



**УТВЕРЖДАЮ**

Проректор по науке ФГАОУ ВО  
УрФУ имени первого Президента  
России Б.Н. Ельцина

**А.В. Германенко**

14» 02 2025 г.

## **ОТЗЫВ**

ведущей организации на диссертационную работу Сулеймен Бакыта по теме «Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – «Металлургия чёрных, цветных и редких металлов»

### **Актуальность темы диссертации**

В последние годы наблюдается стремительный рост черной металлургии, что сопровождается увеличением спроса на железорудное сырье. Однако доступные и легко перерабатываемые руды истощаются, что делает актуальным поиск эффективных методов переработки бедных, комплексных и трудно перерабатываемых руд. Примером таких руд являются высокофосфористые железные руды с колоссальными запасами, распространенные в Китае, Австралии, Франции, США, Казахстане и России. Однако эти руды практически не используются из-за высокого содержания фосфора, что затрудняет их обогащение и делает экономически нецелесообразным применение традиционных методов. Существующие методы обогащения не позволяют эффективно удалять фосфор из высокофосфористых руд, так как оксиды и фосфаты железа тесно связаны с пустой породой. При подаче таких руд в доменную печь фосфор переходит в расплавленный чугун, что увеличивает давление дефосфорации на последующих стадиях сталеплавильного процесса, приводит к росту объема шлака и, как следствие, к потерям энергии. Методы гидрометаллургии и пирометаллургии с использованием дополнительных реагентов повышают стоимость рудоподготовки.

В связи с эти разработка альтернативных технологий переработки высокофосфористых железных руд становится актуальной задачей для обеспечения устойчивого развития черной металлургии и рационального использования природных ресурсов.

### **Структура и содержание диссертации**

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, основных выводов, списка использованных источников из 136 наименований, изложена на 110 страницах машинописного текста. Графики и иллюстрации представлены на 40 рисунках, экспериментальные и расчётные данные сведены в 25 таблиц. Информация, приведённая в автореферате, соответствует

основному содержанию диссертации и даёт полное представление о её научных положениях, результатах и основных выводах.

**Во введении** автором аргументирована актуальность и своевременность исследований в данном направлении. Сформулированы основные цели и задачи исследования, убедительно показаны научная новизна и практическая значимости, представлены положения, выносимые на защиту. Показан личный вклад автора, описаны методология и методы исследований. Представлены сведения об апробации работы на конференциях и о публикациях по теме диссертации.

**В первой главе** приведен обзор существующих способов удаления фосфора из оолитовых железных руд и их недостатки, показана необходимость решения проблемы дефосфорации и переработки высокофосфористых руд и использования нового подхода с учётом современных требований к экологии и мировых тенденций. Собраны сведения о месторождениях оолитовых железных руд, а также подробно описаны сведения о Керченских, Бакчарских и Аятских месторождениях.

**Во второй главе** представлены результаты комплексного исследования особенности химического и минералогического состава железной руды Аятского месторождения и влияния обжига в атмосфере воздуха на процесс преобразования её структурных составляющих. Показано, что по содержанию железа аятские руды близки керченским, лисаковским и бакчарским оолитовым рудам, но отличаются меньшим содержанием фосфора.

**В третьей главе** по результатам термодинамического расчёта селективного восстановления железа и фосфора в оолитовой руде Аятского месторождения, выявлены условия для успешного проведения экспериментов по твердофазному восстановлению железа. Представлены результаты экспериментов по твердофазному селективному восстановлению железа в высокофосфористой оолитовой руде при разных условиях. При восстановлении твердым углеродом содержание фосфора в металлической фазе выше по сравнению с восстановлением только монооксидом СО. На основе результатов экспериментов сделан вывод, что в монооксидом углерода можно селективно восстановить железо и получить металл с минимальным содержанием фосфора.

**В четвёртой главе** изготовлены окатыши и брэксы в лабораторных условиях по представленной схеме и приведены результаты испытания окатышей и брэксов на сжатие. Представлены результаты экспериментов по металлзации окатышей и брэксов при разных условиях. При восстановлении водородом фосфор не восстанавливается и остается в оксидной фазе в виде фосфатов кальция, алюминия и железа.

**В пятой главе** представлены результаты жидкофазного разделения продуктов металлзации твердым углеродом, монооксидом углерода и водородом. При плавлении металлзованной руды монооксидом углерода или водородом, при температуре 1650°C происходит переход фосфора в металлическую фазу, несмотря на то, что газообразные восстановители не способны восстанавливать фосфор в твёрдой фазе. Для предотвращения

перехода фосфора в металл, в процессе плавки, предлагается проводить окислительный обжиг с добавлением СаО для разрушения фосфата железа и образования прочных фосфатов кальция. Это позволяет предотвратить переход фосфора в металл при последующей металлзации и плавлении при 1550°С. Метод обеспечивает жидкофазное разделение продуктов металлзации офлюсованной оолитовой руды, что позволяет получить малофосфористый металл и шлак с высоким содержанием фосфора. Разработана технологическая схема для переработки высокофосфористых железных руд с целью получения малофосфористого железа и шлака с повышенным содержанием фосфора.

### **Основные научные результаты и их значимость для науки и производства**

К основным результатам диссертационной работы следует отнести следующее:

#### **Научная новизна:**

1. Исследован состав и физико-химические характеристики железной руды Аятского месторождения. Установлено, что данные руды имеют оолитовую структуру, железо в исходной руде содержится в виде гётита и магнетита, фосфор находится в виде гидрофосфата железа, кальция, а также фосфата алюминия.

2. Методами термодинамического моделирования установлены закономерности изменения степени восстановления фосфора из оксидов комплексной руды от количества углерода и состава образующейся газовой фазы.

3. Экспериментально подтверждена принципиальная возможность селективного восстановления железа высокофосфористой оолитовой руды в слабо восстановительной атмосфере монооксидом углерода при температуре порядка 1000°С или водородом при 900°С, сохраняя фосфор в оксидной фазе. Использование в качестве восстановителя при этих же условиях твердого углерода приводит к переходу фосфора в металлическую часть.

4. Выявлены условия жидкофазного разделения офлюсованных высокофосфористых железных руд после твердофазного восстановления железа монооксидом углерода или водородом при температуре 1550...1600°С. Полученные результаты позволяют рекомендовать технологическую схему получения мягкого железа и фосфористого шлака из высокофосфористого железорудного сырья.

#### **Практическая значимость:**

1. Экспериментально показана принципиальная возможность селективного твердофазного восстановления железа в высокофосфористой оолитовой руде газообразными восстановителями – монооксидом углерода или водородом при относительно низких значениях температуры (900...1000°С) и при сохранении фосфора в оксидной фазе.

2. Установлена возможность жидкофазного разделения продуктов металлизации с получением металлического железа и фосфорсодержащего шлака благодаря предварительному окислительному обжигу руды с добавками оксида кальция.

3. Предложена технологическая схема и набор технологического оборудования, включающие шахтную печь для селективного восстановления офлюсованной и окомкованной фосфористой железной руды и печь постоянного тока для жидкофазного разделения продуктов металлизации.

4. Предлагаемый способ позволяет расширить сырьевую базу для получения железа из трудно перерабатываемого традиционными способами фосфористого железорудного сырья.

Получен патент RU № 2826667 С1 на изобретение «Получение оксидов активных металлов и концентратов из комплексных и трудно перерабатываемых железосодержащих руд селективным восстановлением элементов».

### **Теоретическая значимость:**

Выполнен термодинамический анализ химических превращений при твердофазной металлизации высокофосфористых железных руд. Выявлены условия и последовательность изменений количества и состава продуктов восстановления в зависимости от типа и количества восстановителя. Экспериментально изучены и определены условия селективного твердофазного восстановления железа, при которых фосфор не восстанавливается до металлического состояния и остается в оксидной фазе. Показана возможность образований новых прочных фосфатов кальция с разрушением фосфатов железа при окислительном обжиге исходной железной руды с добавлением извести. Выявлены условия жидкофазного разделения металлической и шлаковой фаз офлюсованного высокофосфористого железорудного сырья после твердофазного восстановления, при которых фосфор не переходит в металл.

### **Достоверность полученных результатов**

Достоверность термодинамических и теоретических расчетов обеспечена использованием надежных справочных данных и современного программного обеспечения, а сделанные на основе этих расчетов выводы и рекомендации позволили получить согласованные экспериментальные результаты. Достоверность экспериментальных результатов обусловлена применением современного оборудования при проведении высокотемпературных экспериментов; применением широко распространенных, разнообразных и апробированных методов исследования; высоким качеством и точностью исследовательского оборудования, применяемого при анализе экспериментальных результатов; сопоставлением полученных результатов с данными других исследований

### **Замечания по диссертационной работе**

По содержанию представленной работы имеются следующие замечания:

1. Тема диссертации «Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака». Однако в работе не рассматривается твердофазное восстановление оксидов железа, которое начинается при температурах выше 600 °С, что известно из литературных источников. Кроме того, в литературном обзоре отсутствует ссылка на монографию *Леонтьев Л. И., Ватолин Н. А., Шаврин С. В., Шумаков Н. С.* Пирометаллургическая переработка комплексных руд, в которой рассматриваются физико-химические основы и процессы переработки железосодержащих фосфористых руд. Фактически в работе рассматривается только восстановление железа и фосфора из минералов железа, содержащих фосфор. Непонятно, что такое мягкое железо.

2. Из литературных данных известно, что при температурах выше 1200 К из минералов, содержащих СаО, Fe и фосфор оксиды фосфора восстанавливаются с образованием газообразного топлива. Данные реакции в работе не рассмотрены.

3. В таблице 2.1 приводятся данные о составе руды до и после обжига. Изменение содержания основных элементов при обжиге объясняется удалением влаги. Однако изменение содержания основных элементов непропорциональны. Требуется пояснения.

### **Заключение**

Несмотря на высказанные замечания, можно сформулировать следующее положительное заключение по диссертации.

Полученные результаты отличаются научной новизной и при реализации на практике могут дать значительный эффект; они достоверны, выводы аргументированы. Диссертационная работа логически структурирована по главам и написана технически грамотным языком. Автореферат полно и объективно отражает содержание диссертации. Работа прошла апробацию на конференциях международного и российского уровней. Материалы диссертации опубликованы в 16 научных статьях, из них 5 в журналах, рекомендованных ВАК. Получен патент РФ на изобретение.

Таким образом, диссертационная работа «Селективное восстановление железа в высокофосфористых оолитовых рудах с получением мягкого железа и фосфористого шлака» соответствует критериям ВАК РФ, определённым п.п. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» №842 от 24.09.2013 г. к работам на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.2 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.


Доклад по диссертационной работе был заслушан на расширенном научно-техническом семинаре (НТС) кафедры Metallургии железа и сплавов (МЖиС) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». В обсуждении принимали

участие преподаватели - профессора, доценты научные сотрудники и аспиранты кафедры МЖиС, кафедры МЦМ и ТИМ.

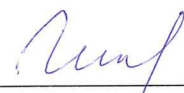
За предложенное заключение участники НТС проголосовали единогласно.

Протокол № 1 от 13 февраля 2025 года

Председатель НТС, Зав.кафедры  
МЖиС, Директор Института новых  
материалов и технологий УрФУ  
д.т.н. проф.

  
О.Ю. Шешуков  
(подпись)

Секретарь НТС,  
доцент кафедры МЖиС Института  
новых материалов и технологий,  
к.т.н., доцент

  
Л.Ю. Гилева  
(подпись)


Сведения о ведущей организации:

Наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира д. 19

Телефон: +7 (343) 375-44-44

e-mail: contact@urfu.ru

Я, Шешуков Олег Юрьевич, автор отзыва, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку. 

Я, Гилева Лариса Юрьевна, автор отзыва, даю свое согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с работой диссертационного совета, и их дальнейшую обработку.



13.02.2025

ПОДПИСЬ  
ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УрФУ  
МОРОЗОВА В.А.



