для этого навеска железорудного концентрата массой 0,5 г растворялась в смеси соляной кислоты и концентрированного хлорида олова  $\text{SnCl}_2$ . После растворения ионы трехвалентного железа  $\text{Fe}^{+3}$  восстанавливались до  $\text{Fe}^{+2}$  разбавленным раствором хлорида олова, затем образовавшаяся система  $[\text{FeCl}_2 + \text{SnCl}_4]$  прибавлялась к раствору серной кислоты. После добавления органического индикатора дифениламинсульфоната натрия железосодержащая система титровалась 0,1н раствором бихромата калия до достижения точки эквивалентности. Расчет содержания общего железа производился по количеству затраченного бихромата. Во избежание статистических и систематических ошибок химический анализ проводился для двух параллельных навесок руды.

Статистическую и графическую обработку экспериментальных данных производили на компьютере при помощи пакетов анализа данных программных продуктов *MS Excel 2007* и *Adobe Photoshop CS6*.

### 3.2.2 Анализ технологии комплексной переработки шлаков

Путем последовательного грохочения и магнитного разделения подвесными железотделителями мартеновский шлак перерабатывают с получением восьми конечных продуктов (рис. 16).



Рисунок 16 – Продукция, получаемая при переработке мартеновских шлаков

Переработка мартеновских шлаков на УИММШ-1 осуществляется по следующей технологической схеме (рис. 17).

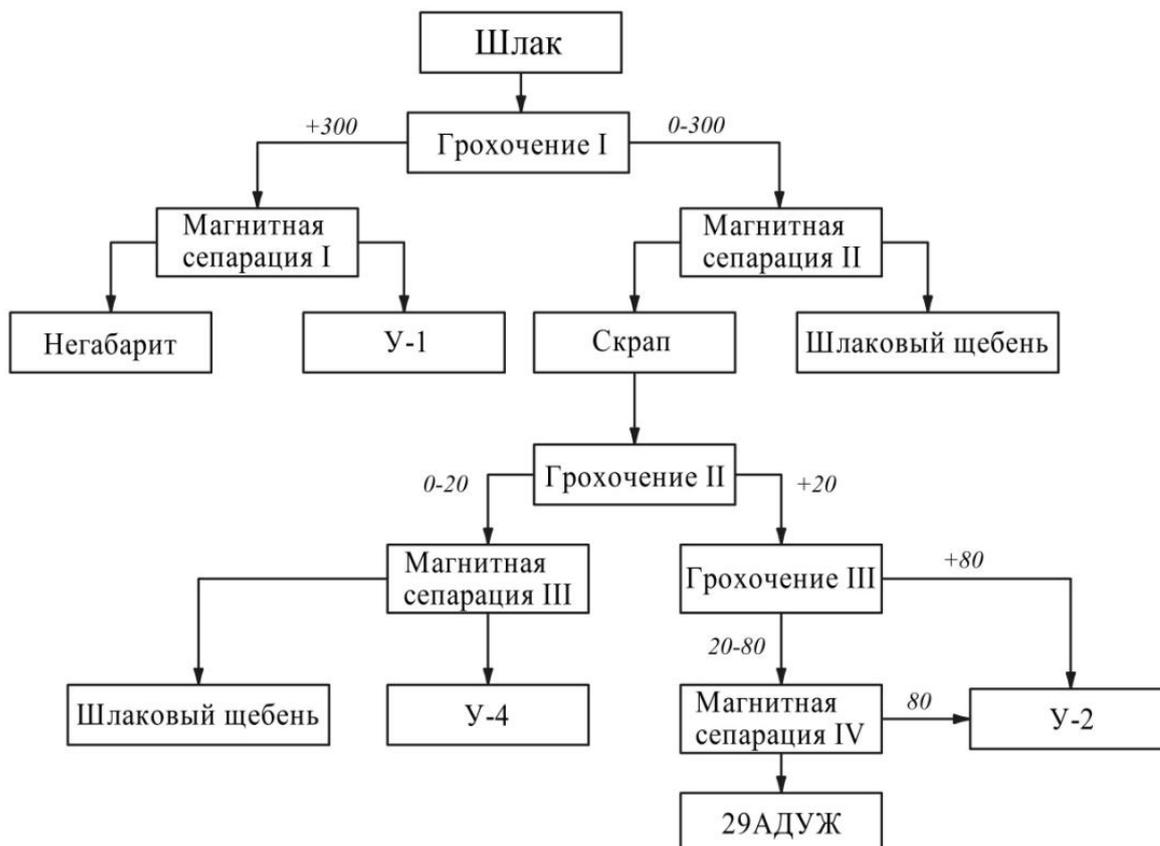


Рисунок 17 – Технологическая схема переработки мартеновских шлаков на УИММШ-1

Производство шлакостальных коржей (29ШСК) к данной схеме не относится, так как их добыча ведется индивидуально для каждого коржа. Вначале из шлака экскаваторами извлекается цельный корж, затем, в случае необходимости, он транспортируется на бойный участок цеха, где подвергается резке огнерезной машиной «Стрела» до достижения стандартных габаритных размеров ( $\leq 800 \times 1000 \times 1500$  мм).

Общая производительность ЦШП по всей продукции на 2011 год составила 251,81 тыс. тонн.

Вышеуказанная схема переработки шлаков (рис. 17) обладает двумя существенными недостатками, снижающими производительность и качество отгружаемой продукции.

### ***1 недостаток.***

После первичного грохочения, выделения фракции +300 мм и первичной магнитной сепарации кроме продукта У-1 на выходе получается значительное количество негабарита, который, тем не менее, содержит в себе металл. Ввиду отсутствия в ЦШП дробильного оборудования вскрытия негабаритных обломков не происходит, а сам негабарит отправляется в отвал. Проблема заключается в том, что слишком высокое содержание шлаков в негабарите (или, вернее, слишком низкое содержание железа) не позволяет отдельному обломку увлекаться подвесным железотделителем. Вскрытие негабаритных кусков и их измельчение до крупности менее 300 мм с возвращением в цикл переработки позволит, во-первых, сократить количество отвальной продукции и, во-вторых, закономерно увеличить производительность установки, повысив доизвлечение металла.

### ***2 недостаток.***

После первичного грохочения фракция 0-300 мм отправляется на магнитную сепарацию, однако этот гранулометрический диапазон слишком велик для эффективного разделения шлака на подфракции. Подвесной

железоотделитель работает при стабильно заданной напряженности магнитного поля (с силой тока в обмотке от 8 до 11 А), а это означает, что достаточная для одной фракции напряженность поля может быть избыточной для другой, более мелкой фракции. Таким образом, происходит переход в концентраты мелкой немагнитной фракции (увлекаемой общим потоком), а также вероятно незахватывание наиболее крупных кусков ввиду их большой массы с последующим попаданием на конвейер шлакового щебня. Вследствие этого происходит загрязнение конечных продуктов мелкой слабо- или немагнитной фракцией и потеря части магнитной фракции. Это объясняет чрезмерно высокое содержание железа в шлаковом щебне – вместо допустимых 5% масс. его содержание достигает 20% масс. Повышение напряженности магнитного поля в данном случае нецелесообразно, так как при повышении энергозатрат возрастет и захват мелкой слабо- или немагнитной фракции.

Третьим косвенным недостатком работы установки является ее непрерывность без возможности долгого простоя. К моменту анализа наступила необходимость в ремонте ячеек барабанных грохотов и замене футеровки бункера для шлака, однако без простоя на капитальный ремонт данные работы не могут быть выполнены.

### 3.2.3 Получение и применение У-1,2 и 29ШСК

Наиболее железосодержащие продукты ЦШП – У-1, У-2 и 29ШСК (более 75% масс. Fe) используются непосредственно в сталеплавильных цехах г. Новокузнецка в качестве компонента шихты. Они представляют собой металлолом, который выделяется из общей массы шлака электромагнитами и погружается в самосвалы экскаваторами, а в вагоны погрузочными электромагнитами.

Дополнительной обработке подвергаются негабаритные шлакостальные коржи, извлекаемых из толщи шлака: для соответствия их размеров требованиям 800x1000x1500 мм негабаритные коржи разрезают огнерезной машиной «Стрела» на Бойном участке ЦШП. Эта установка предназначена для прямолинейной газокислородной резки металлолома и стального скрапа толщиной до 1500 миллиметров. Нарезанные коржи имеют размеры, пригодные для использования их в конвертерном производстве (см. разд. 1.3).

Для погрузки У-2 в самосвалы на УИММШ-1 применяется гидравлический грейферный перегружатель Terex Fuchs 350, способный поднимать за раз до полутора тонн металлолома (рис. 18).

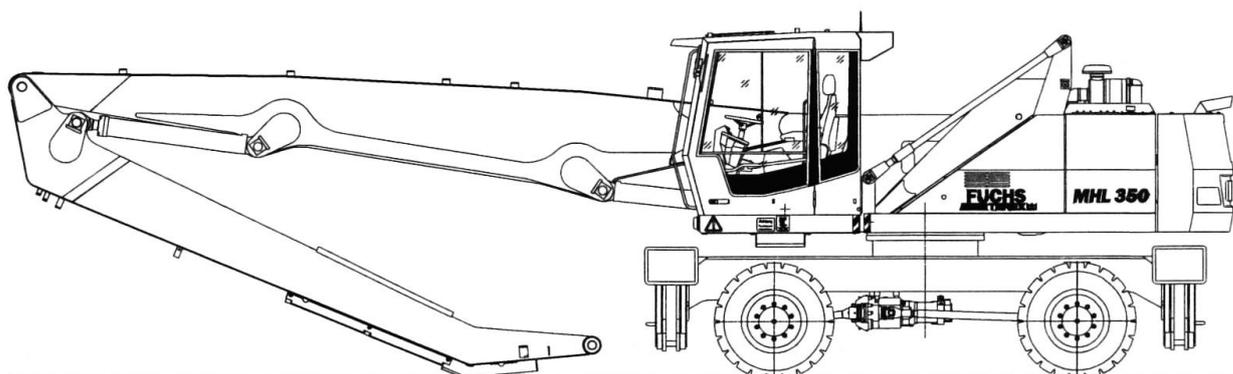


Рисунок 18 – Грейферный перегружатель Terex Fuchs 350

## 4 Результаты проведенных исследований

### 4.1 Магнитная сепарация железной руды

#### Бакчарского месторождения

Фотографический анализ магнитного концентрата, выполненный при помощи цифровой камеры *Alcatel One Touch 6040X* и программы комплексной графической обработки *Adobe Photoshop CS6*, показал, что оксиды и гидроксиды железа в руде представлены преимущественно оолитами с гладкой поверхностью (рис. 19).



Рисунок 19 – Фотография частиц железного концентрата

По результатам магнитной сепарации рабочей навески железной руды была построена графическая зависимость выхода магнитного концентрата от силы тока в обмотке сепаратора (рис. 20).

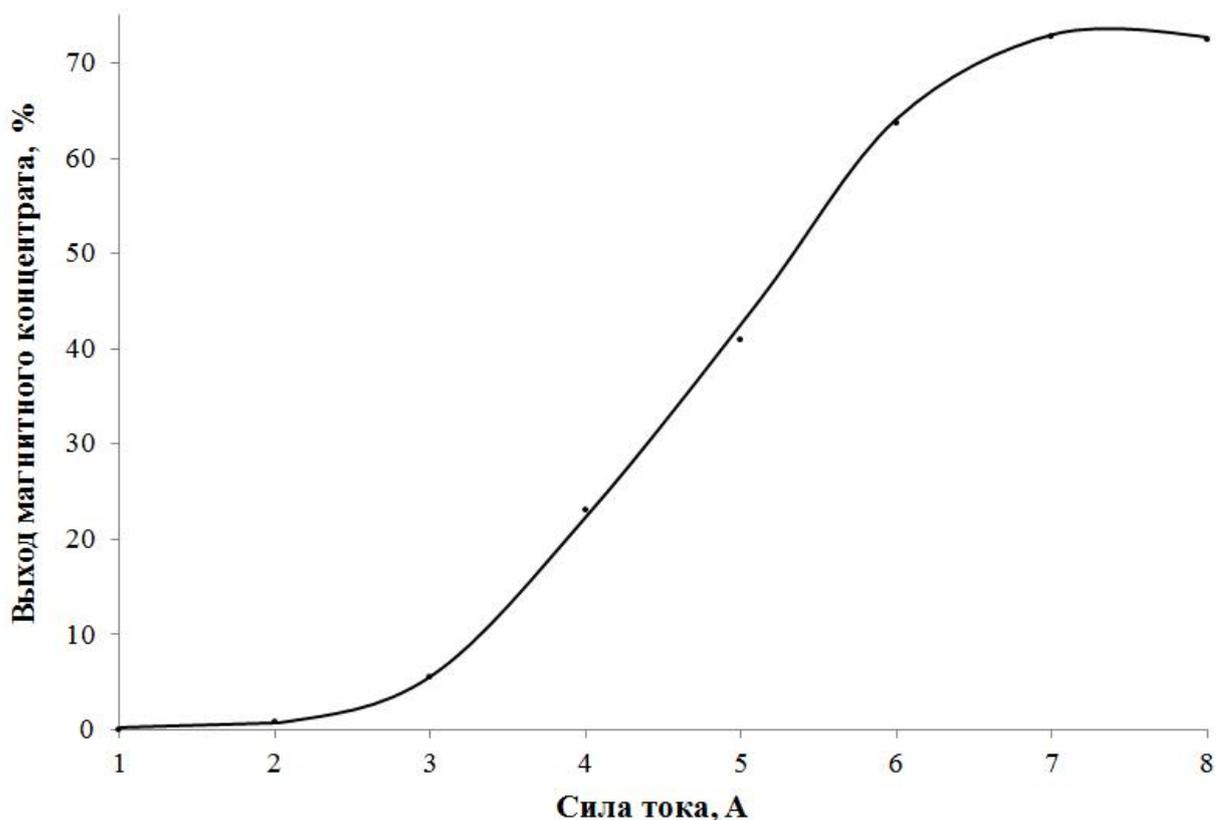


Рисунок 20 – Зависимость выхода магнитного концентрата от силы тока в обмотке сепаратора

Как видно из рис. 20, выделение магнитного концентрата начинается после силы тока, равной 2А, т.к. до этого значения магнитной силы недостаточно для разделения магнитных и диамагнитных частиц. После силы тока 3А выход концентрата резко возрастает, но после отметки 6А эта тенденция замедляется, и, достигнув максимума при 7А, выход железистой фракции принимает постоянное значение. Такой характер кривой позволяет отнести ее к так называемому «классическому» типу, описанному в указаниях [31,53,54].

Выход концентрата при 7А достигает 72,8%, однако это не означает, что из исходной руды в концентрат перешло эквивалентное количество магнитных соединений. Такое значение выхода говорит лишь о переносе магнитным полем в концентрат диамагнитных частиц пустой породы (преимущественно кварца). В плотном потоке отклонение существенной части (от 10%) магнитных частиц с помощью поперечной магнитной силы

дает в результате отклонение всего потока [55], что отрицательно влияет на чистоту конечной магнитной фракции, вынуждая проводить стадии доочистки концентрата.

Как уже было отмечено выше, значения массового выхода концентрата не являются основными при определении эффективности обогащения, гораздо важнее знать содержание общего железа в получаемых концентратах и его зависимость от интенсивности магнитного поля при разделении (рис. 21).

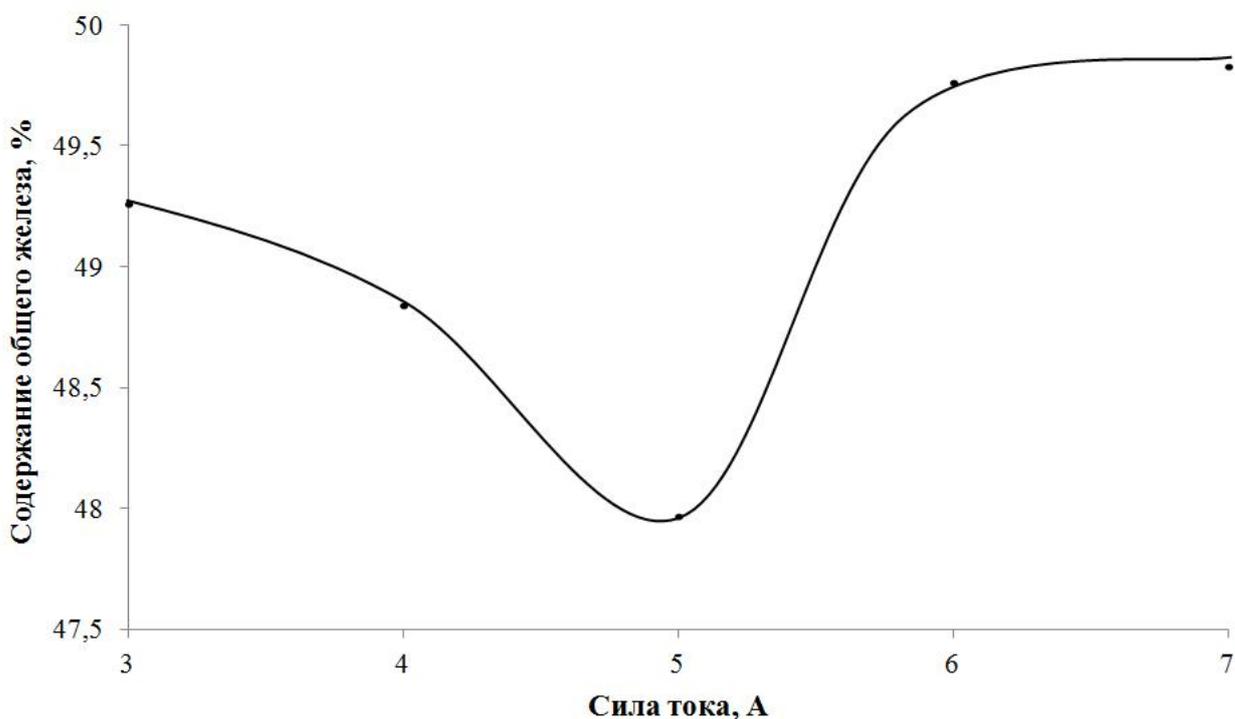


Рисунок 21 – Зависимость содержания общего железа от силы тока в обмотке

Как отмечалось выше, железная руда Бакчарского месторождения относится к богатым рудам, содержащим в природном виде до 43,9% железа, однако проведенный химический анализ показал, что до магнитного обогащения руда уже содержала в себе 46,2% железа. Вероятно, это объясняется сосредоточением железосодержащих частиц в выбранной фракции (-0,63 +0,5). Сложная форма кривой (рис. 21) объясняется особенностями отклика железосодержащих частиц на магнитное поле сепаратора. При относительно низкой силе тока 3А в первую очередь выделяются наиболее железосодержащие частицы, т.к. они обладают максимальной магнитной

восприимчивостью. Далее с увеличением силы тока в обмотке в концентрат начинают все больше переходить частицы пустой породы, снижая качество концентрата. Таким образом, при 5А содержание железа в концентрате всего лишь на 1,5% превышает его содержание в исходной руде. При дальнейшем увеличении силы тока наблюдается резкое возрастание содержания железа в концентрате, т.к. в процессе сепарации начинают отделяться железорудные частицы с пониженной магнитной восприимчивостью (рудные сростки). Вид полученной зависимости подтверждается предварительным химическим анализом (по ГОСТ 22772.4-96) концентратов, полученных при равных условиях, но из другой рудной навески во избежание систематической ошибки серии экспериментов.

В целом, максимальное изменение содержания общего железа составило 3,6% при 7А в обмотке сепаратора. Тем не менее, наибольшее содержание железа (49,8%) все еще не достигает минимально допустимого для промышленного процесса выплавки металла, что показывает необходимость в проведении доочистки руды. Также, ввиду сложного характера зависимости (рис. 21), необходимо устанавливать то значение силы тока в обмотке магнита, при котором достигается наибольшее извлечение железной фракции при минимальных энергетических затратах. По результатам серии экспериментов было установлено, что такой силе тока соответствуют значения 4А и 6А (содержание железа в концентратах 48,8% и 49,8%, соответственно).

Проведение двухстадийного обогащения (доочистки) позволило повысить содержание железа в концентрате до 49,2%, и это вынуждает совершенствовать процесс сухой магнитной сепарации или же проводить его в жидкой фазе (т.н. мокрая сепарация).

Внешнее отличие железорудного концентрата и хвостов обогащения после проведения процесса магнитной сепарации представлено на рис. 22. Концентрат имеет ярко-выраженный темный цвет из-за оксидов железа в

своем составе, в то время как хвосты обогащения, представленные обломочными породами, более светлые и частично прозрачные.



Рисунок 22 – Железная руда после магнитной сепарации:  
*а* – хвосты обогащения; *б* – железорудный концентрат

#### **4.2 Технологические решения, принятые на основе анализа действующей схемы переработки шлаков**

На основе анализа действующей технологической схемы ЦШП нами была предложена доработанная схема, которая позволяет сократить потери извлекаемого металла и повысить качество железосодержащих концентратов У-4 и 29АДУЖ.

Внешний вид схемы отображен на рис. 23.

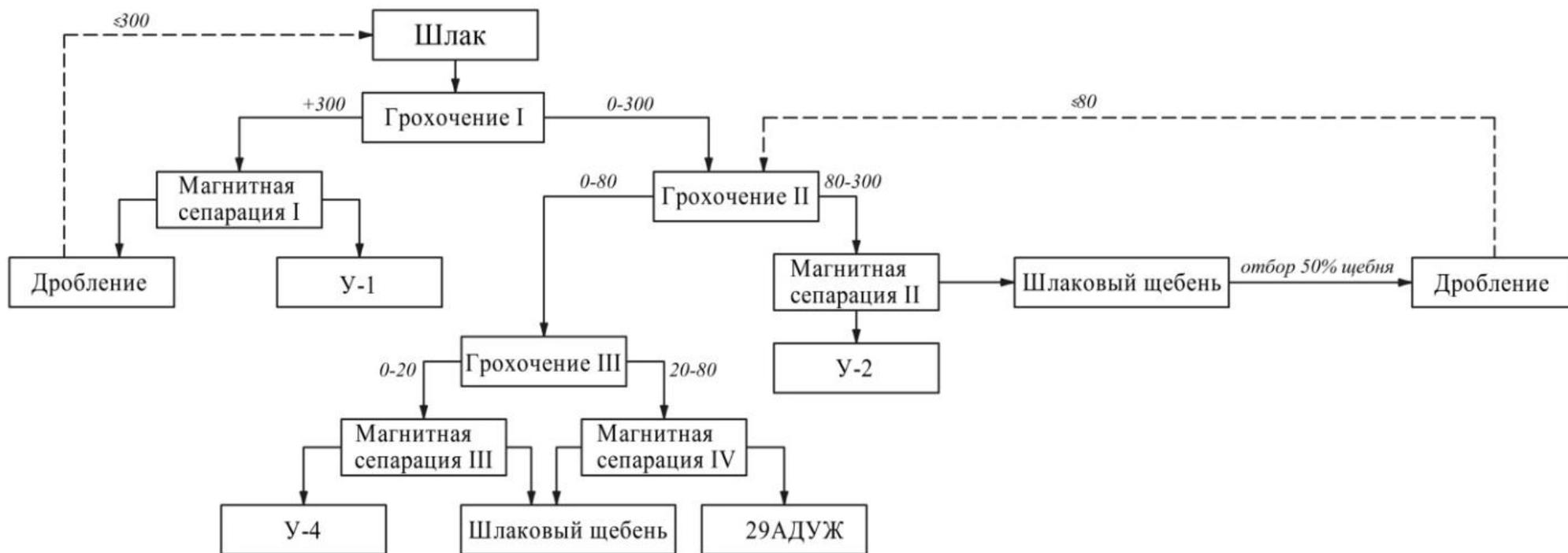


Рисунок 23 – Предлагаемая технологическая схема переработки мартеновских шлаков

По сравнению с действующим алгоритмом переработки шлаков данная схема обладает тремя принципиальными отличиями:

- после первичной магнитной сепарации фракции +300 негабарит подвергается дроблению с последующим рециклом;
- фракция 0-300 подвергается последовательному грохочению с промежуточным выделением продукта У-2 и дроблением половины массы шлакового щебня с возвратом его в цикл;
- для получения железосодержащих концентратов У-4 и 29АДУЖ фракция 0-80 подвергается разделению на две фракции размером 0-20 и 20-80 с последующей отдельной сепарацией и совместным складированием шлакового щебня.

Несмотря на многообразие выбора дробильного оборудования измельчать фракцию +300 дробилками постоянного действия не представляется возможным, так как размер отдельных кусков может превышать полтора метра в наибольшем измерении. Большие размеры кусков потребовали бы применения слишком крупных и массивных дробилок, поэтому негабарит предполагается измельчать на Бойном участке ЦШП копровой бабой с последующим возвратом в цикл самосвалами.

Дробление половины массы шлакового щебня вызвано необходимостью более полного раскрытия шлаковых кусков с, как следствие, более полным извлечением металла. Однако ввиду необходимости производства шлакового щебня как конечного продукта дроблению предполагается подвергать не более половины всей получаемой щебневой массы.

Ключевую стадию переработки шлаков – магнитное разделение – предполагается проводить или с применением саморазгружающихся подвесных железоотделителей, или используя электромагнитные валковые (барабанные) сепараторы.

## **5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

### **5.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности**

#### **проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения**

##### **5.1.1 Введение**

Целевым результатом проведенной исследовательской работы стало получение двух типов концентратов: железорудного и металлсодержащего. Принципиальное различие между ними заключается в разной природе исходного сырья. Так, железорудный концентрат получается путем переработки природной железной руды, а металлсодержащий продукт получают переработкой техногенного сырья – отходов сталелитейного производства (шлаков). Получаемые в обоих случаях концентраты с различным содержанием в них общего железа (от 35 до 90% масс.) используются в выплавке чугуна в качестве шихты (включающей в себя, как правило, железную руду, металлолом и металлсодержащий концентрат).

Концентрат, получаемый из железной руды путем магнитной сепарации, является основным компонентом шихты для доменных и мартеновских печей. Концентрат, получаемый из металлургических шлаков также путем магнитной сепарации, пригоден для любого типа печей – доменного, мартеновского, конвертерного, электросталеплавильного.

Шлаковый концентрат позволяет существенно сократить расход железной руды; его количество в шихте достигает 10-12% масс. Кроме этого, переработка металлургических шлаков способствует сокращению зашлакованных территорий и восстановлению экосистемы региона. При максимально глубокой и технологически оптимальной переработке шлаков металлургии не предполагается наличие «хвостов» обогащения: все продукты используются без остатка. Побочный продукт шлакопереработки – шлаковый щебень – пригоден для использования в дорожной строительстве.

### 5.1.2 Потенциальные потребители результатов исследования

Целевым рынком для оксидов железа (т.е. обогащенной железной руды и металлургических шлаков) является черная металлургия, восстанавливающая оксиды до железа в мартеновских, электродуговых и прочих печах. Полученное железо используется во всех областях промышленности и быта в самых различных качествах, основным из которых стали конструкционные материалы на основе железа – сталей и чугунов. Основные сегменты рынка потребления железа и его оксидов показаны на рис. 24.



Рисунок 24 – Карта сегментирования рынка применения Fe и Fe<sub>x</sub>O<sub>y</sub>

Таким образом, исходя из результатов сегментирования, можно увидеть, что черная металлургия является основным и едва ли не единственным потребителем продуктов обогащения руды и шлаков – оксидов железа. В сельском хозяйстве возможно использование лишь необогащенных шлаков, измельченных до нужного размера. Такие шлаки применяются в агрохимии в качестве удобрений.

### 5.1.3 Анализ конкурентных технических решений

При ведении собственного производства необходим систематический анализ конкурирующих разработок во избежание потери занимаемой ниши рынка. Периодический анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности позволяет оценить эффективность научной разработки по сравнению с конкурирующими предприятиями. К предприятиям-конкурентам в области обогащения полезных ископаемых можно отнести «Коршуновский горно-обогатительный комбинат» (Иркутская область) и «Нижнетагильский металлургический комбинат».

В табл. 3 приведена оценочная карта, включающая конкурентные технические разработки в области обогащения полезных ископаемых.

Таблица 3 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Б <sub>ф</sub>	Б <sub>к1</sub>	Б <sub>к2</sub>	К <sub>ф</sub>	К <sub>к1</sub>	К <sub>к2</sub>
1	2	3	4	5	6	7	8
<b>Технические критерии обогащаемого материала</b>							
1. Выход концентрата	0,3	4	5	4	1,2	1,5	1,2
2. Энергоемкость процессов	0,3	4	3	3	1,2	0,9	0,9
<b>Экономические критерии эффективности</b>							
3. Цена	0,2	5	4	4	1,0	0,8	0,8
4. Конкурентоспособность продукта	0,1	4	5	5	0,4	0,5	0,5
5. Финансирование научной разработки	0,1	3	5	5	0,3	0,5	0,5
<b>Итого</b>	<b>1</b>				<b>4,1</b>	<b>4,2</b>	<b>3,9</b>

Б<sub>ф</sub> – продукт проведенной исследовательской работы;

Б<sub>к1</sub> – «Коршуновский горно-обогатительный комбинат»;

Б<sub>к2</sub> – «Нижнетагильский металлургический комбинат».

### 5.1.4 Диаграмма Исикавы

Диаграмма причины-следствия Исикавы (Cause-and-Effect-Diagram) – это графический метод анализа и формирования причинно-следственных связей, инструментальное средство для систематического определения причин проблемы и последующего графического представления.

Область применения диаграммы:

- выявление причин возникновения проблемы;
- анализ и структурирование процессов на предприятии;
- оценка причинно-следственных связей.

Сначала формулируется существующая проблема или дефект качества. Главные категории потенциальных причин – это оборудование, материалы, человек, процессы, менеджмент, измерительные средства и т. д. Для каждой главной категории на диаграмму наносятся все вероятные причины проблемы.

Диаграмма Исикавы представлена на рис. 25.

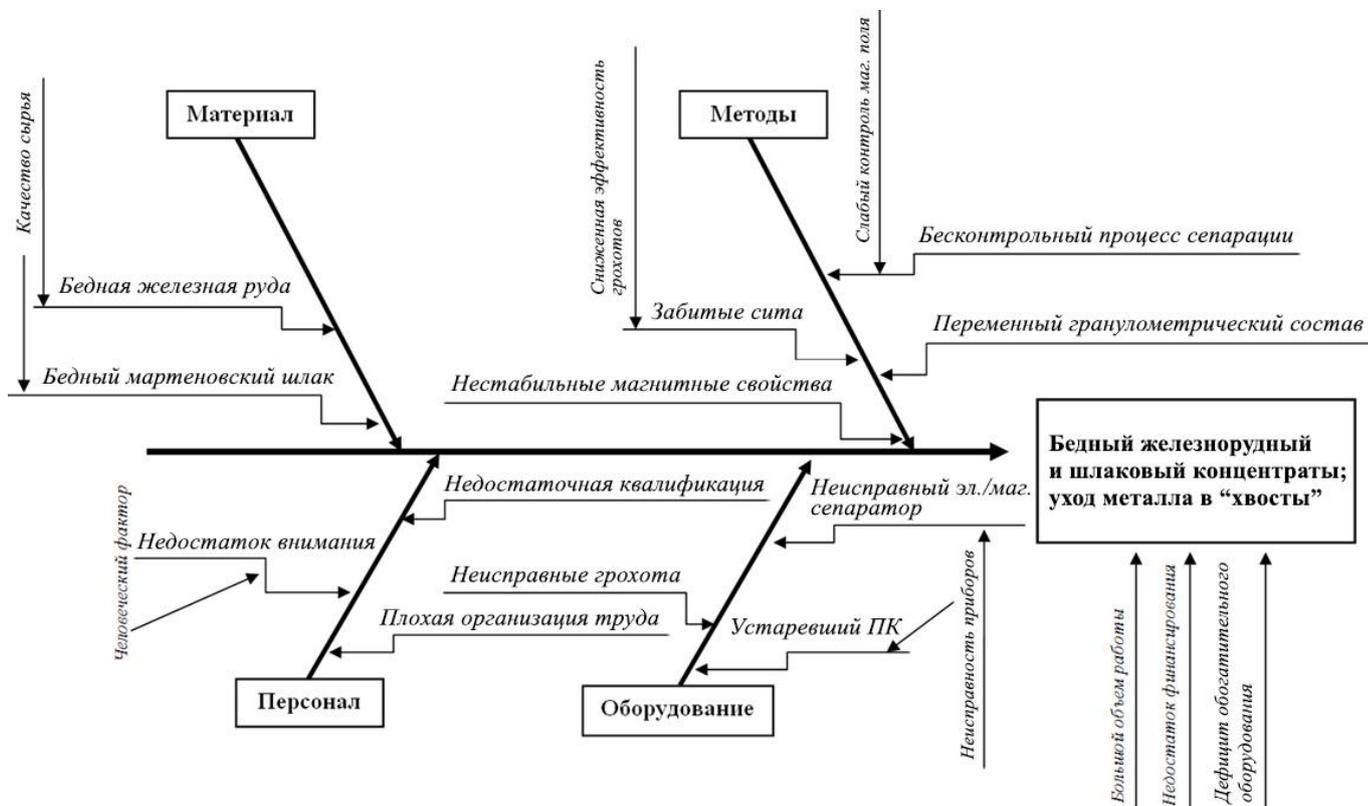


Рисунок 25 – Диаграмма Исикавы

### 5.1.5 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии календарного цикла не находилась научная разработка, уместным будет оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень собственных знаний для проведения (завершения) разработки. Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта.

Перечень вопросов приведен в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	5	5
3	Определены отрасли и технологии (товары, услуги) для предложения на рынке	5	5
4	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	3	4
5	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	5	5
6	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	4
7	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	3
8	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	5	4
9	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	3	4
10	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	3	4
11	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	1	3

12	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	4
13	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	3	5
14	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	2	5
15	Проработан механизм реализации научного проекта	3	4
	<b>ИТОГО</b>	<b>51</b>	<b>63</b>

При проведении анализа по табл. 4 каждый показатель оценивается по пятибалльной шкале. При этом системы измерения по каждому направлению (степень проработанности научного проекта, уровень имеющихся знаний у разработчика) различаются.

При оценке степени проработанности научного проекта:

- 1 балл означает непроработанность проекта;
- 2 балла – слабую проработанность;
- 3 балла – выполнено, но есть сомнения в качестве;
- 4 балла – выполнено качественно;
- 5 баллов – имеется положительное заключение независимого эксперта.

Для оценки уровня имеющихся знаний у разработчика система баллов принимает следующий вид:

- 1 – не знаком или слабо знаком;
- 2 – в объеме теоретических знаний;
- 3 – владею теорией и практическими примерами применения;
- 4 – владею теорией и самостоятельно выполняю;
- 5 – владею теорией, выполняю и могу консультировать.

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле (3):

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i, \quad (3)$$

где  $B_{\text{сум}}$  – суммарное количество баллов по каждому направлению;

$B_i$  – балл по  $i$ -му показателю.

Значение  $B_{\text{сум}}$  позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, значение  $B_{\text{сум}}$  имеет значения от 51 до 63, а это означает, что перспективность выше средней, или же разработка действительно перспективна.

Объемы инвестирования в текущую разработку низки. Увеличение этих объемов позволило бы провести более качественные и глубокие исследования.

### **5.1.6 Метод коммерциализации результатов научно-технического исследования**

Существуют различные методы коммерциализации научных разработок. На данной стадии представленной научной разработки успешному продвижению способствует торговля патентными лицензиями, с помощью которой будет достигнута передача третьим лицам интеллектуальной собственности на лицензионной основе. Не исключена и организация совместного предприятия типа «университет-производство», когда идеи первого воплощаются ресурсами второго.

При коммерциализации научно-технических разработок продавец (т.е. владелец соответствующих объектов интеллектуальной собственности) преследует вполне определенную цель, которая определяется тем, куда в последующем он намерен направить полученный коммерческий эффект. Возможных путей немало:

- получение средств для продолжения научных исследований и разработок (получение финансирования, оборудования, уникальных материалов, других научно-технических разработок и пр.);

- однократное получение финансовых ресурсов для каких-либо целей (в качестве гранта);
- обеспечение постоянного притока финансовых средств.

Допускаются и различные сочетания перечисленных возможностей. При этом время продвижения товара на рынок во многом зависит от правильности выбора метода коммерциализации. Для данной работы был выбран инжиниринг, как средство продвижения результатов исследований.

Инжиниринг предполагает предоставление на основе договора одной стороной (консультантом) другой стороне (заказчику) комплекса или отдельных видов инженерно-технических услуг, связанных с проектированием, вводом в эксплуатацию, производством продукции etc.

## **5.2 Планирование научно-исследовательских работ**

### **5.2.1 Структура работ в рамках научного исследования**

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в чей состав входят: магистрант, научный руководитель, консультант по части социальной ответственности (СО) и консультант по экономической части (ЭЧ) выпускной квалификационной работы. Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования (табл. 5)

Таблица 5 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№	Содержание работ	Должность исполнителя
1	2	3	4
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, консультанты ЭЧ и СО, магистрант

Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель, магистрант
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, магистрант,
	4	Патентный обзор литературы	Магистрант
	5	Календарное планирование работ по теме	Руководитель, магистрант
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Магистрант
	7	Проведение экспериментов	Магистрант, лаборант-технолог
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теорией	Руководитель, магистрант
Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, магистрант, лаборант-технолог
	10	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, магистрант
Разработка технической документации и проектирование	11	Разработка технологии обогащения минерального сырья	Магистрант
	13	Оценка эффективности производства и применения разработки	Магистрант, консультант по ЭЧ
	14	Разработка социальной ответственности по теме	Магистрант, консультант СО
Изготовление и испытание опытного образца	15	Получение опытного образца	Магистрант, руководитель
	16	Лабораторные испытания опытного образца	Магистрант, руководитель, лаборант-технолог
Оформление комплекта документации по ВКР	15	Составление пояснительной записки	Магистрант

## 5.2.2 Организационная структура проекта

Организационная структура проекта представлена в табл. 6.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудозатраты, час
1	Швалев Ю.Б. (доцент каф. ОХХТ)	Руководитель проекта	Отвечает за реализацию проекта, координирует деятельность участников проекта.	424
2	Ежов А.М. (магистрант каф. ОХХТ)	Исполнитель	Выполняет отдельные работы по проекту	920
3	Черного Г.Д. (лаборант каф. ОХХТ)	Лаборант	Помощь в техническом обеспечении и поставке реактивов	108
<b>Итого</b>				<b>1452</b>

### 5.2.3 Иерархическая структура работ проекта

*Иерархическая структура работ* (ИСР) – детализация укрупненной структуры работ.

На рис. 26 представлен шаблон иерархической структуры работ по проекту.

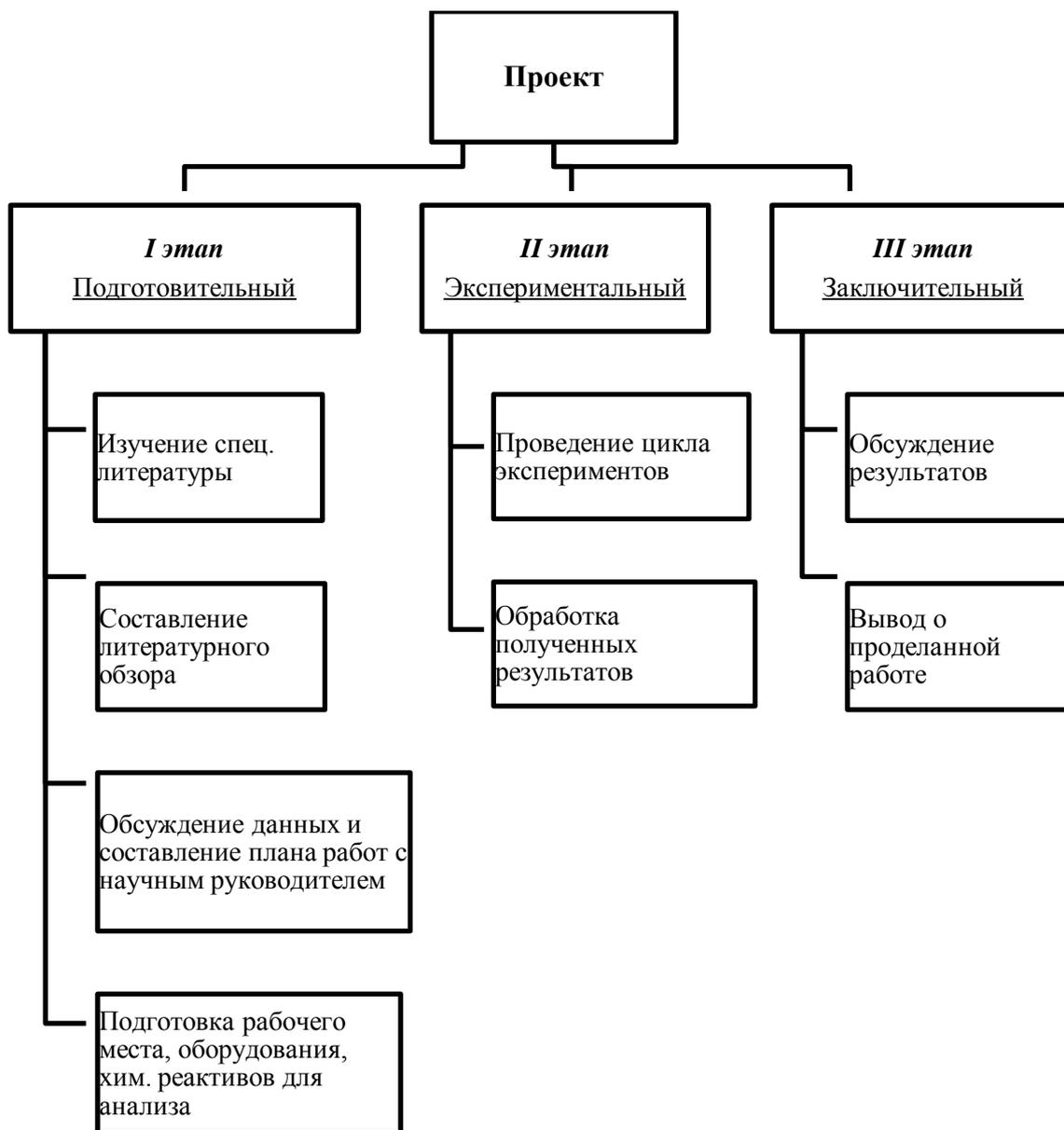


Рисунок 26 – Иерархическая структура работ проекта

## 5.2.4 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудноучитываемых факторов. Поэтому для ее расчета используются примерные ожидаемые затраты времени на различных этапах работы для каждого участника работы.

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости  $t_{ожi}$  используется формула (4):

$$t_{ожi} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (4)$$

где  $t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\min i}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы, чел. – дн.;

$t_{\max i}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$  – ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел. – дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях  $T_p$ , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (5)$$

где  $T_{pi}$  – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожi}$  – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел. – дн.;

$Ч_i$  – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

Временные показатели проведения научного исследования для каждого его участника занесены в табл. 7.

Таблица 7 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работ	Трудоемкость работы															Исполнители	Т <sub>р</sub> , раб. дн.					Т <sub>р</sub> , кал. дн.				
	t <sub>min</sub> , чел-дн.					t <sub>max</sub> , чел-дн.					t <sub>ож</sub> , чел-дн.						Руководитель	Магистрант	Конс. ЭЧ	Конс. СО	Лаборант	Руководитель	Магистрант	Конс. ЭЧ	Конс. СО	Лаборант
	Руководитель	Магистрант	Конс. ЭЧ	Конс. СО	Лаборант	Руководитель	Магистрант	Конс. ЭЧ	Конс. СО	Магистрант	Руководитель	Магистрант	Конс. ЭЧ	Конс. СО	Лаборант											
Составление технического задания	0,2	0,2	0,2	0,2	0	1	1	1	1	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0	Руководитель, магистрант, консультант ЭЧ, СО	0,1	0,1	0,1	0,1	0	0,1	0,1	0,1	0,1	0
Выбор направления исследований	0,5	0,5	0	0	0	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	Руководитель, магистрант	0,5	0,5	0	0	0	0,6	0,6	0	0	0
Подбор и изучение материалов	5	5	0	0	0	10	10	0	0	0	7	7	0	0	0	Руководитель, магистрант	3,5	3,5	0	0	0	4,2	4,2	0	0	0
Патентный обзор литературы	0	7	0	0	0	0	10	0	0	0	0	8,2	0	0	0	Магистрант	0	8,2	0	0	0	0	9,8	0	0	0
Календарное планирование работ по теме	1	1	0	0	0	2	2	0	0	0	1,4	1,4	0	0	0	Руководитель, магистрант	0,7	0,7	0	0	0	0,8	0,8	0	0	0
Проведение теоретических расчетов и обоснований	0	3	0	0	0	2	5	0	0	0	0	3,8	0	0	0	Магистрант	0	1,9	0	0	0	0	2,3	0	0	0
Проведение экспериментов	0	5	0	0	2	2	8	0	0	6	0	6,2	0	0	3,6	Магистрант, лаборант	0	3,1	0	0	1,8	0	3,7	0	0	2,2

Продолжение табл. 7

Сопоставление результатов с теоретическими исследованиями	2	3	0	0		3	5	0	0		2,4	3,8	0	0	0	Руководитель, магистрант	1,2	1,9	0	0	0	1,4	2,3	0	0	0
Оценка эффективности результатов	3	5	0	0	1	4	6	0	0	2	3,4	5,4	0	0	1,4	Руководитель, магистрант, лаборант	1,7	2,7	0	0	0,5	2	3,2	0	0	0,6
Определение целесообразности проведения ВКР	5	5	0	0	0	7	7	0	0	0	5,8	5,8	0	0	0	Руководитель, магистрант	2,9	2,9	0	0	0	3,5	3,5	0	0	0
Разработка технологии обогащения сырья	0	2	0	0	0	0	3	0	0	0	0	2,4	0	0	0	Магистрант	0	2,4	0	0	0	0	2,9	0	0	0
Оценка эффективности производства	0	5	5	0	0	0	10	10	0	0	0	7	7	0	0	Магистрант, консультант ЭЧ	0	3,5	3,5	3,5	0	0	4,2	4,2	4,2	0
Разработка СО	0	7	0	7	0	0	10	0	10	0	0	8,2	0	8,2	0	Магистрант, консультант СО	0	4,1	0	0	0	0	4,9	0	0	0
Приготовление опытного образца	3	14	0	0	0	4	28	0	0	0	3,4	19,6	0	0	0	Руководитель, магистрант	1,7	9,8	0	0	0	2	12	0	0	0
Испытания опытного образца	3	5	0	0	1	4	7	0	0	2	3,4	5,8	0	0	1,4	Руководитель, магистрант, лаборант	1,7	2,9	0	0	0,5	2	3,5	0	0	0,6
Составление пояснительной записки	0	13	0	0	0	0	16	0	0	0	0	14,2	0	0	0	Магистрант	0	14	0	0	0	0	17	0	0	0

## 5.2.5 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем, поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

В рамках планирования научного проекта построены линейный и календарный графики проекта.

Линейный график представляется в виде таблицы (табл. 8).

Таблица 8 – Календарный план проекта

Код работы (из ИСР)	Название	Длительность, дни	Дата начала работ	Дата окончания работ	Состав участников (ФИО исполнителей)
1	Составление технического задания, выбор пути работ	5	11.02.16	15.02.16	Швалев Ю.Б., Ежов А.М.
2	Подбор и изучение материалов	7	15.02.16	21.02.16	Швалев Ю.Б., Ежов А.М.
3	Патентный обзор литературы	11	21.02.16	2.03.16	Ежов А.М.
4	Календарное планирование работ	9	2.03.16	10.03.16	Швалев Ю.Б., Ежов А.М.
5	Теоретические и экспериментальные исследования, обобщение итогов	32	10.03.16	9.04.16	Швалев Ю.Б., Ежов А.М., лаборант
6	Разработка технической документации и проектирование	27	9.04.16	5.05.16	Ежов А.М.
7	Оформление комплекта документации	24	5.05.16	28.05.16	Ежов А.М.
<b>Итого</b>			<b>115</b>		

Диаграмма Ганта – это горизонтальный ленточный график (табл. 9), на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ. Данный график строится на основе табл. 8.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться формулой (6):

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6)$$

где  $T_{ki}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в календарных днях;

$T_{pi}$  – продолжительность выполнения  $i$  – й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$  – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по формуле (7):

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$  – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}} = \frac{140}{140 - 16 - 6} = 1,19.$$

Таблица 9 – Календарный план-график проведения НИОКР (диаграмма Ганта)

Вид работы	Исполнители	$T_{кп}$ , дней	Продолжительность выполнения работ														
			февраль		март			апрель			май						
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3				
Составление технического задания	Руководитель, магистрант	0,1	■														
Выбор направления исследований	Руководитель, магистрант	0,6	■														
Подбор и изучение материалов	Руководитель, магистрант	4,2		■													
Патентный обзор литературы	Магистрант	9,8		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Календарное планирование работ	Руководитель, магистрант	0,8			■	■	■	■	■								
Проведение теоретических расчетов и обоснований	Магистрант	2,3				■	■	■	■								
Проведение экспериментов	Магистрант, лаборант-технолог	3,7 2,2					■	■	■	■							
Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Руководитель, магистрант	1,4 2,3							■	■	■	■	■	■	■	■	■
Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель, магистрант, лаборант-технолог	2,0 3,2 0,6								■	■	■	■	■	■	■	■

Продолжение табл. 9

Вид работы	Исполнители	T <sub>кп</sub> , дней	Продолжительность выполнения работ											
			февраль		март			апрель			май			
			2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель, магистрант	3,5												
Разработка технологии обогащения сырья	Магистрант	2,9												
Оценка эффективности производства и применения разработки	Магистрант, консультант ЭЧ	4,2												
Разработка социальной ответственности	Магистрант, консультант СО	4,9												
Получение опытного образца	Руководитель, магистрант	2 12												
Испытания опытного образца	Руководитель, магистрант, лаборант-технолог	2												
		3,5												
		0,6												
Составление пояснительной записки	Магистрант	17												

Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО	Лаборант-технолог

## **5.2.6 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)**

В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- основная заработная плата исполнителей работы;
- дополнительная заработная плата исполнителей работы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

### **5.2.6.1 Расчет материальных затрат НТИ**

Для выполнения данной ВКР требуются материальные затраты на:

- приобретаемые со стороны сырье и материалы, необходимые для создания научно-технической продукции;
- покупные материалы, используемые в процессе создания научно-технической продукции для обеспечения нормального технологического процесса и для упаковки продукции или расходуемых на другие производственные и хозяйственные нужды;
- покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, подвергающиеся в дальнейшем монтажу или дополнительной обработке;
- сырье и материалы, покупные комплектующие изделия и полуфабрикаты, используемые в качестве объектов исследований (испытаний) и для эксплуатации, технического обслуживания и ремонта изделий – объектов испытаний (исследований).

Материальные затраты данного НТИ представлены в табл. 10.

Таблица 10 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена, руб/ед.	Затраты на материалы (амортизация), $Z_m$ , руб.
Магнитный сепаратор «ЭВС-10/5»	шт	1	418500	27900
Реагенты для хим. анализа	л	4	150	600
Лаб. посуда	Шт	10	1000	1200
<b>Итого</b>			<b>419650</b>	<b>29700</b>

Для магнитного сепаратора нужно рассчитать величину годовой амортизации по следующей формуле:

$$A_{\text{год}} = \frac{C_{\text{перв}}}{T_{\text{пи}}}, \quad (8)$$

где  $C_{\text{перв}}$  – первоначальная стоимость, руб;

$T_{\text{пи}}$  – время полезного использования, год.

Тогда величина амортизации для магнитного сепаратора будет равна:

$$A_{\text{год}} = \frac{418500}{15} = 27900 \text{ р.} \quad (9)$$

### 5.2.6.2 Основная заработная плата исполнителей работы

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НТИ, (включая премии и доплаты) и дополнительную заработную плату. Также включается премия, выплачиваемая ежемесячно из фонда заработной платы в размере 20-30 % от тарифа или оклада:

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}, \quad (11)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата;

$Z_{\text{доп}}$  – дополнительная заработная плата (12-20 % от  $Z_{\text{осн}}$ ).

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя от предприятия рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (12)$$

где  $Z_{\text{осн}}$  – основная заработная плата одного работника;

$Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб;

$T_p$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8).

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (13)$$

где  $Z_m$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M$  – количество месяцев работы без отпуска в течение года;

$F_d$  – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн.

В табл. 11 приведен баланс рабочего времени каждого работника НТИ.

Таблица 11 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Магистрант	Консультант ЭЧ	Консультант СО	Лаборант
Календарное число дней	140	140	140	140	140
Количество нерабочих дней					
выходные дни:	16	16	16	16	16
праздничные дни:	6	6	6	6	6
Потери рабочего времени					
отпуск:	0	0	0	0	0
по болезни:	0	0	0	0	0
Действительный годовой фонд рабочего времени	118	118	118	118	118

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{тс} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p, \quad (14)$$

где  $Z_{тс}$  – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$  – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от  $Z_{тс}$ );

$k_d$  – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2-0,5;

$k_p$  – районный коэффициент, для Томска равный 1,3.

Расчет основной заработной платы приведен в табл. 12.

Таблица 12 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$ , руб.	$k_d$	$k_p$	$Z_m$ , руб.	$Z_{дн}$ , руб.	$T_p$ , р. дн.	$Z_{осн}$ , руб.
<b>Руководитель</b>							
ППС3	23264,9	0,35	1,3	39922,5	1487,6	14	20826,4
<b>Магистрант</b>							
ППС1	14874,5	0,35	1,3	25524,6	945,4	62	58614,8
<b>Консультант ЭЧ</b>							
ППС3	20080,9	0,35	1,3	34458,8	1276,3	3,6	4594,7
<b>Консультант СО</b>							
ППС3	20080,9	0,35	1,3	34458,8	1276,3	3,6	4594,7
<b>Лаборант-технолог</b>							
ППС4	14874,5	0,35	1,3	25524,6	945,4	2,8	2647,1

Общая заработная исполнителей работы представлена в табл. 13.

Таблица 13 – Общая заработная плата исполнителей

Исполнитель	$Z_{осн}$ , руб.	$Z_{дон}$ , руб.	$Z_{зн}$ , руб.
Руководитель	20826,4	1457,9	22284,3
Магистрант	58614,8	4103,0	62717,8
Консультант ЭЧ	4594,7	321,6	4919,3
Консультант СО	4594,7	321,6	4919,3
Лаборант-технолог	2647,1	185,3	2832,4

### 5.2.6.3 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда.

Величина этих отчислений определяется по формуле (15):

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}), \quad (15)$$

где  $k_{\text{внеб}}$  – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды.

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 № 212-ФЗ для учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность установлен размер страховых взносов равный 30,5%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в табл. 14.

Таблица 14 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель проекта	20826,4	1457,9
Магистрант	58614,8	4103,0
Консультант ЭЧ	4594,7	321,6
Консультант СО	4594,7	321,6
Лаборант-технолог	2647,1	185,3
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,305	
<b>Итого</b>	<b>30400,3</b>	

#### 5.2.6.4 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование графических материалов, оплата услуг связи, электроэнергии, транспортные расходы и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 4), \quad (16)$$

где  $k_{\text{нр}}$  – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов  $k_{\text{нр}}$  допускается взять в размере 16%. Таким образом, накладные расходы на данные НТИ составляют 27148 руб.

#### 5.2.6.5 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект приведен в табл. 15.

Таблица 15 – Расчет бюджета затрат НТИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты НТИ	29700
Затраты по основной заработной плате исполнителей работы	91277,7
Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей работы	6389,4

Наименование статьи	Сумма, руб.
Отчисления во внебюджетные фонды	30400,3
Накладные расходы	27148
Бюджет затрат НТИ	157915,4

Как видно из табл. 21 основные затраты НТИ приходятся на основную заработную плату исполнителей работы.

### 5.2.6.6 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить по формуле (17):

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (17)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсо эффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;

$b_i$  – бальная оценка  $i$  – го варианта исполнения разработки.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности приведен в табл. 16.

Таблица 16 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии оценки	Весовой коэффициент, $a_i$	Шлак	Руда
Магнитная переработка + грохочение	0,30	5	5
Только грохочение (простое деление по фракциям)	0,30	4	2

Способствует росту производительности труда	0,15	3	5
Энергосбережение	0,15	4	3
Использование отходов производства в качестве сырья	0,10	4	4
<b>Итого</b>	<b>1,00</b>	<b>4,15</b>	<b>3,7</b>

$$I_{p-Исн1} = 5 \cdot 0,3 + 4 \cdot 0,3 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 4,15 \quad (18)$$

$$I_{p-Исн2} = 5 \cdot 0,3 + 2 \cdot 0,3 + 5 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 + 4 \cdot 0,1 = 3,7 \quad (19)$$

Сравнительный анализ интегральных показателей эффективности показывает, что переработка мартеновских шлаков в целом выгоднее и перспективнее, чем переработка железной руды. Это объясняется тем, что шлак является хоть и побочным, но все-таки продуктом черной металлургии, который не нуждается в добыче и подготовке к обогащению. Железная руда, напротив, нуждается в добыче из глуболежащих слоев почвы и предварительной подготовке для эффективного обогащения.

## **6 Социальная ответственность**

### **6.1 Введение**

Обогатительные процессы, рассматриваемые в рамках данной ВКР, отличаются своей значительной автоматизацией, уменьшающей долю ручного труда в регулировании технологических параметров. Основная работа в обогатительном цехе заключается в управлении силовыми и транспортными установками, такими как конвейеры, сортировочные барабаны и электромагниты.

Данные установки не требуют большого количества обслуживающего персонала ввиду своей автоматичности, однако из-за нестабильного гранулометрического состава обогащаемого материала нередко возникают случаи закупорки сит грохочения. В таких случаях прочистку сит ведут вручную, выбивая застрявшие в ячейках куски шлака или руды. Такой тип работы предполагает непосредственное нахождение в эпицентре вибрационных и акустических возмущений, а также вблизи очагов пылеобразования. К тому же всегда есть вероятность аварийной ситуации или планово-профилактического ремонта (далее – ППР), во время которых происходит ручное обслуживание всей обогатительной системы. При этом не имеет особенного значения, с каким сырьем ведутся работы – рудой или металлургическим шлаком, так как из-за схожих физико-химических свойств методы их переработки очень близки.

В данном разделе рассматривается рабочее место операторов обогатительных установок в целях контроля производственных факторов с учетом предельно допустимых величин.

## 6.2 Описание рабочей зоны

Анализируя рабочую зону, можно выделить следующие вредные факторы обогатительных установок:

- мощные электромагнитные излучения;
- виброакустический фон, вызванный механизмами подачи питания, привода рабочего барабана;
- запыленность рабочей зоны;

Основной опасностью является близость к источникам электрического тока высокого напряжения (до 380 В) и силы тока (до 12 А). Теперь стоит рассмотреть каждый вредный фактор в отдельности.

### 6.2.1 Электромагнитные поля

Электромагнитное излучение – это распространяющиеся в пространстве возмущения электромагнитного поля (ЭМП).

По причине того что магнитным сепараторам (или железоотделителям) для работы необходимо создание магнитных полей в рабочей зоне прибора этот фактор должен учитываться в первую очередь.

Электромагнитное излучение может оказывать отрицательное воздействие на организм человека и других живых существ, а также негативно влиять на работу электрических приборов. Разные виды излучений электромагнитных полей, оказывают разное физиологическое воздействие.

Существуют национальные и международные нормативы уровней ЭМП для еще незанятой зоны и на рабочих местах. Так, в РФ действует СанПиН 2.2.4.1191-03, определяющий допустимые значения силы магнитных полей (МП) в рабочей зоне предприятия. В табл. 17 указаны предельно допустимые уровни (ПДУ) напряженностей магнитных полей (МП) при частоте поля 50 Гц.

Таблица 17 – ПДУ воздействия периодического магнитного поля частотой 50 Гц

Время пребывания, ч	Допустимые уровни МП, Н [А/м] / В [мкТл] при воздействии:	
	общем	локальном
< 1	1600 / 2000	6400 / 8000
2	800 / 1000	3200 / 4000
4	400 / 500	1600 / 2000
8	80 / 100	800 / 1000

Самым эффективным средством коллективной защиты от электромагнитного излучения являются экранирующие стены и перегородки, способные ослаблять сравнительно длинные волны магнитных систем. Стальные экраны-перегородки, установленные на конвейерах, частично ослабляют воздействие поля на рабочих, так как среднее значение напряженности в рабочей зоне железоотделителя составляет 30-50 кА/м.

Наиболее эффективному ослаблению степени влияния МП на рабочего способствует удаленность железоотделителя от рабочего места оператора (более 5 м от поста рабочего). В таком случае индивидуальные средства защиты оказываются нецелесообразны. По тому же СанПин 2.2.4.1191-03 защитная одежда (если предполагается ее использование) должна изготавливаться из металлизированной ткани и иметь санитарно-эпидемиологическое заключение.

### 6.2.2 Вибрации

Малые механические колебания, возникающие в упругих телах или телах, находящихся под воздействием переменного физического поля, называются вибрацией. Причиной возбуждения вибраций являются возникающие при работе машин и агрегатов неуравновешенные силовые

воздействия. При действии на организм общей вибрации страдает в первую очередь нервная система и анализаторы: вестибулярный, зрительный, тактильный.

Источником вибраций в цехе магнитного обогащения являются барабаны сортировки и электромагнитной системы, а также система подачи руды в бункеры установок. Виброускорения и виброскорости в этих процессах имеют довольно широкий диапазон значений, что не позволяет отнести их к какой-либо одной группе.

В РФ действуют ГОСТ 12.1.012-90 и СН 2.2.4/2.1.8.566-96 (см. разд.2).

К коллективным способам защиты от вибрации следует отнести процессы совершенствования рабочих машин, применение их виброизоляции (демпфирующие опоры, экраны и т.д.) и рациональное размещение работающих приборов. К СИЗ относятся наушники и виброгасящие рукавицы.

### **6.2.3 Шумы**

Шумовое заполнение среды на рабочем месте неблагоприятно воздействует на работающих: ослабевает внимание, возрастает расход энергии при физической нагрузке, понижается скорость психических реакций и т.п. В результате снижается производительность труда, а организму рабочего наносится ущерб, как моральный, так и физический.

Знание физических закономерностей процесса излучения и распространения шума позволит принимать решения, направленные на снижение его негативного воздействия на человека.

Источником шумов в цехе шлако- и рудопереработки являются практически все рабочие системы: многочисленные приводы барабанов и конвейеров, удары кусков породы при грохочении, переменные шумы дизельных двигателей самосвалов и погрузчиков, разгружающих приемные бункера. Модернизация вышеперечисленных механизмов хоть и способна

снизить уровень шумов, но решить проблему в корне невозможно из-за специфики производства.

Уровень шумов на рабочих местах регламентирует СП 51.13330.2011 «Защита от шума». По этому стандарту эквивалентный уровень звука в кабине оператора производственной установки не должен превышать 65 дБ. В Цехе шлакопереработки, рассматриваемом в данной работе, такое ограничение выдерживается, т.к. наиболее шумные места участка (грохота и железоотделители) равноудалены друг от друга и от кабины оператора.

К средствам коллективной защиты можно отнести звукоизоляцию открытых частей установок и использование гибких переходов между работающими деталями машин. СП 51.13330.2011 ограничивает уровень звука на рабочих местах производственного предприятия значением в 85 дБ. Также рабочим рекомендуется периодический отдых в специально отведенных местах («вахтовках») со звукопоглощающими стенами (толстые листы ДСП + шумоизоляционные экраны). Для индивидуальной защиты от шумов эффективны наушники, однако без радиосвязи такое средство лишь затруднит вербальные коммуникации.

#### **6.2.4 Вредные вещества**

Работа с минеральной рудой особенно при ее магнитном обогащении неизбежно приводит к выбросам пыли в рабочую зону. Особенно велико выделение пыли непосредственно в процессе обогащения, когда из рабочего зазора магнитного сепаратора выходят большие количества тонкодисперсной пыли.

Производственная пыль может оказывать токсическое, фиброгенное и раздражающее действие на организм человека. Различают пыли неорганические и органические. Водонерастворимые аэрозоли (пыль, дым, туман) могут содержать взвесь частиц угля, силикатов, оксидов металлов; 80-

90% таких крупных частиц задерживается в верхних дыхательных путях, 70-90% легких частиц поступают в альвеолы [57].

Попадающие в организм человека химические вещества и пыль приводят к нарушению здоровья в случае, если их количество в воздухе рабочей зоны превышает определенную для каждого вещества величину, поэтому для предупреждения профессиональных заболеваний необходимо установить их предельно допустимые концентрации.

ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны указаны в ГН 2.2.5.1313-03, а также в ГОСТ 12.1.005-88, согласно которому для железорудных окатышей (компонента железной руды)  $ПДК = 4 \text{ мг/м}^3$  пыли с примесью диоксида кремния  $\text{SiO}_2$  от 2 до 10% .

К средствам индивидуальной защиты от запыленности рабочей зоны относятся респираторы фильтрующего типа, выбор которых устанавливается ГОСТ 12.4.189-99, а также спецодежда, не допускающая попадания пыли на кожные покровы рабочего. Для коллективной защиты персонала цеха от влияния пыли необходимо контролировать влажность обогащаемого материала (при сепарации), т.к. слишком сухая порода приводит к сильной запыленности рабочей зоны.

### **6.2.5 Опасные проявления факторов производственной среды**

На обогатительном предприятии могут быть выявлены следующие проявления опасных факторов:

- механические опасности;
- электробезопасность;
- пожаробезопасность.

Опасности механической природы исходят от движущихся деталей обогатительных и сортировочных установок (например, двигателей и их

приводов), могущих повредить персоналу цеха. Таким образом, следует устанавливать защитные экраны на быстровращающиеся элементы установок.

Обогатительные установки помимо высокого напряжения питания (380В) требуют значительной силы тока (до 12А в электромагнитах сепараторов и железоотделителей). При непосредственном контакте человека с источниками такого тока возможны локальные ожоги и нарушения работы организма вплоть до его смерти. Электробезопасность на рабочем месте контролируется ГОСТ 12.1.019-79, согласно которому во избежание поражения электрическим током следует применять такие технологические приемы, как заземление, зануление, защитное отключение, контроль изоляции. Эти приемы можно отнести к коллективным средствам защиты.

К индивидуальным средствам защиты относятся изолирующая одежда (при монтаже токоведущих частей установок) и соблюдения техники безопасности на рабочем месте.

Пожаробезопасность включает в себя риски от возгорания изоляции тоководов. Организационные и организационно-технические мероприятия по обеспечению взрывобезопасности должны включать осуществление контроля и надзора за соблюдением норм технологического режима, правил и норм техники безопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности [58]. Так как все обогатительные установки являются потребителями электрического тока, есть риск накопления на их поверхности статического заряда, способного вызвать возгорание горючих сред (например, углеводородов, используемых в качестве топлива или смазки). Электростатическая искробезопасность должна обеспечиваться за счет создания условий, предупреждающих возникновение разрядов статического электричества, способных стать источником зажигания объектов защиты [59].

Около потенциально опасных участков цеха должны находиться углекислотные или порошковые огнетушители, а персонал обязуется знать правила пожарной безопасности.

## **6.3 Охрана окружающей среды**

### **6.3.1 Защита селитебной зоны**

Для защиты санитарно-защитной зоны следует правильно размещать обогатительное предприятие с учетом производимых им факторов. Фабрики обогащения производят достаточно сильные шумы, вызванные процессами дробления и грохочения твердых пород, что вынуждает выбирать дислокацию в отдалении от жилой зоны. При этом зачастую обогатительные предприятия строят непосредственно на месте добычи для исключения затрат на перевозку руды, что само собой отделяет фабрику от жилой зоны.

При проектировании конструкции обогатительного предприятия нужно учитывать сильные вибрационные нагрузки от оборудования (дробилок, грохотов), поэтому у здания должен быть прочный фундамент, на котором будут крепиться данные устройства.

### **6.3.2 Воздействие на атмосферу**

Так как основные установки для подготовки и обогащения руд работают на электрическом токе, то выбросов продуктов сгорания топлива на предприятии нет. При обогащении также не выделяются вредные газообразные вещества, потому что нет разложения исходного сырья.

Однако сухая переработка руды неминуемо вызовет запыленность рабочей зоны, воздух из которой будет выводиться наружу, поэтому эти выбросы нужно подвергать очистки от пыли. Эффективными устройствами отделения твердых частиц из газа являются циклоны, которые можно устанавливать после воздухопроводов цеховой зоны.

Основным источником выбросов в атмосферу является подвижный парк предприятия: самосвалы, фронтальные погрузчики, перегружатели и тепловозы (для транспортировки готовой продукции). Дизельные двигатели этой техники должны соответствовать федеральным экологическим

требованиям, а ответственность за чистоту выхлопа возложена на завод-производитель.

### **6.3.3 Воздействие на гидросферу**

Обогатительное производство имеет дело с рудными природными или техногенными материалами, подвергаемыми сухой переработке, поэтому на гидросферу не оказывается никакого влияния. Места добычи сырья, как правило, не совпадают с местами скопления грунтовых вод, тем более что сама добыча происходит механическим путем, без использования каких-либо реагентов. Более того, обогатительные предприятия стараются возводить вдали от водных скоплений, потому что гидросфера менее всего совместима с рудопереработкой.

### **6.3.4 Воздействие на литосферу**

Переработка минерального сырья характеризуется значительными количествами твердых отходов обогащения. Все «хвосты», получаемые после процессов разделения, как правило не имеют высокой технологической ценности, поэтому после доочистки их отправляют в отвалы.

Самой частой примесью руд является диоксид кремния – кварцевый песок ( $\text{SiO}_2$ ), который составляет основную долю отходов обогащения. Во избежание чрезмерного расширения отвалов рациональной станет переработка минеральных отходов. Так, например, кварцевый песок можно направлять на строительные предприятия (как компонент строительных смесей) и предприятия стекольной промышленности. Шлаковый щебень, получаемый при переработке металлургических шлаков, пригоден для использования в дорожном строительстве в качестве заполнителя.

В остальных случаях, когда целесообразное использование твердых отходов невыгодно или невозможно, вполне осуществима засыпка ими

отработанных мест добычи. Это сохранит большие природные площади и установившуюся экосистему региона. Еще одним источником загрязнений литосферы является, как и в п. 6.3.2, автопарк предприятия. Периодические замены моторных и гидравлических масел сопровождаются случаями пролития средств ГСМ и приводят к долгосрочным загрязнениям почвы; особенно это характерно для таких машин как перегружатели, объем гидромасел в которых достигает 360 л.

Для защиты территорий от чрезмерного накопления твердых отходов в настоящее время используют сбор промышленных отходов на полигонах. Полигоны создают в соответствии с требованиями СНиП 2.01.28-85 и используют для обезвреживания и захоронения токсичных отходов промышленных предприятий, НИИ и учреждений [60].

### **6.3.5 Обеспечение экологической и трудовой безопасности**

На предприятии, работающем в сфере обогащения полезных ископаемых, должны быть предусмотрены специальные режимы работы, т.к. эта область промышленности относится к трудоемкой и в некоторых случаях вредной для здоровья. Поэтому при работе в условиях повышенной сложности (например, при обогащении пылящих материалов) или плотного графика смены должны применяться режимы сокращенного рабочего дня, аспекты которого оговариваются с руководством данного предприятия.

Контроль над охраной труда должен осуществляться специальной комиссией, которая наблюдала бы за рабочей обстановкой каждого цеха и докладывала о нарушениях руководству предприятия. Таким образом, в каждом цехе должен быть сотрудник комиссии по охране труда, передающий информацию председателю данной комиссии (или его заместителю), а тот в свою очередь непосредственно управлению предприятия.

Также на территории предприятия должны присутствовать сотрудники службы производственного контроля, отслеживающей

выполнение санитарных правил и санитарно-противоэпидемических мероприятий. Принцип сбора информации и передачи ее руководству обогатительной фабрики такой же, как у комиссии по охране труда.

Общественный экологический контроль должен проводиться профсоюзными или общественными организациями, которые наблюдали бы за состоянием атмо-, гидро- и литосферы санитарно-защитной и селитебной зон.

Государственное управление в условиях чрезвычайных ситуаций осуществляется на базе Единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. Территориальная подсистема предназначена для предупреждения и ликвидации ЧС на подведомственной территории и включает в себя координационный орган – комиссию по чрезвычайным ситуациям на подведомственной территории обогатительного предприятия. Также эта комиссия решает финансовые, медицинские, информационные и продовольственные проблемы, связанные с возникновением ЧС.

#### **6.4 Защита в чрезвычайных ситуациях**

Возможные ЧС на обогатительном предприятии и прилегающих территориях:

- обрушение производственных зданий (от ударного влияния оборудования);
- выход из строя системы энергоснабжения предприятия;
- опустынивание суши (из-за карьерной разработки местности).

Наиболее типичными ЧС становятся неполадки в системе энергоснабжения предприятия, т.к. оно является мощным потребителем электроэнергии. Также всегда есть риск нарушения заземления установки, что может привести к поражению электрическим током оператора машины,

поэтому к производственному оборудованию применяются специальные требования безопасности, отображенные в ГОСТ 12.2.003-91.

Таким образом, во избежание вышеперечисленных факторов опасности следует периодически наблюдать за техническим состоянием обогатительных установок на предмет их неисправностей. Помимо этого каждый имеющий право работать на данных установках должен быть проинструктирован и ознакомлен с техникой безопасности.

Около каждой установки обогащения должен быть автомат аварийного отключения электроэнергии, а в электрической цепи присутствовать устройство защитного отключения (УЗО). Так как при повреждении изоляции соединительных проводов возможно возгорание проводки, то рядом с установкой должен находиться исправный огнетушитель.

Соблюдение всех вышеперечисленных требований позволит максимально снизить риски возникновения или развития чрезвычайных ситуаций на рабочем месте и уберечь предприятие от затрат на ремонт оборудования.

## **6.5 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

Рабочее место технолога описанных в разделе установок должно предусматривать свободный доступ к любой их части для контроля процесса и ремонта. Также части установки не должны загрождать пути эвакуации в случае ЧС и закрывать собой предупредительные знаки и/или сигналы.

Органы управления обогатительной установки должны быть выделены по отношению к общему фону, а рычаг аварийного отключения электроэнергии должен быть легко достигаем при работе у любой части установки.

Эргономику производственных рабочих мест регламентирует ГОСТ 21753-76 «Система человек-машина. Рычаги управления». С рычагами управления имеют дело все операторы цеховых конвейеров, поэтому их кабины должны оборудоваться в соответствии с данным стандартом. Так, например, оптимальная длина управляющих рычагов не должна превышать 50 см, а диаметр рукоятей – 4 см.

В ходе дня у технологов обогатительных машин должны иметь место периодические перерывы в работе для снижения утомляемости. так, работа магнитного сепаратора сопровождается монотонным низкочастотным гулом от электромагнитной системы и шумами движущейся породы, что усиливает необходимость в системных перерывах рабочего. Периодичность и продолжительность таких перерывов утверждается руководством предприятия совместно с органами здравоохранения. Общие требования к рабочему месту технолога определяет ГОСТ 12.2.003-91 «Оборудование производственное. Общие требования безопасности».

Рабочее место технолога также должно либо проветриваться (при малых размерах цеха), либо снабжаться воздушной вытяжкой с подачей свежего и чистого воздуха. При этом следует контролировать скорость подачи воздуха во избежание сквозняков и резких перепадов температуры, иначе велик риск простудных заболеваний.

Общие эргономические требования к организации рабочего места для основных типов работ определены в следующих стандартах:

- ГОСТ 12.2.032-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования»
- ГОСТ 12.2.033-78 «ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования».

## 6.6 Расчет освещения

При работе с обогатительными установками следует соблюдать необходимый режим освещения для более полного контроля над процессами и меньшей утомляемости персонала. Расчет требуемой освещенности проводится согласно СНиП 23-05-95.

В табл. 18 указаны общие параметры рабочего помещения (лаборатории) для проведения процессов магнитной сепарации руды.

Таблица 18 – Параметры рабочего помещения

Наименование параметра	Обозначение	Значение	
Длина	A	7 м	
Ширина	B	5 м	
Высота	H	3,2 м	
Высота рабочей поверхности	$h_{p.п.}$	1,3 м	
Требуемая освещенность	E	300 лк	
Наименование параметра	Обозначение	Значение	
Коэффициент отражения:			
	стен	$R_c$	50%
	потолка	$R_{п}$	50%
Коэффициент запаса	k	1,8	
Коэффициент неравномерности освещения	z	1,1	

Выбираем светильники типа ОД с  $\lambda = 1,2$ .

Принимаем  $h_c = 0,2$  м и получаем  $h = 3,2 - 0,2 - 1,3 = 1,7$  м.

Расстояние между соседними светильниками и от светильника до стены находим по формулам (20) и (21):

$$L = \lambda h = 1,2 \cdot 1,7 = 2,04 \text{ м}; \quad (20)$$

$$L/3 = 2,04/3 = 0,68 \text{ м}. \quad (21)$$

Размещаем светильники в два ряда, в каждом из которых установлено два светильника типа ОД мощностью 40 Вт и длиной 1,23 м, причем разрыв между светильниками в ряду составляет 1,18 м. Учитывая, что в каждом светильнике установлены две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 8$ .

Находим индекс помещения по формуле:

$$i = S/h(A + B) = 35/1,7 \cdot (7 + 5) = 1,72. \quad (22)$$

Коэффициент использования светового потока  $\eta = 0,49$ .

Световой поток лампы в таком случае равен:

$$\Phi = \frac{E \cdot S \cdot k \cdot z}{N \cdot \eta} = \frac{300 \cdot 35 \cdot 1,8 \cdot 1,1}{8 \cdot 0,49} = 5303,6 \text{ лм}. \quad (23)$$

Выбираем ближайшую стандартную лампу – ЛТБ 80 Вт со световым потоком 5200 лм и делаем проверку выполнения следующего условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{\text{л.станд.}} - \Phi_{\text{л.расч.}}}{\Phi_{\text{л.станд.}}} \cdot 100\% \leq +20\% \quad (24)$$

Получаем:

$$-10\% \leq -1,99\% \leq +20\%$$

Определяем электрическую мощность осветительной установки:

$$P = 8 \cdot 80 = 640 \text{ Вт} \quad (25)$$

План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами представлен на рис. 27.

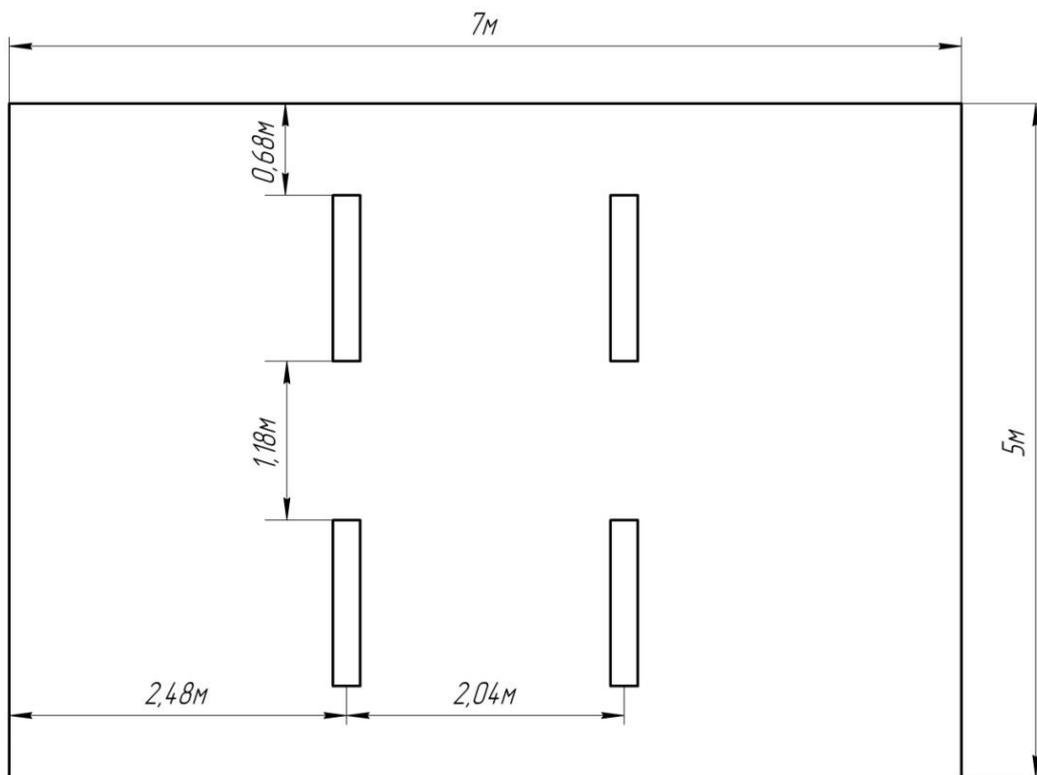


Рисунок 27 – План помещения и размещения светильников

## Заключение

С помощью оптического анализа установлено, что железонесущие частицы руды представляют собой оолиты – сфероидальные образования с гладкой поверхностью.

Изучено влияние силы тока в обмотке магнитного сепаратора на выход железного концентрата. Установлено, что при росте интенсивности магнитного поля значительно возрастает массовый выход концентрата (вплоть до 72,8%), однако основным показателем для металлургической переработки является содержание в нем общего железа. Проведенный химический анализ показал значительное уменьшение концентрации железа в навеске, полученной при 5А, что вызвано чрезмерным захватом диамагнитных частиц (кварца и сопутствующих оксидов). Максимальное содержание железа в концентрате (49,8%) достигается при 7А в обмотке сепаратора, однако целесообразно ограничить силу тока 6А во избежание излишних энергозатрат. Концентрация железа при этом практически не изменяется (49,7%), однако степени извлечения железа при 6А и 7А различаются достаточно сильно – 68,7% и 78,6%, соответственно. Таким образом, при 6А выше потери железной руды в хвостах обогащения, однако объемы залежей позволяют не ставить проблему этих потерь слишком остро (по крайней мере, в начале разработки месторождения).

Для приближения к характеристикам рядовых железорудных концентратов была проведена двухстадийная доочистка исходной руды при силе тока 4А, позволившая достичь содержания железа 49,2%. Таким образом, максимальная разница в содержании общего железа между фракцией природной руды и концентратом составила 3,6%, что ожидаемо при сухой магнитной сепарации без процесса рудоразборки после первичного обогащения. Также, учитывая сложный характер зависимости выхода концентрата от силы тока в обмотке, следует устанавливать наиболее приемлемые параметры ведения процесса. Так, при значении силы тока 4А

содержание железа в концентрате достигает 48,8%, а при 6А – 49,9%, что позволяет выбрать одно из них в качестве рабочего (особенно на фоне падения степени извлечения железа при 5А).

Для более эффективного магнитного разделения возможно применение мокрой магнитной сепарации и как независимого процесса, и непосредственно после сухого обогащения. На отечественных фабриках мокрая магнитная сепарация производится на барабанных сепараторах с полупротивоточными ваннами (исключая первую стадию, где при крупности  $-2 +0$  мм используются прямоточные или противоточные ванны) [56].

Также в ходе работы был проведен анализ технологии комплексной переработки мартеновских шлаков на примере Цеха шлакопереработки ООО «Технологии рециклинга» (г. Новокузнецк Кемеровской области). В процессе анализа было установлено, что действующая технологическая схема работы цеха имеет два существенных недостатка: отсутствие стадии дробления негабарита ( $+300$  мм) и магнитная сепарация фракции слишком широкого размерного диапазона (0-300 мм). Кроме этого, существующий алгоритм работы установок не предполагает их долгой остановки на капитальный ремонт, что провоцирует преждевременное наступление аварийного состояния. Ввиду вышеперечисленных недостатков была предложена новая доработанная схема переработки мартеновских шлаков. Это схема предполагает стадию дробления негабарита на Бойном участке цеха и учитывает особенности проведения магнитной сепарации: на каждый конечный продукт приходится одна стадия магнитного обогащения с учетом гранулометрического состава железосодержащего продукта. Поэтому перед каждым железоотделителем предполагается установка барабанного грохота.

Предлагаемая технологическая схема связана с серьезной модернизацией участка переработки шлаков, однако повышение содержания общего железа в концентратах с 35 до 45% масс. способно окупить финансовые затраты в течение двух-трех лет.

## Список публикаций студента

1. Ezhov A.M., Shvalev Y.B. Dry magnetic of iron ore of the Bakchar deposit // Procedia Chemistry. – 2015 – Vol. 15. – p. 160-166.
2. Магнитная сепарация: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая химическая технология» / Ю.Б. Швалев, А.М. Ежов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 20 с.
3. Обогащение минерального сырья. Флотация: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая химическая технология» / Ю.Б. Швалев, А.М. Ежов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 16 с.
4. Определение скорости коррозии металлов: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая химическая технология» / Ю.Б. Швалев, А.М. Ежов, А.Г. Пьянков – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 20 с.
5. Ежов А.М. Сухое магнитное обогащение железной руды Бакчарского железорудного месторождения // Проблемы геологии и освоения недр: труды XIX Международного симпозиума имени академика М. А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 70-летию юбилею Победы советского народа над фашистской Германией, Томск, 6-10 Апреля 2015. – Томск: Изд-во ТПУ, 2015 – Т. 2 – С. 260-261.
6. Ежов А.М. Обогащение железной руды Бакчарского железорудного месторождения методом сухой магнитной сепарации // Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVIII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 115-летию со дня рождения академика Академии наук СССР, профессора К.И. Сатпаева, 120-летию со дня рождения члена-корреспондента Академии наук СССР, профессора Ф.Н. Шахова, Томск, 7-11 Апреля 2014. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014 – Т. 2 – С. 259-261.

7. Ежов А.М. Флотационное обогащение модельной смеси кварцевый песок-пирит // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XV Международной научно- практической конференции студентов и молодых ученых имени профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 26-29 Мая 2014. – Томск: ТПУ, 2014 – Т. 1 – С. 45-47.
8. Ежов А.М. Влияние концентрации олеиновой кислоты на флотируемость пирита // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XVI Международной научно-практической конференции студентов и молодых ученых, посвященной 115-летию со дня рождения профессора Л.П. Кулёва: в 2 т., Томск, 25-29 Мая 2015. – Томск: ТПУ, 2015 – Т. 1 – С. 36-37.
9. Ежов А.М. Исследование железной руды Бакчарского железорудного месторождения на обогатимость // Комбинированные процессы переработки минерального сырья: теория и практика: сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 19-20 Мая 2015. – Санкт-Петербург: Изд-во Горного университета, 2015 – С. 49.
10. Крупко И.В., Ежов А.М. Гранулирование пыли, образующейся при производстве керамзита // Проблемы геологии и освоения недр: труды XVII Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых учёных, посвященного 150-летию со дня рождения академика В.А. Обручева и 130-летию академика М. А. Усова, основателей Сибирской горно-геологической школы, Томск, 1-6 Апреля 2013. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013 – Т. 2 – С. 175-176.
11. Крупко И.В., Ежов А.М. Гранулирование керамзитовой пыли // Химия и химическая технология в XXI веке: материалы XIV Всероссийской научно-практической конференции имени профессора Л.П. Кулёва студентов и молодых ученых с международным участием: в 2 т., Томск, 13-16 Мая 2013. – Томск: ТПУ, 2013 - Т. 1 - С. 53-55.

## Список используемых источников

1. Полькин С.И. Обогащение руд и россыпей редких металлов: учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Недра, 1987. – 428 с.
2. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», «Мир горной книги», 2008. – 710 с.: ил.
3. Ефименко Г.Г., Гиммельфарб А.М., Левченко В.Е. Metallургия чугуна. – Киев: «Вища школа», 1974. – 488 с.
4. Кармазин В.И. Обогащение руд черных металлов: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1982. – 216 с.
5. Кусков В.Б., Никитин М.В. Обогащение и переработка полезных ископаемых: Учебное пособие. – СПб: Санкт-Петербургский горный ин-т, 2002. – 84 с.
6. Пахомов В.П., Атаманова Е.А. Основные направления технологической модернизации в области недропользования // Экономика региона. – 2011. – № 3. – С. 202-208.
7. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс] / Бакчарское железорудное месторождение – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
8. Уилс Б.А., Барлей Р.В. Технология минерального сырья на перепутье. – М.: Недра, 1992. – 272 с.
9. Шаповалов Н.А., Загороднюк Л.Х., Тикунова И.В., Шекина А.Ю. Рациональные пути использования сталеплавильных шлаков // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 1. – С. 439-443.
10. Position Paper on the Status of Ferrous Slag: [Электронный ресурс] / Euroslag. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.euroslag.org/status-of-slag/position-papers> (дата обращения 21.04.2016)

11. Игнатова А.М. Европейский и российский законотворческий опыт в области стандартизации и регламентирования металлургических шлаков и всех процессов, связанных с ними // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8-2. – С. 269-274.
12. Jian-Guo Shen and other. Utilization of metallurgical slag as resource materials in China // *Developments in Chemical Engineering and Mineral Processing*. – 2006. – Vol. 14. – pp. 487-493.
13. World crude steel output increases by 3.5% in 2013: [Электронный ресурс] / World steel association. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.worldsteel.org/media-centre/press-releases/2014/World-crude-steel-output-increases-by-3-5--in-2013.html> (дата обращения 21.04.2016)
14. SBM Shibang Machinery: [Электронный ресурс] / SBM – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://mill-sbm.com/Solutions/117.html> (дата обращения 22.04.2016)
15. Смирнов Л.А. Переработка и использование техногенных отходов металлургического производства / Л.А. Смирнов, Л.И. Леонтьев, Ю.В. Сорокин. // *Сб. трудов международного конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов»* – Екб., 2012. – С. 15-19.
16. Карпенко Н.И. Состояние и перспективы использования продуктов переработки техногенных образований в строительной индустрии / Н.И. Карпенко, В.Н. Ярмаковский, Я.Ш. Школьник // *Сб. трудов международного конгресса «Фундаментальные основы технологий переработки и утилизации техногенных отходов»* – Екб., 2012. – С. 49-56.
17. Euroslag, Germany [Электронный ресурс] / Euroslag. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.euroslag.com/> (дата обращения 4.04.2016).
18. National Slag Association (NSA), USA [Электронный ресурс] / National Slag Association. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.nationalslag.org/> (дата обращения 4.04.2016).

19. Australasian Slag Association (ASA), Australia [Электронный ресурс] / Australasian Slag Association. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.asa/inc.org.au/> (дата обращения 4.04.2016).
20. Nippon Slag Association (NSA), Japan: [Электронный ресурс] / Nippon Slag Association. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.slg.jp/e/slag/process.html/> (дата обращения 4.04.2016).
21. Лисин В.С. Ресурсо-экологические проблемы XXI века и металлургия. – М.: Высшая школа, 1998. – 447 с.
22. Утилизация-переработка сталеплавильных шлаков: [Электронный ресурс] / Черная металлургия. Нынешнее состояние, проблемы и перспективы развития металлургии. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: [http://emchezgia.ru/ekologiya/13.3\\_Utilizatsiya\\_domennykh\\_shlakov.php](http://emchezgia.ru/ekologiya/13.3_Utilizatsiya_domennykh_shlakov.php) (дата обращения 1.04.2016)
23. Большая советская энциклопедия: в 30 т. / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3-е изд. – М.: Советская энциклопедия. – 1969-1978.
24. Стась Н.Ф. Химическая очистка железных руд от примесей: [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 1. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.science-education.ru/pdf/2013/1/7877.pdf>
25. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твёрдых полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 3-х т. – 3-е изд., стер. – М.: Издательство «Горная книга», 2008. - Т. I. Обогачительные процессы и аппараты. – 470 с.: ил.
26. Плаксин И.Н. Избранные труды. Обогащение полезных ископаемых. – М.: Наука, 1970. – 310 с.
27. Википедия – свободная энциклопедия [Электронный ресурс] / Парамагнетики – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус.
28. Зверевич В.В., Перов В.А. Основы обогащения полезных ископаемых: Учебник. – М.: Недра, 1971. – 216 с.

29. Шарлаимов В. И., Козин В. М. Экспериментальные исследования нестационарных процессов при движении сплошной среды в гравитационном поле. – М.: Академия Естествознания, 2007. – 232 с.
30. Деркач В.Г. Магнитное обогащение слабомагнитных руд. – М.: Metallurgizdat, 1954. – 296 с.
31. Магнитная сепарация: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Общая химическая технология» / Ю.Б. Швалев, А.М. Ежов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 20 с.
32. Евсеева Н.С. География Томской области. (Природные условия и ресурсы.). – Томск: Изд-во Томского ун-та, 2001. – 223 с.
33. Башлыкова Т.В. Металлургическая оценка и обоснование рациональной технологии переработки железной руды Бакчарского проявления. – М.: ООО «НВП Центр-ЭСТАГео», 2009. – 145 с.
34. Баженов В.А. Полезные ископаемые – состояние, использование и охрана. // Обзор. Экологическое состояние, использование природных ресурсов, охрана окружающей среды Томской области в 1995 году. – Томск, 1996. – С. 31-33.
35. Стась Н.Ф. Химическая очистка железных руд от примесей: [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 1. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст. : [http:// www.science-education.ru/pdf/2013/1/7877.pdf](http://www.science-education.ru/pdf/2013/1/7877.pdf)
36. Абрамов А.А. Переработка, обогащение и комплексное использование твердых полезных ископаемых: Учебник для вузов. В 3-х т. – 3-е изд., стер. – М.: Издательство «Горная книга», 2008. - Т. I. Обогащительные процессы и аппараты. – 470 с.: ил.
37. Пахомов В.П., Атаманова Е.А. Основные направления технологической модернизации в области недропользования // Экономика региона. – 2011. – №3. – С. 203.

38. Абрамов А.А. Флотационные методы обогащения: Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Московского государственного горного университета, издательство «Горная книга», «Мир горной книги», 2008. – 710 с.: ил.
39. Годэн В.М. Флотация. – М.: Гостехиздат, 1959. – 653 с.
40. Авдохин В.М. Проблемы и перспективы переработки тонких частиц // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – Т.1. – №12. – С. 568.
41. Барышников В.Г., Горелов А.М., Папков Г.И. и др. Вторичные материальные ресурсы черной металлургии: Справочник. В 2-х т. – М.: Экономика, 1986. – Т. 2. Шлаки, шламы, отходы обогащения железных и марганцевых руд, отходы коксохимической промышленности, железный купорос (образование и использование). – 344 с.
42. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды: Учебник для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Химия, 1989. – 512 с.: ил.
43. Жуховицкий А.А., Шварцман Л.А. Начала физической химии для металлургов. – М.: Металлургия, 1974. – 352 с.
44. Волобуев, В. Ф. Заготовка и переработка вторичных металлов: Учебник для сред. проф. обр. / Волобуев В.Ф., Довгий И.И., Анкудинов Н.В. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1980. – 408 с. : ил.
45. Ицкович С.М. Заполнители для бетона: Учебное пособие для строительных специальностей вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Минск: Вышэйшая школа, 1983. – 214 с.
46. Пальгунов П.П., Сумароков М.В. Утилизация промышленных отходов. – М.: Стройиздат, 1990. – 352 с.
47. Сферы применения металлургических шлаков: [Электронный ресурс] / ВР ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина». – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: <http://www.chermet.net>.

48. Эйтель В. Физическая химия силикатов. – М.: Изд-во иностранной литературы, 1962. – 1056 с.
49. Утилизация-переработка сталеплавильных шлаков: [Электронный ресурс] / Черная металлургия. Нынешнее состояние, проблемы и перспективы развития металлургии.. – Электрон. ст. – Режим доступа к ст.: [http://emchezgia.ru/ekologiya/13.3\\_Utilizatsiya\\_domennykh\\_shlakov.php](http://emchezgia.ru/ekologiya/13.3_Utilizatsiya_domennykh_shlakov.php).
50. Малышев А.И. Технология металлов и конструкционные материалы. – М.: Высшая школа, 1963. – 430 с.
51. Андреев Е.С. Пути рационального использования материальных ресурсов в народном хозяйстве: Сборник научных статей. – Горький: Проектно-конструкторский технологический институт складского хозяйства «Оргснаб», 1975. – Ч. 2. – 96 с.
52. Микульский В.Г. и др. Строительные материалы (Материаловедение): Учебное издание. – М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2004 – Ч.1. – 536 с.
53. Выделение ильменитового концентрата методом магнитной сепарации: методические указания к выполнению лабораторной работы по курсу «Процессы и аппараты химической технологии» / А.А. Андреев, Р.И. Крайденко – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 16 с.
54. Лабораторный практикум по общей химической технологии: учеб. пособие / [В.А. Аверьянов] и др.; под ред. В.С. Бескова. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 279 с.: ил.
55. Шарлаимов В. И., Козин В. М. Экспериментальные исследования нестационарных процессов при движении сплошной среды в гравитационном поле. – М.: Академия Естествознания, 2007. – 232 с.
56. Арсентьев В.А., Сентемова В.А., Ядрышников А.О. Изменение топологии схем магнитного обогащения железных руд с целью снижения энергозатрат // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2000. – №11. – С. 3.

57. Булатова Т.А. Основы токсикологии: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2000. – 88 с.
58. ГОСТ 12.1.010-76. Система стандартов безопасности труда. Взрывобезопасность. Общие требования. – М.: Изд-во стандартов, 2003. – 7 с.
59. ГОСТ 12.1.018-93 Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывобезопасность статического электричества. Общие требования, 2007. – 7 с.
60. Жуков А.И., Монгайт И.Л., Родзиллер И.Д. Методы очистки производственных сточных вод.: Справочное пособие / Под ред. А.И. Жукова. – М.: Стройиздат, 1977. – 204 с.

## Приложение А

### Раздел (2.1, 2.2.2, 3.2.1, 4.1)

(Железная руда Бакчарского железорудного месторождения, области применения шлаков металлургии, обогащение железной руды Бакчарского месторождения методом магнитной сепарации, магнитная сепарация железной руды Бакчарского месторождения, заключение)

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2ДМ4В	Ежов Артём Михайлович		

Консультант кафедры ОХХТ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ОХХТ	Горлушко Д.А.	к.х.н., доцент		

Консультант-лингвист кафедры ИЯПР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент кафедры ИЯПР	Сыскина А.А.	к.ф.н.		

## **Dry magnetic separation of iron ore of the Bakchar deposit**

### **Abstract**

Currently, the development of iron ore of the Bakchar deposit (Tomsk region) is considered promising because of the extremely large reserves of iron ore. Ores of this deposit are related to the high-grade type and expected to have a magnetic concentration for iron extraction. The main task of magnetic separation is to increase the total iron content in concentrates to a value which allows its further metallurgical processing. Ferruginous ore particles have a rounded shape that facilitates a separation process. The work considers the influence of technological parameters on the magnetic concentrate yield and recovery rate of iron-containing fractions.

### **Introduction**

At present, heavy industry and chemical industry require high-quality raw materials to meet their production targets, but directly extracted mineral ores often have too low content of a valuable component. Besides, the prepared feedstock must contain not only the necessary amount of a valuable component, but also meet many other requirements. Thus, for example, cast iron melting in a blast furnace proceeds equally the faster, the more a specific surface area of ore minerals; the greater the permeability of the layer; the less the content of lower oxides of iron; the less the amount of moisture and impurities; the less the variability in properties in the sort<sup>1,2</sup>. The basic kind of metallurgical raw materials is a concentrate consisting of natural minerals in which the metal content is high enough to become possible and economically feasible to extract it<sup>3</sup>.

Iron ore considered in this paper, according to the sources<sup>4,5</sup>, contains up to 43.9% total iron (Fe), presented in the form of a mixture of iron oxides and partly as goethite (FeOOH), hydrogoethite (FeOOH·nH<sub>2</sub>O) and siderite (FeCO<sub>3</sub>), whose magnetic properties appear only after heat treatment that is associated with their

transition to the oxide form. The iron ores of the Bakchar deposit have a low content of sulfur and arsenic impurities and a high content of phosphorus oxide (V) – up to 1.2% and vanadium oxide (V) – up to 0.15%<sup>6</sup>. All this makes it possible to attribute them to high-grade and promising iron ores, but in the works<sup>3,7</sup> it has been stated that for heat treatment in blast furnaces ordinary concentrates should contain from 60 to 70% of iron and not more than 10% of contaminants. Heightened slag formation and low quality of melted metal are observed with a less content of the iron and impurities excess. In the ore of the Bakchar deposit a suitable content for the iron extraction is presented mainly in the form of FeO and Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oxides (their contents are 1.77 ... 31.64% and 14.61 ... 56.22%, respectively)<sup>5</sup>.

The results of granulometric analysis of iron ore are shown in Fig. 1.

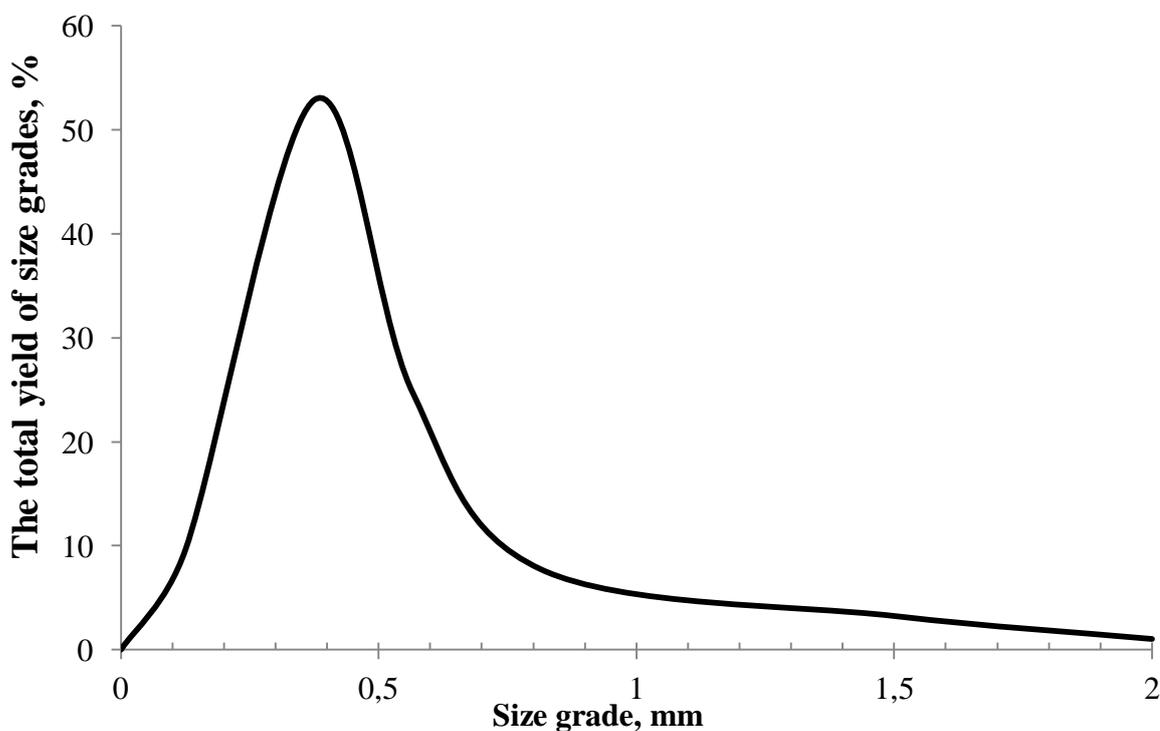


Figure 1 – The granulometric characteristic of iron ore sample

Magnetic separation is the only effective way of separating the valuable components of iron ore from the diamagnetic inclusions so far as the extractable iron compounds have a high magnetic susceptibility (as a rule,  $20\text{--}90 \cdot 10^{-7} \text{ m}^3/\text{kg}^8$ ). In mining industry the technology of preliminary minerals concentration with self-propelled crushing-concentrating plants should be applied<sup>9</sup>. Nevertheless, some authors<sup>10-12</sup> propose the flotation concentration of iron ore. However, this method

is prolonged and more technically difficult as it requires careful drying of iron concentrates and localized reservoir storage. The topicality of the research work consists in the large prospects of Bakchar deposit development and the production of a high-grade iron ore for the need of heavy industry. Large amounts of the iron ore deposits (according to the preliminary estimates of over 30 billion tons) are the other not the least of the factors.

The aim of this work was to study the influence of the current strength in the electromagnet winding on the output of iron concentrate and extraction ratio of iron when ore concentrating.

## Experiment

The process of magnetic separation of iron ore was carried out by a laboratory separator EVS-10/5. The schematic diagram of the device is shown in Fig. 2.

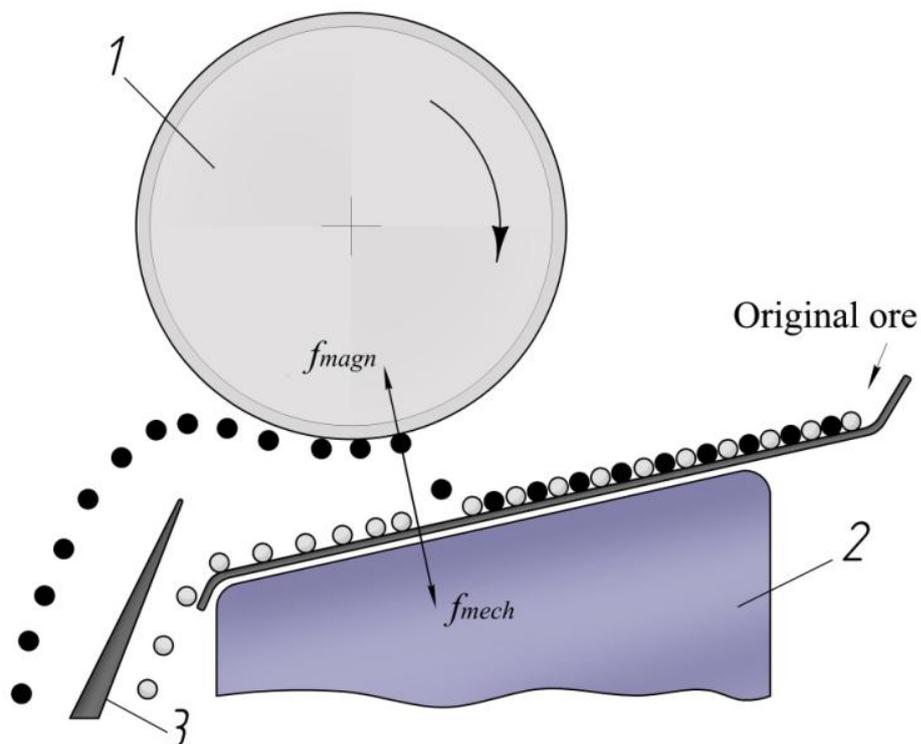


Figure 2– Scheme of the magnetic separator EVS-10/5:

1 – drum of electromagnet; 2 – guide tray; 3 – separatory partition;

$f_{magn}$  – magnetic force;  $\Sigma f_{mech}$  – sum of mechanical forces (inertia, gravity).

Table 1 – Process parameters of magnetic separation

Parameter	Value
Current strength in electromagnet winding, <i>A</i>	1...8
Clearance under the drum, <i>mm</i>	4
Feed rate of the sample, <i>m/sec</i>	0.1
Size of the ore particles, <i>mm</i>	-0.63 +0.5

The magnetic separators use only non-uniform magnetic fields:

$$F_m = \mu_0 \chi m H \text{ grad } H,$$

where  $\mu_0$  – vacuum permeability  $1.257 \cdot 10^{-6} \text{ H/m}$ ;

$m$  – grain weight, *kg*;

$H$  – field intensity, *A/m*;

*grad H* – intensity gradient, *A/m<sup>2</sup>*.

The sequence of the separation process corresponded to the method<sup>13</sup> and was as follows: the sample of iron ore (60 g) was fed into the working area of the device and in the magnetic field was divided into the magnetic and non-magnetic components. After the separation cycle at a given current strength in the winding, the magnetic concentrate was weighed on laboratory scales and returned to the original sample. Then the same sample was subjected to the separation at the linearly increasing current strength in the winding again (and, consequently, at increasing magnetic field intensity) when the other parameters were constant.

For chemical analysis on total iron content a part of the ore (2 g) was selected from each magnetic fraction.

After the concentration cycle magnetic afterpurification of ore was applied. For this, the initial sample of ore was subjected to separation with the current strength in the winding 4A, and then the derived concentrate was separated again at the same current strength.

The total iron content in the obtained concentrates was determined by a dichromate method of chemical analysis (GOST 22772.4-96). For this purpose the

sample of iron ore concentrate (0.5 g) was dissolved in a mixture of hydrochloric acid and stannous chloride  $\text{SnCl}_2$ . After dissolution the ferric ions  $\text{Fe}^{3+}$  were reduced to  $\text{Fe}^{2+}$  by means of a dilute solution of stannous chloride. Then, a formed system  $[\text{FeCl}_2 + \text{SnCl}_4]$  was added to sulfuric acid solution. After the addition of an organic indicator (sodium diphenylamine sulfonate) the iron-containing solution was titrated with 0.1N solution of potassium dichromate till the achievement of equivalence point. Calculation of total iron based on the quantity of the expended dichromate. Chemical analysis was carried out for two parallel ore samples to avoid statistical and systematic errors. The statistical and graphical processing of the experimental data was produced on a computer using analysis software *MS Excel 2007* and *Adobe Photoshop CS6*.

### Results and discussion

Photographic analysis of the magnetic concentrate, which was carried out by using a digital camera *Alcatel One Touch 6040X* and an integrated graphics-processing program *Adobe Photoshop CS6* has shown that iron oxides and hydroxides in the ore are represented predominantly in the form of oolites with a smooth surface (Fig. 3).



Figure 3 – Photo of iron concentrate particles

Dependence of the magnetic concentrate yield on the current strength in the winding of the separator was determined based on magnetic separation (Fig. 4).

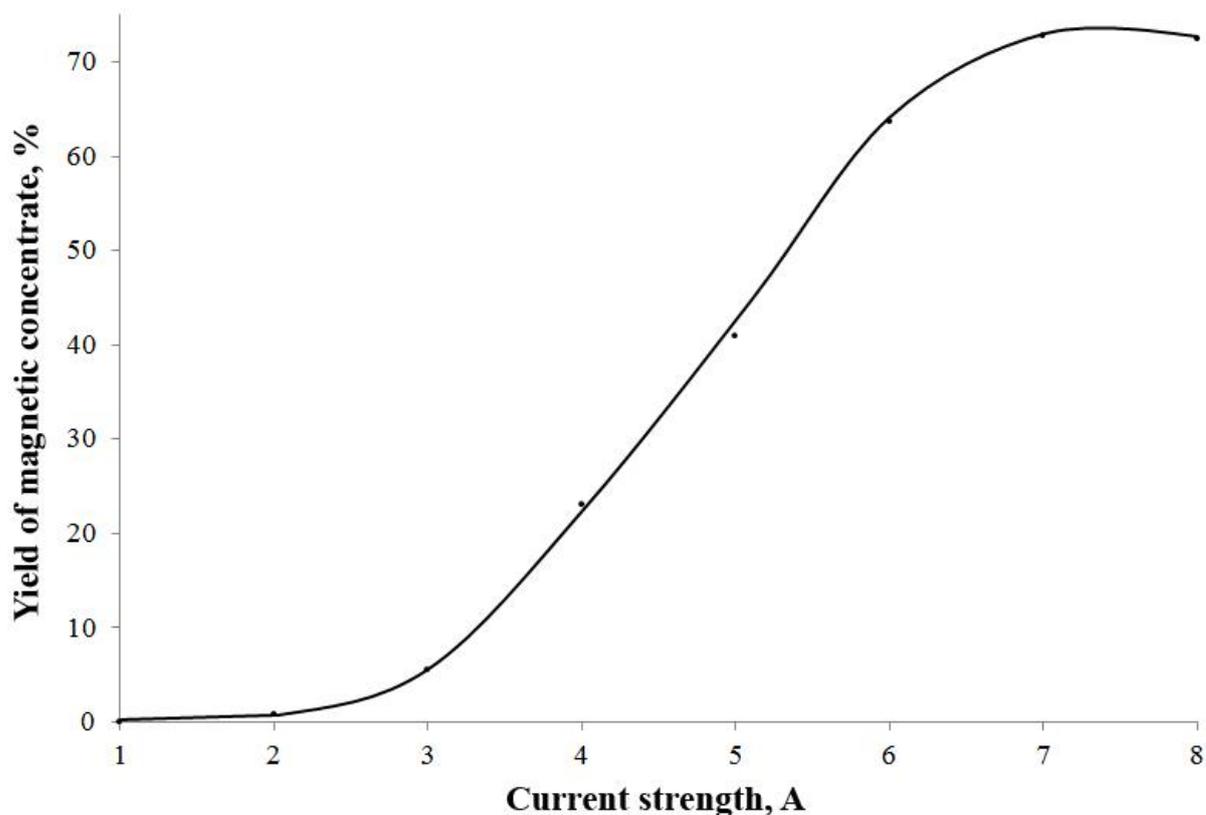


Figure 4 – Dependence of magnetic concentrate yield on current strength

As follows from Fig. 4 separation of the magnetic concentrate begins after the amperage equal to 2A, because before that the value of the magnetic force is not enough to separate magnetic and diamagnetic particles. After 3A the concentrate yield rises sharply, but after 6A this tendency is slowing down and, after reaching a maximum at 7A, the yield of the ferriferous fraction becomes invariable. This feature of the curve allows relating it to the so-called «classical» type described in methodology instructions<sup>13-15</sup>.

Concentrate yield at 7A reaches 72.8%, but this does not mean that an equivalent amount of magnetic compounds has passed from the original ore. Such an output value indicates only the transfer of diamagnetic particles in the concentrate by the magnetic field (mainly, quartz). The deviation of a substantial part of the magnetic particles in a dense stream via transverse magnetic force gives, as a result, a deviation of all stream<sup>16</sup>, which adversely affects the purity of

the final magnetic fraction and compels to carry out the stage of the concentrate post-treatment.

As noted above, the values of the mass yield of the concentrate are not fundamental when determining the efficiency of concentration. It is much more important to know the total iron content in the concentrates and its dependence on the intensity of the magnetic field when separating (Fig. 5).

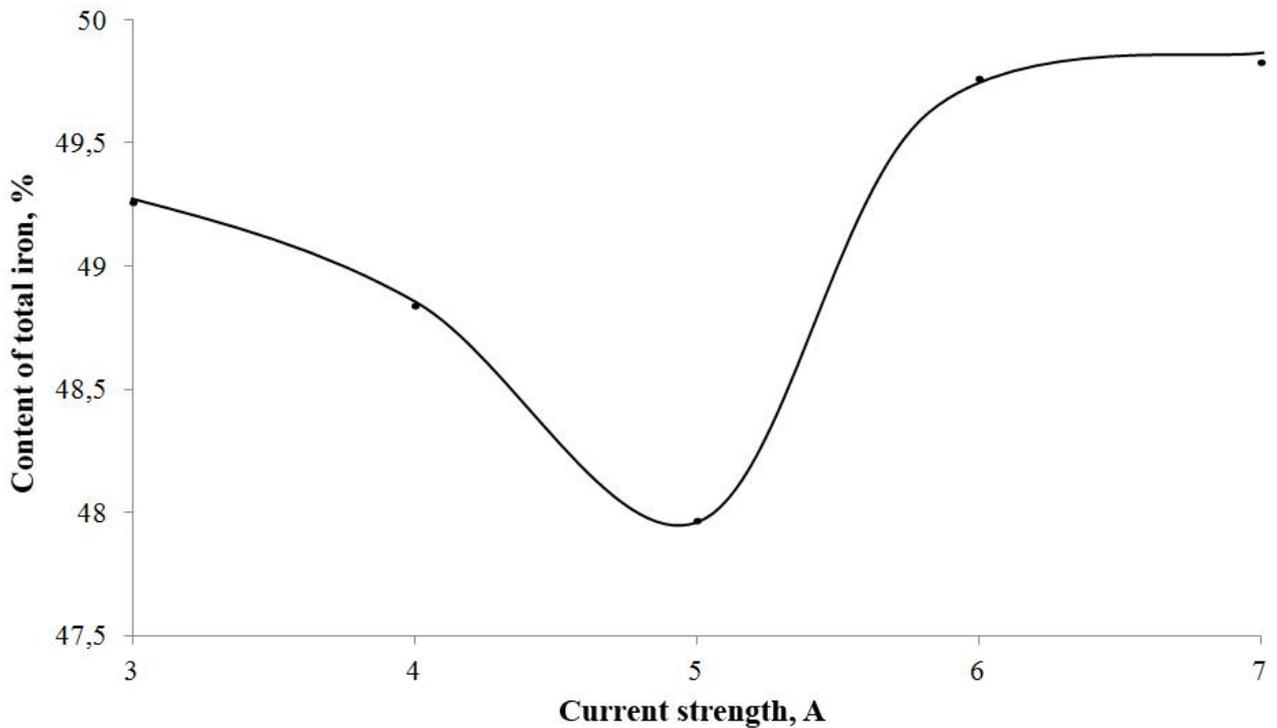


Figure 5 – Dependence of total iron content on current strength

As noted above, a Bakchar iron ore relates to the high-grade ores containing in natural form up to 43.9% of iron. But chemical analysis indicated that before the magnetic separation that ore had already contained 46.2% of iron. Probably, this is explained by centralization of the ferruginous particles in a selected fraction (-0.63 +0.5 mm). A complex shape of the curve (Fig. 5) is explained by the peculiarities of the response of the ferruginous particles to a magnetic field of the separator. At relatively low 3A the most iron-containing particles are separated primarily as they have a maximum magnetic susceptibility. Further, with the increase of the current in the winding, particles of the gangue begin to move to the concentrate more and more, reducing the quality of the concentrate. Thus, at 5A the iron content in the concentrate is only 1.5% more than

its content in the original ore. Iron content in the concentrate increases considerably with the further increase of the current strength because iron ore particles with a low magnetic susceptibility (ore aggregates) begin to separate in the technological process. The form of obtained dependence is confirmed according to the preliminary chemical analysis (according to GOST 22772.4-96) of the concentrates obtained under the same conditions but from a different sample of the ore to avoid a systematic error of the experimental series.

In general, the maximum change in the total iron content was 3.6% at 7A in the winding of the separator. Nevertheless, the greatest iron content (49.8%) is still below the minimum acceptable value for the industrial melting process, and it indicates the need for afterpurification of ore. Also, due to the complex feature of the curve (Fig. 5), it is necessary to establish the most acceptable value of the current in the winding of the magnet at which the greatest extraction of iron fraction is achieved at minimal energy demands. According to the results of a series of the experiments, this value of the amperage corresponded to 4A or 6A (the iron content in the concentrates 48.8% and 49.8%, respectively).

An implementation of two-step concentration (afterpurification) allowed increasing the iron content in the concentrate up to 48.2%. It forces to upgrade the process of dry magnetic separation or carry it out in the liquid phase (so-called, wet separation).

Fig. 6 shows the iron ore after the process of magnetic separation. The concentrate (*b*) has a pronounced dark color due to the iron oxides in its composition while the tailings (shown by clastic rocks) are lighter and partially transparent (*a*).



Figure 6 – Iron ore after magnetic separation:  
(a) tailings; (b) iron-ore concentrate

### **Conclusion**

By means of the optical analysis it has been determined that ferruginous ore particles represent oolites – the spheroidal formations with a smooth surface. An influence of the current strength in the winding of the magnetic separator on the yield of the iron concentrate has been studied. It has been found that at the magnetic field intensity increase in mass yield of the concentrate (up to 72.8%) greatly rises as well, but the main indicator for the metallurgical processing is the content of total iron. Chemical analysis has shown a significant decrease in the iron concentration in the test sample obtained at 5A, which is caused by excessive capture of diamagnetic particles (quartz and concomitant oxides). The maximum iron content in the concentrate (49.8%) is achieved at 7A in separator's winding, but it is advisable to limit the amperage at 6A to avoid excessive energy demands. The iron concentration in this case practically does not change (49.7%), but extraction ratios at 6A and 7A differ sufficiently – 68.7% and 78.6%, respectively. Thereby, the loss of the iron ore in tailings is larger at 6A, but amounts of the iron

ore deposits allows avoiding a problem of losses (at least, at the beginning of deposits development).

The two-stage afterpurification of ore was carried out for achieving metallurgical features of the iron ore concentrate. It increased the iron content up to 48.2%. Thus, the maximum difference of iron content between the natural ore fraction and the concentrate was 3.6%, which is expected during the dry magnetic separation without a sorting process after initial concentration. Also, in consideration of the graphic chart complexity between the concentrate yield and the current in the winding, the most acceptable parameters of the process should be installed. Thus, the iron content in the concentrate reaches 48.8% at 4A, and at 6A – 49.9%, which allows selecting one of them as working (especially against the background of iron extraction ratio falling at 5A).

The wet magnetic separation can be applied both as an independent process and directly after dry concentration for more efficient magnetic separation. In domestic factories, the wet magnetic separation is carried out on drum separators with semicountercurrent baths, with the exception of the first stage, when direct-flow or countercurrent baths are used of the particle size of  $-2 +0 \text{ mm}^{17}$ .

## References

1. Ephimenko GG, Himmelfarb AM, Levchenko VE. Ironmaking. Kiev: Higher school; 1974.
2. Karmazin VI. Enrichment of the ferrous metal ore. Moscow: Nedra; 1982.
3. Kuskov VB, Nikitin MV. Enrichment and processing of minerals. St. Petersburg: St. Peterburg's Mining Institute; 2002.
4. Evseeva NS. Geography of Tomsk region. Tomsk: Tomsk State University; 2001.
5. Report: evaluation and justification of rational technology of processing iron ore of Bakchar deposit. Moscow: LLC "Centre-ESTAgeo"; 2009.
6. Bazhenov VA. Minerals – state, using and protection: review of ecological status, using of the natural resources, protection of the environment of the Tomsk region, Tomsk; 1996.
7. Stas NF. Iron ore chemical cleaning from impurities. *Modern problems of science and education*. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2013.
8. Abramov AA. Processing, enrichment and multipurpose use of the solid minerals. Moscow: Gornaja kniga; 2008.
9. Pahomov VP, Atamanova EA. The main directions of technological modernization in the field of subsoil use. *Economics of the region* 2011; **3**:203.
10. Abramov AA. Flotation methods of enrichment. Moscow: Gornaja kniga; 2008.
11. Goden V. Flotation. Moscow: Gostechizdat; 1959.
12. Avdohin VM. Problems and prospects of the fine particles processing. *Mining informational and analytical bulletin* 2011; **12**:568
13. Shvaljov YB, Ezhov AM. Magnetic separation: methodical instructions for performance of laboratory work. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2014.
14. Andreev AA, Kraidenko RI. Isolation of the ilmenite concentrate by magnetic separation: methodical instructions for performance of laboratory work. Tomsk: Tomsk Polytechnic University; 2009.
15. Beskov VS. Laboratory session for course of applied chemistry. Moscow: BINOM. Laboratory of knowledges; 2010.

## **Technology analysis of open-hearth slag complex processing of by an example of «Recycling Technologies ltd.»**

### **Abstract**

The paper «Technology analysis of open-hearth slag complex processing of by an example of «Recycling Technologies ltd.» considers the existing technology for the processing of open-hearth slag in Novokuznetsk (Kemerovo region). These slags are forming extensive slagheap with area of 1.4 km<sup>2</sup> in the city and disturb the ecological balance in the adjacent areas. The main producer of open-hearth slags in Novokuznetsk since 1930 was «Kuznetsk metallurgical works». At present, processing this complex slagheap is actively conducted.

The work is divided into five functional parts:

- I. A brief description of the open-hearth steel production and its role in the slag-making. The problem of the loss of valuable components when discharging molten slag is marked out.
- II. The article presents the chemical composition and some physical properties of solid open-hearth slag. The article describes also the prospect of their use in road construction.
- III. In this part, problem of the slag accumulation is emphasized by an example of Novokuznetsk. The object of the work is the «Department of slag processing» that is a part of «Recycling Technologies ltd.»
- IV. Description of the existing technology for processing of slag and its analysis with the identification of deficiencies.
- V. Proposition of the technological solutions and new modernized scheme of complex processing of open-hearth slag.

The article also touches upon the issues such as the type of crushing and processing equipment, and the question of economic expedience of possible modernization.

At the end of the work the results of the analysis of the existing technologies for processing of slag are summed up, and a new technological scheme with the practical substantiation of expedience is proposed. Taking into account the real need of modernization this scheme has all the opportunities to exercise.

### Key aspects

Fig. 7 shows the application of slag in Europe in 2010.

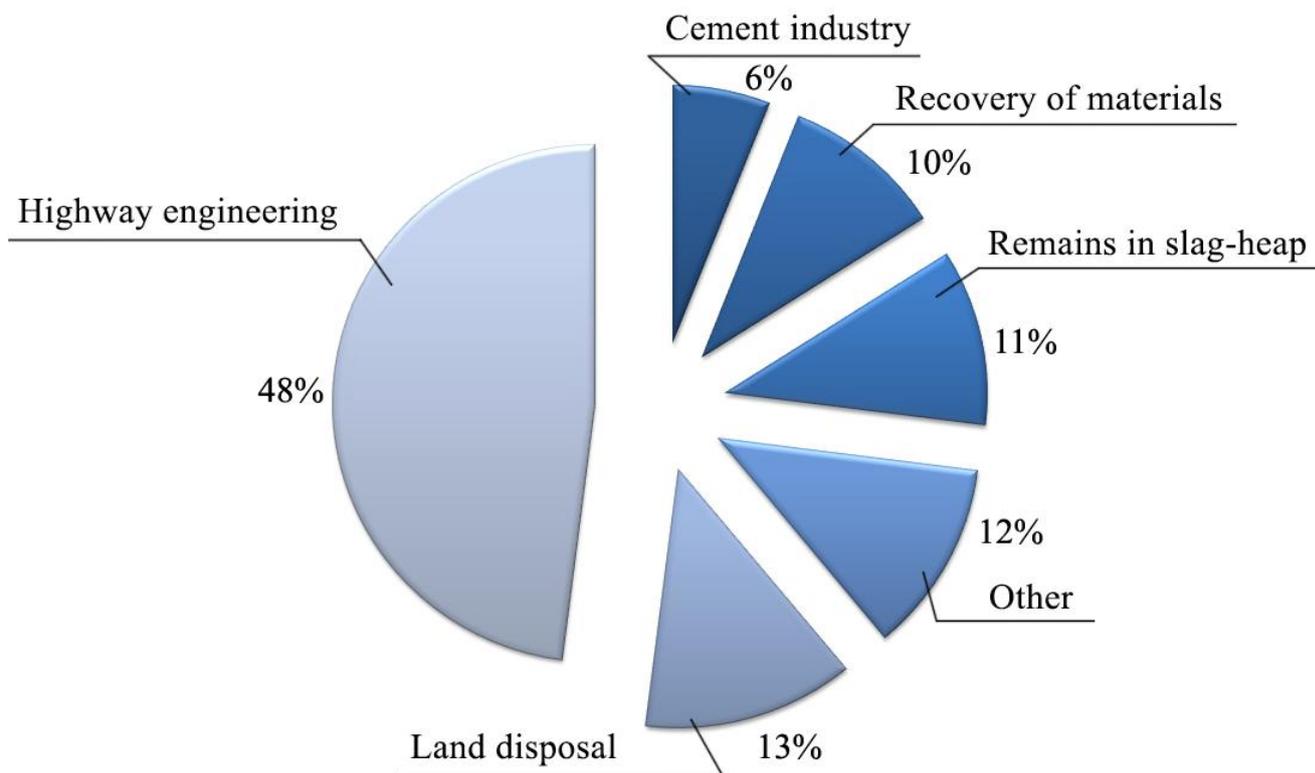


Figure 7 – The application of slag in Europe in 2010

The fig. 8 reflects the application of steel slag.

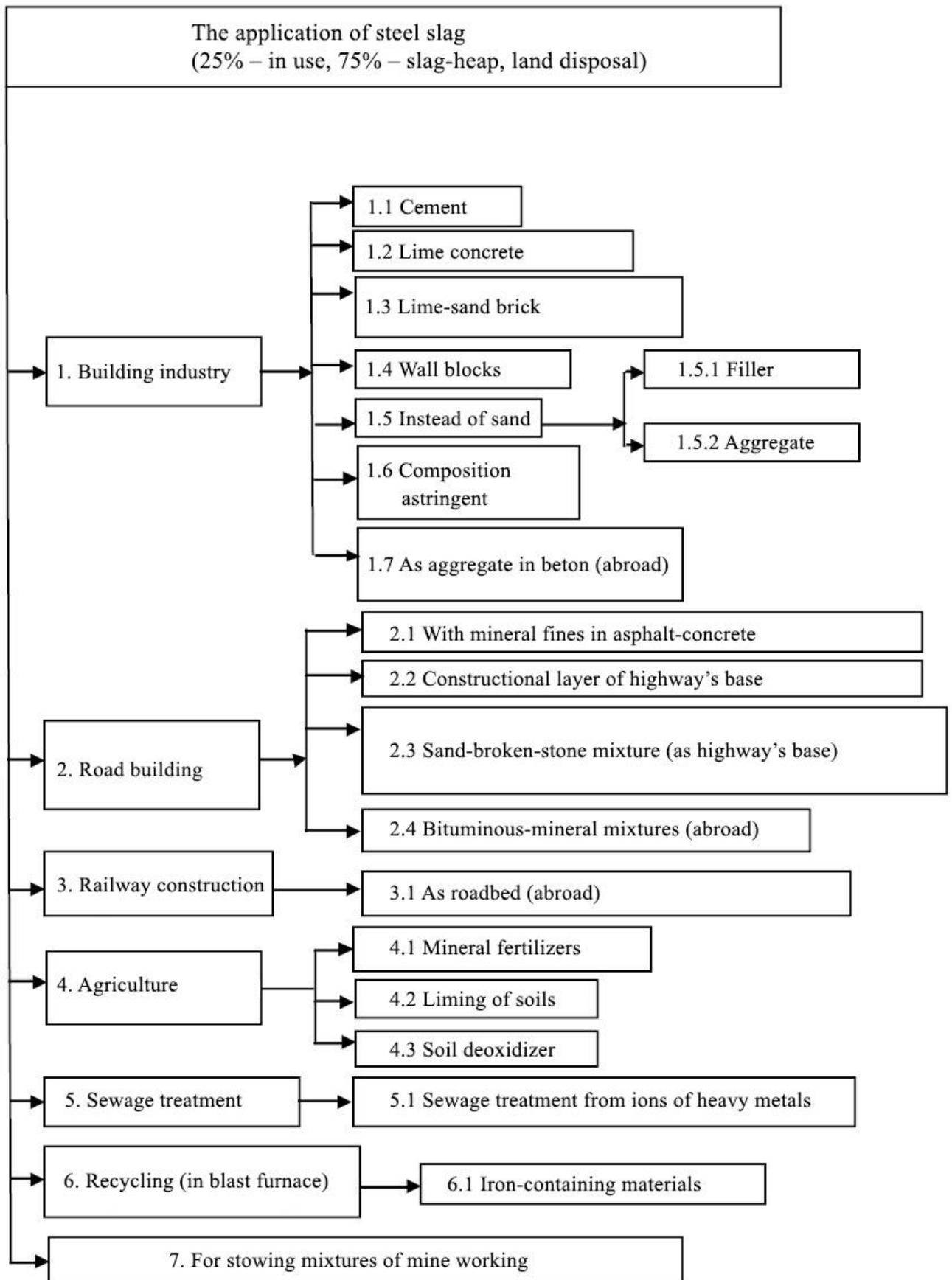


Figure 8 – Application of steel slags

Table 2 – The main characteristics of the production

Marking of product	Iron content, % <sub>mass.</sub>	Fractional composition, mm
Y-1	≥75	300-800
Y-2		80-300
29SHSK		≤800x1000x1500
Y-4	≥40	0-20
29ADUZH / 29ADUZH (E)	≥35	20-80
S-1	≤5	0-300
S-2		0-20

Processing of open-hearth slags on YIMMSH-1 is carried out under the following scheme (Fig.9).

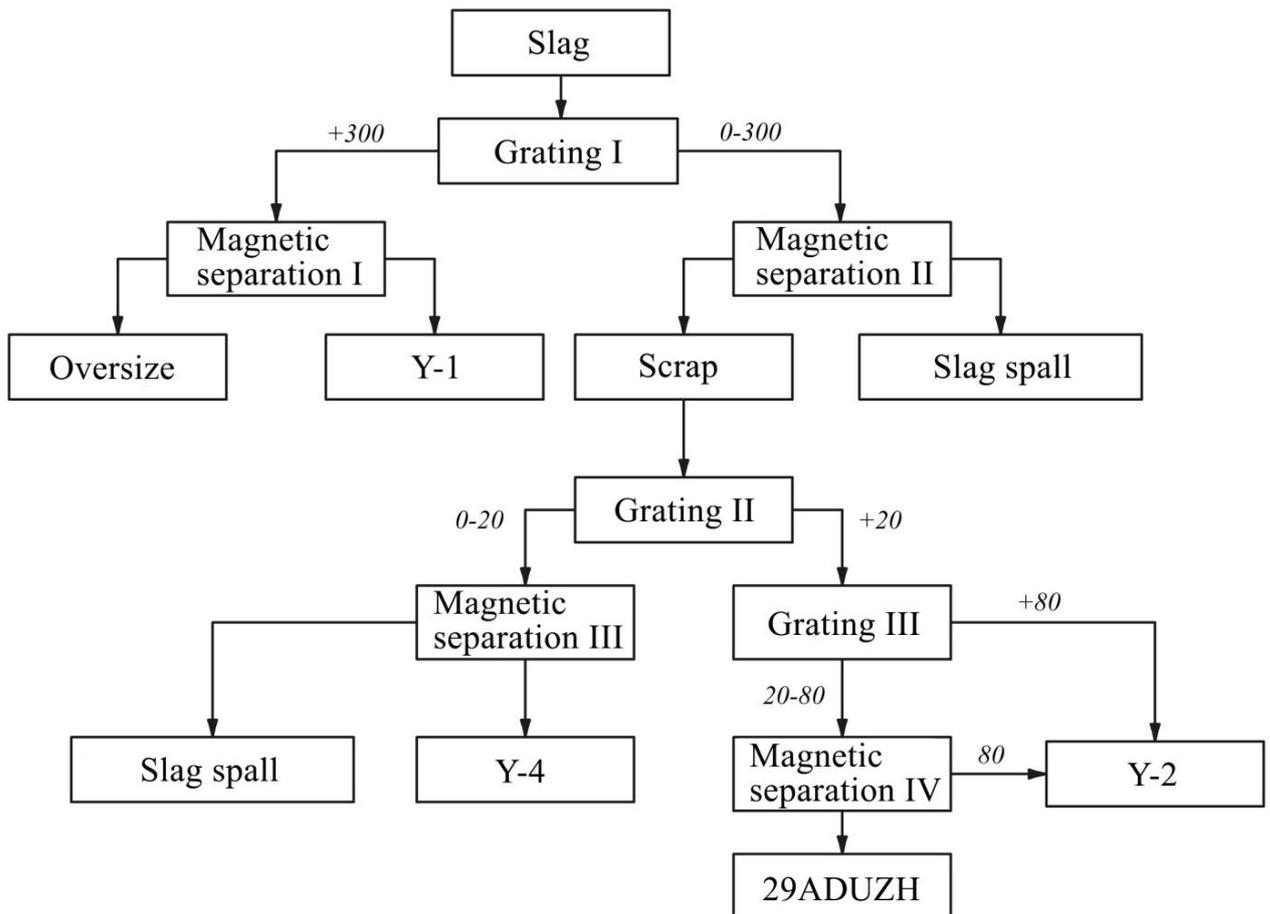


Figure 9 – Technological scheme of processing of open-hearth slags on YIMMSH-1

Scheme of the standard guard magnet is shown in Fig. 10.

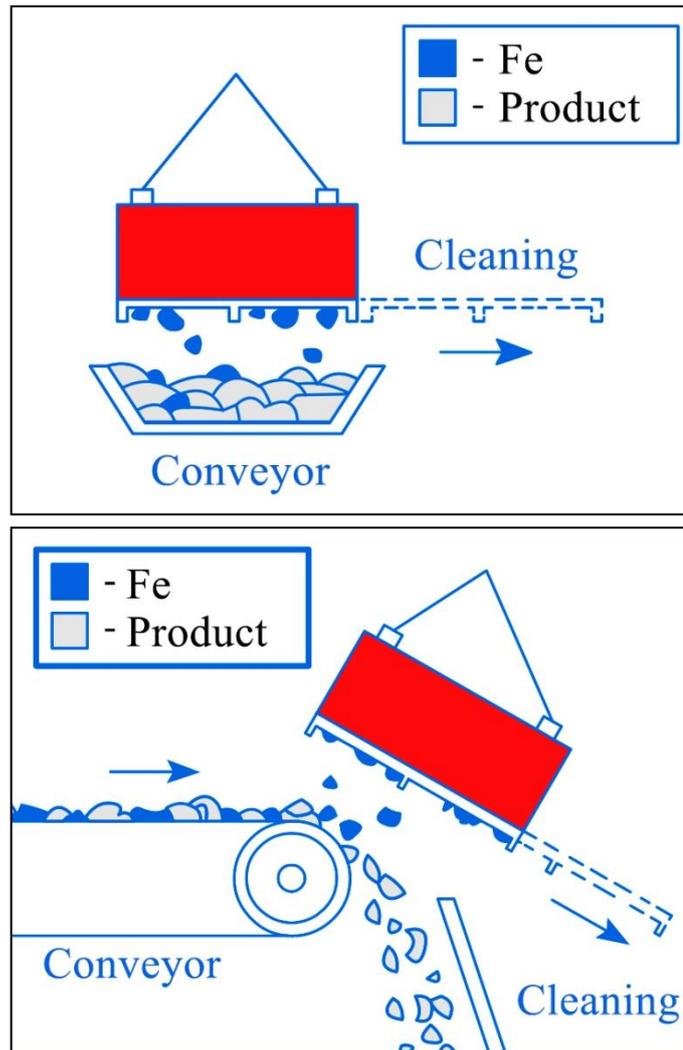


Figure 10 – Scheme of the standard guard magnet

Hydraulic grab reloader Terex Fuchs 350 is employed for loading of iron concentrate Y-2 in dump truck. At a time reloader can lift one and a half ton of scrap metal (Fig. 11).

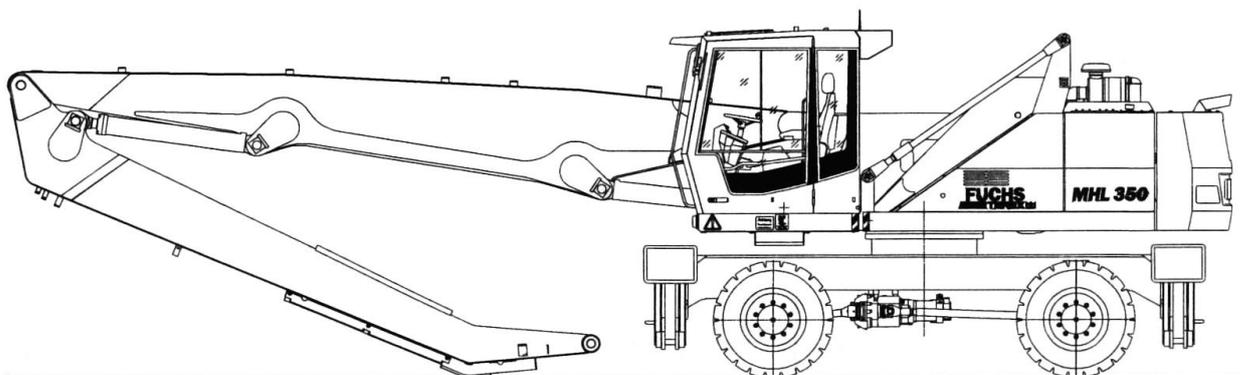


Figure 11 – Grab reloader Terex Fuchs 350