

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бут Екатерины Александровны на тему: «Исследование карботермического твердо-жидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - металлургия черных, цветных и редких металлов.

В автореферате убедительно показана актуальность темы исследования и её перспективность. Целью работы стала изучение экономически эффективной технологии переработки бедных окисленных руд, изучение механизма и кинетических закономерностей процессов карботермического восстановления оксидов железа и никеля в рудоугольных брикетах в условиях непрерывного кислородного реактора.

Сформулированы пункты научной новизны, в частности установлено, что процессы карботермического восстановления оксидов из бедной никелевой руды протекают в смешанном режиме, порядок реакции варьируется в пределах от 1 до 2, а кажущаяся энергия активации от 300 до 1000 Кдж/моль.

В автореферате приведена схема непрерывного кислородного реактора с движением пода с брикетами через зону предварительного нагрева шихты до 600-800°C, восстановительную зону при 1500°C и зону охлаждения и разгрузки при 300°C. Приведены материальные и тепловые балансы и рассчитана примерная себестоимость производимого продукта.

Замечания по автореферату.


1. На рис.1 стр.8 ось времени представлена в минутах. В системе СИ (SI) время рекомендуется выражать в секундах и кратных им единицах, например, в килосекундах.

2. В уравнении (1) на той же странице время  $\tau$  стоит под логарифмом с пояснением:  $\tau$  - время, мин. Следует заметить, что логарифмировать можно только безразмерные числа, а не размерные величины.


Эти замечания не влияют на положительное впечатление о большой законченной исследовательской работе соискателя и на полученные автором результаты.

Работа отвечает всем требованиям, предъявляемым ВАКом к кандидатским диссертациям по техническим наукам, а её автор Бут Екатерина Александровна заслуживает присвоения ученой степени кандидата технических наук.

Помощник ген. директора по научной работе,  
профессор, доктор технических наук

 (С.Н. Падерин)

Начальник Центральной исследовательской  
лаборатории

 (С.В. Муруев)  
12.04.18

АО «Металлургический завод «Электросталь»

*Вопросы подтверждаю*

*Директор по общим  
вопросам*



 А.Ю. Барановский  
12.04.18г



Акционерное общество  
«СЕРОВСКИЙ ЗАВОД ФЕРРОСПЛАВОВ»  
(АО «СЗФ»)

✉ 624992 Россия, Свердловская область,  
г. Серов, ул. Нахабина, 1  
☎ +7(34385) 96-2-12  
Fax: +7(34385) 6-42-62, +7(34385) 6-42-63

E-mail: [sfap@sfap.ru](mailto:sfap@sfap.ru)  
<http://www.sfap.ru/>

Joint Stock Company  
"Serov Ferro-alloy Plant" (JSC "SFP")  
1, Nakhabin street., Serov,  
Sverdlovsk Region, 624992, Russia  
☎ +7(34385) 96-2-12  
Fax: +7(34385) 6-42-62, +7(34385) 6-42-63

ИСХ. № 1346  
« 16 АПР 2018 » 2016 г.

Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСиС»

Входящий № 11-1849  
« 27 апреля » 20 18 г.

Учёному секретарю диссертационного совета  
Д212.132.02.

Кандидату технических наук Колтыгину А.В.  
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д.4.  
Учёный совет.

Направляем отзыв на автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук Бут Екатерины Александровны «Исследование карботермического твёрдожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе».

Специальность 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов

Приложение: упомянутое в двух экземплярах.

Помощник технического директора

Я.И.Островский





## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Бут Екатерины Александровны "Исследование карботермического твёрдожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе", представленной на соскание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. – Metallургия чёрных металлов.

В связи с значительным увеличением себестоимости ферроникеля его производство становится всё более не выгодным. Поэтому представленная работа Бут Екатерины Александровны нацеленная на разработку технологии выплавки ферроникеля в условиях непрерывного кислородного реактора является весьма актуальной.

Автором изучен механизм карботермического восстановления бедной окисленной никелевой руды. Показано, что процесс восстановления контролируется внутренним массопереносом и химическим актом, т. е. протекает в смешанном режиме.

Диссертантом разработана оригинальная методика изучения кинетики твёрдожидкофазного восстановления рудоугольных брикетов для промышленных образцов. Методика позволяет определить полное время восстановления, скорость и время восстановления, кинетические константы процесса. Адекватность методики подтверждается совпадением измеренной степени восстановления со степенью восстановления, определённой по химическому составу получаемых металла и шлака. Методика определения кинетических характеристик процесса твёрдогазофазного восстановления может применяться для изучения процессов восстановления других ферросплавообразующих элементов.

Предложена методика расчёта зональных материальных и энергетических балансов.

Разработаны оптимальные условия и параметры процесса переработки окисленной никелевой руды совместно с никельсодержащими отходами.

Большое практическое значение имеет усовершенствование внедоменного процесса, а именно плавка в кислородном реакторе за счёт восстановления рудоугольных брикетов на подвижной углеродистой насадке.

Достоверность результатов диссертации подтверждается совпадением теоретических и лабораторных данных с опытно-промышленными испытаниями.

Считаем, что диссертационная работа Бут Е.А. отвечает требованиям п.9 Положения о присуждении учёных степеней, предъявляемых к кандидатским диссертациям, а её автор Бут Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ей учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Помощник технического директора

кандидат технических наук

17. 04 .2018 г.

624992, Россия, Свердловская область, г. Серов, ул. Нахабина, 1. АО "Серовский завод ферросплавов".

Тел. 343859600, E-mail: yakov.ostrovskiy@sfap.ru

Островский Яков Исакович





## ОТЗЫВ

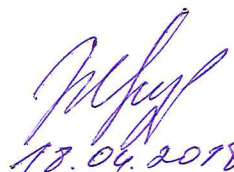
На автореферат диссертационной работы Бут Е.А. на тему «Исследование карботермического твёрдожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Исследование направлено на решение актуальной темы получения ферросплавов и лигатур из бедного металлургического сырья и отходов производства. Переработка такого сырья по общепринятым методам зачастую нерентабельна, а в некоторых случаях даже технически неосуществима. Автором выполнен комплекс теоретических, лабораторно-экспериментальных и опытно-промышленных исследований, в результате которых предложена и успешно опробована технология переработки бедных окисленных никелевых руд и отходов производства с получением сплавов с высоким содержанием никеля. При этом технология отличается минимальными потерями ведущего элемента и высокими технико-экономическими показателями производства. Научная ценность работы заключается в разработке метода исследования механизма и кинетики процесса восстановления металлов в брикетах реального размера, что позволяет оценить и, с высокой точностью, спрогнозировать поведение брикетов в промышленном агрегате. С помощью разработанной методики установлено, что процесс восстановления никеля из бедных окисленных руд протекает в смешанном режиме, где в равной степени оказывают влияние, как скорость доставки реагентов, так и продолжительность химической реакции. Выявлены уровни кажущейся энергии активации процесса, оценено влияние качества и вида сырьевых материалов. Практическая значимость подтверждается результатами промышленных испытаний технологии на примере переработки бедного никелевого сырья. Кроме того, результаты исследования могут также быть использованы и для многих других процессов.

По автореферату имеется следующее замечание: в работе не рассмотрена комплексная технологическая схема переработки руд, включающая сушку сырья, подогрев и предварительное восстановление никеля с финальной плавкой в дуговой печи постоянного тока. Использование энергии отходящих газов для сушки, подогрева и предвосстановления, позволяет минимизировать расход электроэнергии и достичь высоких ТЭП, а печи постоянного тока способны переработать сырье практически любого качества. Подобный проект успешно реализован на производстве ферроникеля в Новой Каледонии.

Указанное замечание не снижает общей значимости работы, а ее автор - Бут Екатерина Александровна безусловно заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Руководитель проектной группы по ПЦ 4  
Актюбинского завода ферросплавов  
-филиала АО «ТНК «Казхром», канд. техн. наук

  
18.06.2018

Нурмуханбетов Ж.У.

Актюбинский завод ферросплавов - филиал АО "ТНК "Казхром" Республика Казахстан,  
030015 Актобе, Северо-Западная промзона, пр-т. 312 Стрелковой дивизии  
+7(7132)973759 [Zhanibek.Nurmukhanbetov@erg.kz](mailto:Zhanibek.Nurmukhanbetov@erg.kz)

Подпись Нурмуханбетова Ж.У. заверяю:  
менеджер бюро по администрированию персонала


Карабалина А.К.

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 —  
Металлургия черных, цветных и редких металлов.

В работе затронута тема обогащения бедных окисленных никелевых руд до 20 % в готовом металле. Также определены технологические параметры переработки гальваношламов с получением сплава с содержанием никеля более 60 %. При этом получены экономические показатели позволяющие снижать стоимость конечного продукта, что на падающем рынке никеля является трудновыполнимой и в то же время интересной задачей с точки зрения развития конкурентоспособности российских предприятий. В связи с этим диссертационная работа Бут Е.А. является актуальной.

Диссертант получил ряд новых научных результатов: получены конкретные параметры порядка протекающей реакции и энергии активации; разработана новая методика, позволяющая определить полное время восстановления, скорость и его степень.

Практическая значимость работы подтверждена испытаниями на промышленном предприятии ЗАО «Камышинский литейно-ферросплавный завод».

Замечания по тексту автореферата:

1. Приведены цифры полной себестоимости, из которого остается не ясным при промышленном применении сохраняются ли данные цифры 6,5-7 долларов США за кг никеля, т.к. материал после плавки необходимо дополнительно изымать в виде корольков.

2. В связи с небольшим количеством точек на рисунке 7 получен не высокий коэффициент корреляции, что требует дальнейшей проработки.

Оценивая работу в целом, считаю, что она представляет собой актуальное исследование, результаты которого имеют научную и практическую значимость. Это позволяет считать, что представленная диссертационная работа соответствует критериям, установленным п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Бут Екатерина Александровна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 — «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Начальник технологического отдела, к.т.н.

«ВПО Сталь», Московская обл., г. Одинцово, ул. Молодежная, д. 46, офис 218, 143007

Тел.: +7 (916) 100 02 93, E-mail: sns@vpostal.ru

Подпись Съёмщикова Николая Семёновича подтверждаю

Съёмщиков Н.С.



## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Диссертационная работа Бут Е.А. посвящена решению актуальных задач ферросплавного производства. В настоящее время многие производители ферроникеля испытывают дефицит в качественных окисленных никелевых рудах. Ежегодно разрыв между увеличивающейся потребностью металлургов в никелевых ферросплавах и снижающимися запасами богатых кусковых руд будет расти. В связи с этим обстоятельством исследование карботермического твердожидкофазного восстановления элементов окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в современных условиях становится особенно актуальным.

В работе представлен новый подход к решению данной проблемы, предлагается технология выплавки ферроникеля из бедной никелевой руды в непрерывном кислородном реакторе. Диссертантом разработана новая экспериментальная методика, воспроизводящая в лабораторных условиях поведение рудугольного брикета в реальных промышленных агрегатах – метод «большого» образца, изучены кинетические закономерности карботермического твердожидкофазного восстановления элементов никелевой руды.

На основе проведенных исследований определены оптимальные условия карботермического восстановления никеля и разработана технология прямого получения металла в кислородном реакторе с протеканием восстановительных процессов на поверхности непроницаемой подвижной угольной насадки.

Разработанная технология получения ферроникеля оценена как с технологической, так и с экономической точки зрения, опробована в промышленном масштабе, что позволяет считать представленную работу законченной научно-исследовательской работой.

По содержанию автореферата имеются следующие вопросы и замечания:

1. Как известно, качество ферросплавов оценивают не только по содержанию основных элементов, но и примесей. Однако этому вопросу в автореферате уделено недостаточно внимания. Было бы целесообразно представить данные по содержанию сопутствующих элементов (P, S, Co и др.) в исходной руде и их межфазному распределению при проведении как лабораторных, так и промышленных экспериментов.



2. Из текста автореферата не ясно, почему увеличение концентрации восстановителя в брикете (от 3 до 10 %) приводит к снижению степени извлечения никеля из руды (с. 12-13)?

Отмеченные замечания носят частный характер и не снижают научную и практическую ценность рассматриваемой диссертации. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнений.

Автореферат всесторонне отражает последовательность решаемых автором задач. Считаем, что работа отвечает критериям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, и соответствует требованиям п. 9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842. Соискатель Бут Екатерина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия черных, цветных и редких металлов.

Главный научный сотрудник Группы Советника РАН  
ИМЕТ УрО РАН, доктор технических наук, профессор  
Телефон: +7 (343) 267-89-11,  
e-mail: zferro@mail.ru

Жучков Владимир  
Иванович  
27.04.2018.

Старший научный сотрудник Группы Советника РАН  
ИМЕТ УрО РАН, кандидат технических наук  
Телефон: +7 (343) 232-91-39,  
e-mail: zferro@mail.ru

Заякин Олег  
Вадимович  
27.04.2018.

Подписи Жучкова В.И. и Заякина О.В. заверяю:  
Учёный секретарь ИМЕТ УрО РАН, к.х.н.



В.И. Пономарев

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт металлургии Уральского отделения Российской академии наук (ИМЕТ УрО РАН)  
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 101. <http://www.imet-uran.ru>



Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-производственное предприятие  
«Инновационные технологии и материалы»  
Адрес: 300028, г.Тула, ул.Сурикова, д.18  
ОГРН 1147154012268  
ИНН/КПП:7104524442/710401001

**ТУЛЬСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ №8604 ПАО СБЕРБАНК**  
р/с 40702810566000003213, к/с 30101810300000000608,  
БИК 047003608

Тел.+7 (4872) 71-77-68, +7-967-431-77-68  
web: [www.syntikom.com](http://www.syntikom.com), [синтиком.пф](mailto:syntikom@mail.ru)  
E-mail: [Sintikom@mail.ru](mailto:Sintikom@mail.ru);

---

### Отзыв

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны на тему: «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

В связи со сложной экономической ситуацией в Российской Федерации и, одновременно, выработкой месторождений с богатой никелевой рудой, предприятия, работающие на бедных окисленных рудах практически остановлены. Следовательно, вопрос разработки технологии, позволяющей перерабатывать бедные окисленные руды с получением товарного продукта является злободневным. Поэтому работа Бут Е.А., направленная на разработку одностадийной технологии переработки окисленных руд и техногенных отходов в агрегате, использующей рудоугольные брикеты – непрерывный кислородный реактор, является актуальной.

В основе диссертационной работы лежит разработка методики исследования карботермического восстановления рудоугольных брикетов – метод «большого» образца, позволивший установить оптимальные условия восстановления окисленной руды для промышленных условий. Найденные условия – время полного восстановления 10 - 12 минут, температура 1500 °С, концентрация восстановителя в брикете – 5 %, обеспечивают получение ферроникеля с содержанием никеля 10 % при себестоимости 6,74 \$/кг. Такие условия обеспечивают возможность производства ферроникеля из бедной окисленной никелевой руды в современных экономических реалиях.

По полученным лабораторным данным были проведены опытно-промышленные испытания, подтвердившие возможность создания промышленного агрегата.

В качестве замечания можно отметить, что представленная в автореферате трактовка значительных колебаний энергии активации для случая восстановления оксидов никеля древесным углем является дискуссионной.

Диссертация Бут Екатерины Александровны является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842.

Бут Е.А. достойна присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 "Металлургия черных, цветных и редких металлов".

Генеральный директор

ООО « НПП «Инновационные технологии и материалы»



 Степанов Я.М.

Научный руководитель работы,  
Лауреат премии Правительства РФ  
в области науки и техники,  
к.т.н., доцент



Дорофеев Г.А.

Адрес организации:

300028, г.Тула, ул.Сурикова, д.18

Тел.: +7(4872)71-77-68

e-mail: sintikom@mail.ru



## О Т З Ы В

на автореферат диссертации БУТ Екатерины Александровны *«Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе»*, представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов»

Актуальность темы исследования, которая обозначена автором как «исследование механизма карботермического твердожидкофазного восстановления никеля в рудоугольном брикете» определяется несомненно более широким спектром вопросов (которые частично затронуты в диссертационной работе, а в большей мере лишь намечены и могут составить предмет последующих поисковых работ), а именно:

- новые виды сырья для производства ферроникеля (рудоугольные брикеты, причем в промышленном применении можно рассматривать и современные технологии брикетирования – жесткая вакуумная экструзия);
- применение отходов гальванопроизводства для получения ферроникеля;
- новые процессы подготовки сырья (брикетирование в отличие от агломерации, применявшейся для окускования окисленных никелевых руд, или окомкования как в процессе *ITmk3*);
- альтернативные технологий производства ферроникеля (непрерывный кислородный реактор).

Создание новой методики исследования кинетических закономерностей, названных авторами «методом большого образца» безусловно следует отнести к области научной новизны, а вот методику расчета материальных и тепловых балансов непрерывного кислородного реактора надо скорее считать успешной инженерной работой.

Весьма ценным качеством научного исследования является выполненный автором объем экспериментальных работ, на которых базируются последующие выводы и предложения.

Несомненным достоинством работы является доведение экспериментального результата до технологических показателей непрерывного кислородного реактора, обеспечивающих высокую степень извлечения никеля.

Очевидно, что сопутствующим результатом работы ввиду появления жидкой фазы в системе, идентифицированной автором как «твердожидкофазное восстановление», стало предложение об использовании «непроницаемой углеродистой насадки» и составило техническое решение по совершенствованию непрерывного кислородного реактора.

Некоторые положения работы вызывают определенные вопросы и замечания:

- термин «твердожидкофазное» восстановление в контексте работы недоказателен (образование жидкой фазы еще не является свидетельством жидкофазного восстановления), поэтому вполне исчерпывающим в названии диссертации было бы просто «карботермическое» восстановление;

- применяются неиспользуемые широко (и без пояснений) аббревиатуры (с.6 – ОНР);

- нечетко прописаны методические особенности экспериментального исследования (как-то: место отбора газовой фазы; учет образования СО от графитового нагревателя; пе-

риодичность отбора газовой пробы в 1 мин. как синхронизирована со скоростью его определения хроматографически; измерение температуры образца в градусах Кельвина (рис.1); недостающие обозначения в формуле (2); неясны источники данных для расчетов по формуле (3));

- не обоснованы выбор восстановителей (в таблице 2 отсутствует характеристика их реакционной способности), а также концентрация восстановителя в 3, 5, 10 %;

- не указаны условия эксперимента на рис. 4 (температура, время обработки); кроме того, аппроксимация по 3-м точкам не очень достоверна (достаточно просмотреть тренды для концентрации никеля в сплаве в зависимости от содержания восстановителя);

- нет достаточных оснований только по рис. 9 давать рекомендацию об оптимальном содержании полукокса в 5%;

- очевидно, следует считать недоразумением фразу «в качестве флюса с одновременной функцией восстановителя использовали цемент» (с. 18);

- при расчете материальных и тепловых зональных балансов реактора желательны принятые (и/или допустимые) оценки сходимости;

- техническое решение о производстве полукокса при обработке «непроницаемой углеродистой насадки» должно быть обязательно дополнено оценками негативного воздействия на окружающую среду в отношении образования фенола, формальдегида, пиренов (в том числе, бензапирена) и других загрязняющих веществ в отходящих от реактора газах.

Высказанные замечания носят дискуссионный характер и не влияют на общую положительную оценку работы.

Автореферат и опубликованные работы исчерпывающе отражают содержание диссертационной работы.

Диссертационная работа Е. А. Бут в полной мере соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Главный эколог ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат»,  
проф., д.т.н.

В.М. Чижикова

12.04.2018 г.

Подпись В.М. Чижиковой заверяю:

*Сол. Владимир Степанович*  
*Сколов В.А.*





## **О Т З Ы В**

на автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук Бут Екатерины Александровны по теме: «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе»

Актуальность диссертационной работы Е.А. Бут обусловлена необходимостью совершенствования металлургических технологий использования бедных окисленных никелевых руд при их рациональном вовлечении в производственные циклы выпуска товарной продукции из стали и сплавов, поскольку в соответствии с современными требованиями наилучших доступных технологий существующие отечественные технологические схемы получения ферроникеля из таких руд являются неприемлемыми по эколого-экономическим показателям. Тем не менее, карботермические процессы, используемые в различных вариантах получения никеля из богатых и бедных никелевых руд, в той или иной мере используются на российских предприятиях и зарубежных компаниях — основных производителях никелевой продукции широкого назначения. Реализация коммерчески привлекательного и экономически выгодного варианта использования бедных никелевых руд является крайне заманчивой и перспективной задачей горно-металлургического комплекса Российской Федерации. Автор выполнила серьезное научное исследование, направленное на разработку экономически эффективной технологии переработки бедных окисленных никелевых руд.

В автореферате отражены основные положения теории и практики пирометаллургических методов одностадийной переработки окисленных никелевых руд в ферроникель. Проанализированы специфические особенности термодинамических и кинетических закономерностей карботермического метода восстановления основных компонентов этих руд с использованием минимальных затрат на подготовку шихты, изготовления из нее рудо-угольных брикетов и переработки их в непрерывном кислородном реакторе. Отмечены достоинства и сложности практической реализации извлечения никеля и железа не только из окисленных бедных никелевых руд, но и гальванических шламов, содержащих эти компоненты. Представленный автором иллюстрационный материал по проведенным теоретическим расчетам и выполненным лично лабораторным и опытно-промышленным экспериментам позволяет судить о достаточно высокой



квалификации соискателя степени кандидата технических наук по выбранной ею специальности.

В качестве замечаний следует отметить:

- 1) при обсуждении результатов экспериментов по оценке термодинамических и кинетических параметров карботермического восстановления и извлечения никеля из образцов рудоугольных брикетов массой 30 г целесообразно было бы сформулировать авторскую точку зрения о механизме протекания окислительно-восстановительных процессов по никелю, железу и кобальту, а не ограничиваться полученными для сложных твердо-жидко-газовых системах данными о порядке изучаемых реакций и значениях кажущихся энергий активации. Тем более, что полученные автором данные могли бы подтвердить общеизвестную точку зрения о связи изменяющегося порядка химических реакций и кажущейся энергии активации с возможностью образования активированных комплексов в рассматриваемых составах газовых фазах, а также на поверхности раздела и в объеме сложных гетерофазных систем;
- 2) полученные автором данные о восстановлении кобальта при получении ферроникеля из Буруктальской руды в непрерывном кислородном реакторе ЗАО «Камышинский литейно-ферросплавный завод» (Волгоградская обл., г. Камышин) указывают на то, что карботермическая прямая переработка бедных окисленных никелевых руд с кобальтом вряд ли на сегодняшний день может быть коммерчески привлекательным вариантом из-за невозможности рационального извлечения и последующего использования кобальта – ценного легирующего металла. Это практически приводит к его безвозвратной потере при комплексной переработке рассматриваемых руд. Многомиллионная упущенная выгода от этого явления может стать серьезным сдерживающим фактором в развитии авторского варианта карботермического производства переработки силикатных бедных никель-кобальтовых руд Буруктальского и Сахаринского месторождений в промышленных масштабах без конкретных рекомендаций по поддержанию в конечном шлаке содержания (FeO) в оптимальных пределах 8-12 % (мас.) в процессе плавки.

В целом, указанные недостатки не умаляют достоинства рассмотренной работы, которая является законченным научным исследованием. Диссертация отвечает требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, БУТ ЕКАТЕРИНА АЛЕКСАНДРОВНА, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02. - «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

Профессор ФГБОУ ВО «Государственный университет управления», д.т.н., профессор

С.В. Богданов

109542, Москва, Рязанский проспект, д. 99,  
тел. +7-499-784-61-37, e-mail [bsv-29@yandex.ru](mailto:bsv-29@yandex.ru)



14.05.2015.

05.05.2018 г. № 258

В диссертационный совет Д 212.132.02 на базе  
Национального исследовательского технологического  
университета «МИСиС»  
119049, г. Москва, Ленинский проспект, д. 6, ауд. 305

### ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02.- Металлургия черных, цветных и редких металлов.

Постепенное истощение месторождений, обеспечивающих металлургическое производство богатыми никелевыми кусковыми рудами, заставляет обращать внимание на рудные материалы, считающиеся некондиционными из-за своей мелкодисперсности и низкого содержания никеля. Существующие классические технологии не позволяют производить ферроникель из такого сырья в связи с экономической нецелесообразностью. Кроме того, металлургическое производство практически всегда сопровождается образованием мелкодисперсных техногенных отходов, ухудшающих экологическую обстановку. Поэтому изучение процессов карботермического восстановления никеля является актуальным.

Цели и задачи исследования сформулированы четко и логично. Основные научные и практические результаты представлены автором в соответствии с целью и задачами исследования.

Положения диссертационной работы имеют важное значение для экономического роста ряда регионов России (в частности Челябинской, Оренбургской областей), также улучшения экологической обстановки в этих регионах.


Соискателем разработана новая оригинальная методика, позволяющая на основании лабораторных исследований прогнозировать параметры карботермического восстановления окисленного никелевого сырья: скорость восстановления, степень восстановления и кинетические константы процесса. Это несомненно подтверждает научную новизну работы. На основании исследований разработана и предложена усовершенствованная технология прямого получения металла в кислородном реакторе. Технология апробирована в промышленных условиях. Таким образом подтверждена и практическая значимость работы.

Несмотря на положительную оценку диссертационного исследования Бут Е.А., необходимо отметить, что при расчете себестоимости никеля в ферроникеле не учтена стоимость подготовки сырья к использованию в кислородном реакторе.



В целом, на наш взгляд, диссертация Бут Екатерины Александровны представляет собой квалификационное, самостоятельное, завершённое исследование, в котором решена актуальная задача, имеющая важное научное и практическое значение. Диссертация «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе» отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением № 842 Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. (в редакции Постановления № 335 Правительства РФ от 21.04.2016 г., № 748 от 02.08.2016 г.), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор, Бут Екатерина Александровна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 — Metallurgy черных, цветных и редких металлов.

Чуватин В.Н.



кандидат технических наук,  
инженер-технолог АО «Ферросплав»

Контактная информация:

454048, г. Челябинск, ул. Сулимова, д. 75

Телефон: +7(351)2373929, +7(351)2618878

Электронная почта: [chuvatin-v@yandex.ru](mailto:chuvatin-v@yandex.ru)

[chuvatin@ferrospay-chel.ru](mailto:chuvatin@ferrospay-chel.ru)

Подпись подтверждаю



Чуватин Виктор Николаевич — к.т.н. по специальности  
05.16.02-Металлургия черных, цветных и редких металлов



---

Юридический/ПОЧТОВЫЙ адрес: 107996, г. Москва, ул. Гиляровского д.57  
стр.1, 1 этаж, помещение 18  
Тел/Факс. +7(495)780-04-65, Email: [nptkask@urm-company.com](mailto:nptkask@urm-company.com)  
Website: [www.urm-company.com](http://www.urm-company.com)

### Отзыв

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны на тему: «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – «Металлургия черных, цветных и редких металлов».

На данный момент в мире наблюдается сложная ситуация в ферроникелевом производстве: запасы богатых никелевых руд заканчиваются, одновременно ужесточаются экологические требования и нормативы на разработку месторождений, а стоимость электроэнергии ежегодно возрастает. Все это, в сочетании с падением рыночной цены на никель, сделало экономически нецелесообразным производство ферроникеля из бедных окисленных руд (порядка 1% Ni) по классическим технологиям. Это привело к полной или частичной остановке производства на ведущих ферросплавных предприятиях РФ, производящих ферроникель из окисленных никелевых руд. Поэтому работа Бут Е.А., направленная на разработку одностадийной технологии переработки окисленных руд с получением ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе является актуальной.

По результатам проведенных исследований определены рациональные условия и параметры карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды в непрерывном кислородном реакторе, обеспечивающие высокую производительность технологии: концентрация полукокса в брикете 5 %, температура процесса 1500 °С, время выдержки 10 – 12 минут, такие условия позволяют получить металл с концентрацией никеля свыше 10 % при степени извлечения никеля из окисленной руды более 98 %.

Данный способ был исследован на пригодность для переработки техногенных отходов с целью извлечения никеля и железа. Полученный таким способом металл стабильно содержит никеля 60 – 64 %, железа 31 – 33 % и меди 2,2 – 2,7 %, такая лигатура может быть использована для выплавки износостойких чугунов.

Автор приводит результаты опытно-промышленных испытаний по производству ферроникеля из окисленной никелевой руды Буруктадьского месторождения в условиях непрерывного кислородного реактора на ЗАО «Камышинский литейно-ферросплавный завод», согласно которым подтверждается возможность получения ферроникеля из бедных окисленных никелевых руд.





Юридический/ПОЧТОВЫЙ адрес: 107996, г. Москва, ул. Гиляровского д.57  
стр.1, 1 этаж, помещение 18  
Тел/Факс. +7(495)780-04-65, Email: [nptkosk@urm-company.com](mailto:nptkosk@urm-company.com)  
Website: [www.urm-company.com](http://www.urm-company.com)

В качестве замечания можно отметить, что автор в автореферате не полно отразил химический состав полученного металла. Данное замечание не снижает общей положительной оценки работы.

В целом, диссертационная работа Бут Е.А. выполнена на высоком научном уровне и является законченной научно-квалификационной работой, которая соответствует критериям, установленным п.9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Бут Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallurgy of black, colored and rare metals.

Коммерческий директор НПТК «ОСК», к.т.н.  
Тел.: +7(495)780-04-65  
e-mail: [ostrovd@urm-company.com](mailto:ostrovd@urm-company.com)



Островский Дмитрий Яковлевич



## Отзыв

на автореферат диссертации «Исследование карботермического твёрдожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе» на соискание учёной степени кандидата технических наук Бут Екатерины Александровны

Актуальность работы. Тема диссертации Бут Е.А. является актуальной, поскольку направлена на увеличение ресурса для получения никелевой продукции, без которой невозможно производство высококачественных сталей. Поскольку к настоящему времени природные ресурсы богатых никелевых руд выработаны, источниками никеля могут быть только бедные никелевые руды, переработка которых традиционными методами в шахтных печах становится нерентабельной из-за затраты основной доли теплоносителя на нагрев и плавления пустой породы. В связи с этим возникла проблема получения ферроникеля из бедных руд нетрадиционными методами: путём твёрдожидкофазного углеродотермического восстановления никеля из рудоугольных брикетов. Но поскольку закономерности такого процесса не изучены, это и стало задачей исследования диссертанта.

Научная новизна диссертации Бут Е.А. заключается прежде всего в том, что ею определены кинетические характеристики восстановления никеля и железа из окисленной никелевой руды Буруктальского месторождения, разработана методика расчёта материальных и тепловых балансов с разбивкой реактора на зоны предварительного нагрева и восстановительных реакций. Показано, что вплоть до 1500°C восстановительные процессы с участием компонентов расплавляющихся брикетов протекают в смешанном режиме, когда на скорость восстановления металлов влияют как диффузия частиц в расплаве, так и интенсивность собственно реакций.

Из сказанного выше вытекает и практическая значимость рассматриваемой работы, так как данные о степени влияния температуры, определяющей энергию активации процесса и его другие кинетические характеристики, позволяют прогнозировать в целом технологические показатели производства ферроникеля. Определены оптимальные параметры процесса переработки окисленной никелевой руды, позволяющие добиться до 98% извлечения никеля в сплав при содержании в нём 10% Ni.

Следует отметить также высокий методический уровень исследований с применением богатого современного инструментария, что повышает степень достоверности полученных результатов.

Как видно из автореферата, исследования Бут Е.А. прошли опытно-промышленную проверку при выплавке ферроникеля из руды Буруктальского месторождения в кислородном непрерывном реакторе, что также подтверждает достоверность, актуальность, научную и практическую значимость рассматриваемой работы.

Не вызывает сомнения личный вклад диссертанта в выполненные исследования. Апробация работы со стороны Бут Е.А. достаточна и соответствует требуемому научному уровню.

Тем не менее, по нашему мнению, некоторые подходы и толкование полученных результатов, как это изложено в автореферате, являются дискуссионными. Так говорится, что экспериментально получена величина константы скорости восстановления никеля, но её величина и размерность не указаны. По-видимому, это не случайно, так как исследователь ничего не говорит и, похоже, не учитывает поверхность соприкосновения реагирующих фаз в ходе эксперимента. Но константа скорости гетерогенных реакций должна быть отнесена к единице поверхности. Если этого нет, то диссертант получил другую величину, с помощью которой можно сравнивать скорость восстановительного процесса в различных условиях. Если проследить за кинетикой многих твёрдо-жидкофазных реакций от начала (с высокими концентрациями реагирующих веществ) до достижения равновесия, то обнаруживается изменчивость кинетического режима процесса. При этом диссертант исходит из традиционного толкования механизма восстановительных процессов безотносительно к концентрации компонентов, температуры и других факторов. Эти обстоятельства, конечно, не снижают научную и практическую ценность рассматриваемой работы.

Таким образом, можно констатировать, что диссертационная работа Бут Е.А. вполне соответствует требованиям ВАК к кандидатским диссертациям, а её автор заслуживает ученой степени кандидата технических наук.

Профессор кафедры металлургических и  
литейных технологий СПбГПУ

доктор технических наук

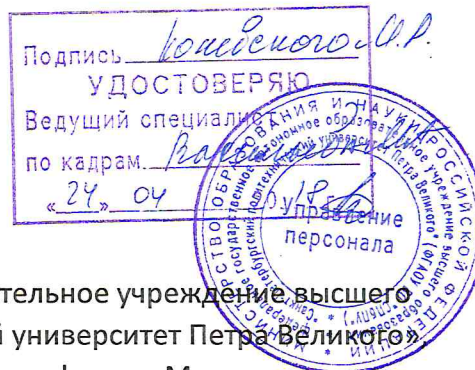
Коневский М. Р.

23.04.2018 г.

Коневский Михаил Романович

E-mail: chemmet2008@yandex.ru

Моб. тел.: +7(911)153-26-58



Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»  
Институт металлургии, машиностроения и транспорта, кафедра «Металлургические и литейные технологии»

Адрес: 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29



## Отзыв

на автореферат диссертационной работы Бут Екатерины Александровны на тему: «Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 - Metallurgy of black, colored and rare metals

Снижение запасов богатых никелевых руд, повышение стоимости энергоресурсов, неблагоприятная конъюнктура цен на рынке никеля привели к тому, что производство сплавов никеля по классическим технологиям стало не рентабельным. Актуальность рецензируемой работы обусловлена необходимостью разработки экономически эффективной технологии переработки отечественных бедных окисленных никелевых руд для получения ферроникеля в непрерывном кислородном реакторе.

Диссертантом впервые установлено, что реакция карботермического твердожидкофазного восстановления бедной окисленной никелевой руды Буруктальского месторождения контролируется внутренним массопереносом и химической реакцией, т.е. протекает в смешанном режиме. Разработана новая методика определения кинетических характеристик процесса твердожидкофазного восстановления рудогольных брикетов для образцов промышленного масштаба - метод "большого" образца. Разработана методика расчета материальных и тепловых балансов, основанная на разбиении кислородного реактора на зону предварительного нагрева и восстановительную зону. Непосредственную практическую значимость диссертационной работе придает установление автором оптимальных условий карботермического восстановления бедной окисленной никелевой руды и никельсодержащих отходов в промышленных условиях. Можно утверждать, что поставленные в диссертации цели достигнуты, а задачи решены. Материал диссертации изложен ясным научным языком, структура работы выстроена логично, оформление соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

По работе имеются следующие замечания и вопросы.

1. Диссертант приводит больше данных по химическому составу ферроникеля от переработки гальваношламов, а для окисленной никелевой руды только по содержанию и извлечению никеля. Почему нет данных по другим элементам, например по кремнию, содержание которого в руде Буруктальского месторождения составляет 8,95%? Почему не приведены данные по составу других продуктов плавки, в частности отвальных шлаков?

2. Из рис. 4 на стр. 12 следует, что при концентрации в брикете 3 и 5% восстановителя полукокса степень извлечения никеля составляет 113-115 %?

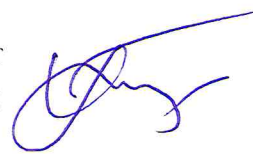
3. В таблице 4 задано 1932,5 кг, а получено 1945,1 кг. Обычно должно быть наоборот.

4. В таблице 4 указано "первичный уголь, вторичный уголь". В чем их различие?

5. Из таблицы 8 видно, что ферроникель загрязнен кобальтом содержание которого доходит до 6%. Откуда он появился, ведь в составе руды его нет? Где будет использоваться такой сплав?

Замечания не снижают общей положительной оценки работы. Она выполнена на высоком научном уровне, имеет несомненный прикладной характер. Считаю, что представленная диссертационная работа отвечает паспорту специальности 05.16.02 – Metallurgy чёрных, цветных и редких металлов, соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утверждённого постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Бут Екатерина Александровна, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук.

Директор Химико-металлургического  
института им. Ж.Абишева, Караганда,  
Казахстан, докт. техн. наук, профессор, Лауреат  
государственной премии Республики Казахстан



С.О. Байсанов

«04 » мая 2018 г.

100009, Республика Казахстан, г. Караганда, ул. Ермекова, 63

Филиал РГП «Национальный центр по комплексной переработке  
минерального сырья Республики Казахстан» «Химико-металлургический  
институт им. Ж. Абишева»

Телефон: 8(7212) 43-31-61, e-mail: hmi2009@mail.ru

Подпись С.О. Байсанова удостоверяю:

Ученый секретарь  
ХМИ Ж. Абишева, Караганда, Казахстан  
канд.техн.наук



Е.Ю.Лу



Отзыв  
на автореферат диссертации  
Бут Екатерины Александровны  
«Исследование карботермического твердожидкофазного восстановления окисленной никелевой руды с целью производства ферроникеля  
в непрерывном кислородном реакторе»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук  
по специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов

Традиционные никельсодержащие сульфидные руды Уральских рудников практически выработаны и предприятия, работавшие по технологиям, связанным с предварительным флотационным обогащением, из-за неблагоприятной экономической ситуации находятся на грани остановки. Необходима коренная модернизация производства с целью перехода на одностадийные процессы выплавки  $\text{ITmk3}$ , использующие рудоугольные брикеты. Но альтернативная технология переработки окисленных никелевых руд в основном разработана для относительно богатых и тугоплавких руд. Поэтому работу Бут Е.А., направленную на создание технологии получения ферроникеля из бедных оксидных никелевых руд и отходов следует признать актуальной.

В основе диссертационной работы лежит хорошо продуманный и организованный физико-химический и технологический эксперимент, направленный на определение механизма восстановления железоникельуглеродных брикетов, с получением ферроникеля, содержащего до 10% никеля.

Объектом исследования являлись рудоугольные брикеты из бедной окисленной руды Буруктадьского месторождения, различных восстановителей и флюсов. В процессе эксперимента осуществлялся контроль состава газовой фазы и текущих проб тела брикета. Технологическое время выдержки брикетов в горячей зоне печи составляло до 15 минут. Оптимальные результаты эксперимента были получены на брикетах, содержащих в качестве восстановителя 5% полукокса, и выдержке в горячей зоне 10-12 минут. В работе также выполнены исследования брикетов, состоящих из смеси гальваношламов, полукокса, цемента, жидкого стекла и органических добавок. В этом случае удалось получить металл с содержанием никеля до 60%, железа до 30%, и степени извлечения металлической составляющей 98%. Содержание фосфора составляло 0,3-0,35% и серы – 0,012-0,04%.

В диссертации на основании собственных экспериментальных данных предложена технологическая схема промышленного агрегата, имеющего подвижную ленту с непроницаемой углеродистой насадкой из угля и известняка, на которую

укладываются в один слой рудоугольные брикеты, зону предварительного нагрева шихты до 600-800 °С, восстановительную зону с максимальной температурой до 1500 °С, зону охлаждения водой до 300 °С и последующей разгрузкой ленты и дроблением и извлечением металлических корольков. В процессе выполнения работы был построен опытно-промышленный реактор, на котором осуществлены экспериментальные плавки. Опытные плавки показали возможность создания промышленного агрегата для переработки бедных окисленных никелевых руд, т.е. технология выплавки ферроникеля из бедной окисленной никелевой руды фактически прошла промышленную апробацию, при этом были разработаны методики определения оптимального состава металлоугольных брикетов и проведения расчетов тепловых балансов.

К числу замечаний, которые можно сделать, следует отнести рекомендации по применению в качестве восстановителя полукокса. В настоящее время полукокс едва ли не такой же дефицитный и дорогой восстановитель, как кокс.

В целом, диссертационная работа Бут Е.А. выполнена на актуальную тему, доложена на Международных конференциях и семинарах, опубликована в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства образования Российской Федерации. Диссертация соответствует требованиям пункта 9 Положения о присуждении ученых степеней, а ее автор, Бут Екатерина Александровна, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – металлургия черных, цветных и редких металлов.

Заслуженный деятель науки РФ,  
доктор технических наук, профессор  
заведующий кафедрой «Материаловедение и физико-химия материалов»,  
ФГАОУ ВО Южно-Уральский государственный университет (НПИ) и на

Михайлов Геннадий Георгиевич

454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76

Тел. 8-912-471-6036

E-mail: [mikhailovgg@susu.ru](mailto:mikhailovgg@susu.ru)

