

СИБИРСКИЙ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ  
УНИВЕРСИТЕТ | SIBERIAN  
FEDERAL  
UNIVERSITY

УТВЕРЖДАЮ:

Проректор по учебной работе

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Сибирский федеральный университет»

660041, Красноярский край,  
г. Красноярск, проспект Свободный, д. 79  
телефон: (391) 244-82-13, тел./факс: (391) 244-86-29  
<http://www.sfu-kras.ru>, e-mail: [office@sfu-kras.ru](mailto:office@sfu-kras.ru)

ОКПО 02067876; ОГРН 1022402137460;  
ИНН/КПП 2463011853/246301001



ФГАОУ ВО «Сибирский  
федеральный университет»

Денис Сергеевич Гуц

» марта 2023 г.

№ \_\_\_\_\_  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

## ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертацию Хоанг Ван Виена  
«Переработка рафинировочного шлака кремниевого производства с получением  
Al-Si сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности  
2.6.2 Metallurgia черных, цветных и редких металлов

Современное металлургическое производство развивается в условиях постоянно растущих требований, в том числе к экологической безопасности и эффективности технологических процессов с точки зрения полноты извлечения ценных компонентов. В соответствии со сказанным тема научной работы Хоанг Ван Виена, направленная на вовлечение в переработку рафинировочного шлака кремниевого производства с целью снижения негативного влияния на экосистему и повышения извлечения кремния в товарный сплав, представляется востребованной и актуальной.

На основании анализа научно-технической литературы и собственных исследований автор предлагает технологию извлечения кремния, присутствующего в рафинировочном шлаке в виде механических потерь, в кондиционный силумин. Для осуществления процесса предлагается переплавка шлака в электропечи в составе шихты, содержащей 70,6 % алюминия, 23,5 % шлака и 5,9 % флюсов (CaF<sub>2</sub>



+ CaO) при температуре 1350–1400 °С. Предложенные условия были определены на основании предварительного термодинамического анализа трехкомпонентной шлаковой системы и предполагаемого химизма протекающих реакций, а также экспериментальных исследований, которые легли в основу построения математической модели, объединяющей основные факторы – температуру, содержание CaF<sub>2</sub> в смеси флюсов и крупность шлаковых частиц. Полученные результаты могут быть представлены как обладающие научной новизной. Их достоверность подтверждена применением стандартных методик исследований, современной аналитической базой и апробированных компьютерных программ.

Практическая значимость результатов работы состоит в предложенных для реализации на АО «Кремний» (Иркутская область) технологии получения силицидов из шихты, содержащей рафинировочный шлак кремниевого производства, а также компьютерных программах для сопровождения процесса. Научно-практический интерес для соответствующего производства подтвержден актом АО «Кремний» от 10.01.2023 г. Помимо указанного, разработки Хоанг Ван Виена внедрены в учебный процесс Иркутского национального исследовательского технического университета для подготовки обучающихся по направлению «Металлургия».

Диссертация состоит из 4 глав, списка литературы (149 источников) и приложений. На основании анализа литературных данных, приведенного в первой главе, автором сформулированы задачи исследований, включающие проведение аналитических исследований по определению состава рафинировочного шлака, изучение и анализ шлаковых систем с подбором флюсов, способствующих улучшению технологических характеристик шлака, экспериментальные исследования по определению оптимальных условий извлечения кремния, разработку технологической схемы переработки рафинировочного шлака, определение экономической эффективности предложенной технологии. Вторая глава посвящена изучению состава объекта исследований с использованием современной аналитической базы. Показано, что основная масса кремния присутствует в металлическом виде,



в том числе в составе интерметаллидов. Сделаны выводы о целесообразности извлечения кремния в виде сплава с алюминием, а также о необходимости введения флюсов для улучшения технологических характеристик шлака и покровных флюсов для исключения окисления металлического алюминия в условиях температур 1350–1400 °С. В третьей главе приводятся сведения, касающиеся формирования технологии переработки рафинировочного шлака с получением силуминов. Обоснованы выбор флюсов и состав шихты, приведены результаты поисковых экспериментов, определены оптимальные параметры процесса, разработана математическая модель. Анализ экспериментальных образцов Al-Si сплавов показал, что они содержат 90–97 % алюминия и 2,3–2,7 % кремния. Как показано в 4 главе (на основании компьютерного моделирования), экспериментальный сплав, содержащий 5,79 % кремния, по свойствам не уступает промышленному сплаву и может быть использован в производстве марочного силумина. Также в главе 4 определена условная экономия от снижения платы за размещение опасных отходов, которая составила ~1,65 млн. рублей при годовом объеме производства кремния 27415,95 тонн.

#### Замечания по работе

1. Несомненно, что соискатель провел большую работу по изучению научно-технической литературы по рассматриваемой проблеме, однако в аналитических обзорах не отражены данные, по которым можно было бы провести сравнение способов переработки кремнийсодержащего сырья, в том числе техногенного – рафинировочного шлака. По сути, автор перечисляет способы, предложенные теми или иными разработчиками, но не дает количественных подтверждений их преимуществ или недостатков.

2. В работе приводится объемное описание проводимых аналитических работ, а также подробно расписаны этапы математического и имитационного моделирования. Однако очень мало внимания уделяется проработке технологической схемы. По сути, приведена блок-схема переработки шлака (рис. 4.12) без описания условий осуществления основных (частично) и вспомогательных операций,



нет аппаратурно-транспортной схемы и расчета основного и вспомогательного оборудования, нет объемно-планировочных решений. Не приведены материальный и тепловой балансы процесса, нет составов газовой фазы, что в условиях использования углеродных восстановителей является актуальным фактором.

3. В соответствии с замечанием, изложенным в п. 2, вызывают сомнения результаты упрощенных экономических расчетов. Так, автор приводит экономию за счет снижения платежей за размещение твердых отходов, однако не указывает, что выбросы углеродсодержащих газов увеличатся, и не показывает, какие затраты будут связаны с этим увеличением.

4. В табл. 4.5 приведена ориентировочная себестоимость получения 1 тонны кремния на действующем производстве. Автор, отталкиваясь от этой цифры, приводит себестоимость с учетом вводимых усовершенствований, но учитывает в себестоимости предлагаемого варианта только снижение платы за размещение техногенных отходов. При этом автором не учитывается, что в эксплуатацию вводится значительное количество оборудования, а амортизационные отчисления остаются без изменений. То же самое можно сказать о дополнительном количестве электроэнергии, о расходе углеродистых материалов, воды и проч. Подобные вычисления можно сделать только после проработки материального и теплового балансов, расчеты которых автор не приводит.

4. На стр. 134 диссертации указан объем образующегося рафинировочного шлака 2,5 тонны в год, что противоречит данным, приведенным на стр. 6 (2,4–2,5 тыс. тонн в год). В соответствии со сказанным, расчеты по формуле (4.1) на стр. 134–135 представляются некорректными.

5. В расчетах по формуле (4.2) используется производительность предприятия по продукту. В формулу подставлено значение производительности действующего предприятия. Было бы справедливым преобразовать данное выражение для учета производительности, которая по проекту увеличивается на 2–2,5 %.

Научные положения и выводы, приведенные в диссертации, обоснованы, их достоверность сомнению не подлежит. Диссертация представляет собой законченную работу. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации и освещает все вопросы, в ней изложенные.

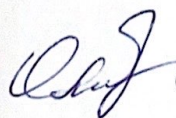


По результатам работы с участием автора опубликовано 16 печатных трудов, в том числе 4 статьи в журналах из перечня ВАК РФ, 1 статья в журнале, входящем в МБД Scopus, получен 1 патент РФ на изобретение, 3 свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, сделаны доклады на профильных конференциях различного уровня.


Таким образом, диссертация Хоанг Ван Виена является научно-квалификационной работой, в которой содержится решение задачи переработки техногенных отходов производства металлургического кремния со снижением негативного воздействия на экосистему, имеющей значение для развития металлургии, что соответствует требованиям п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а ее автор заслуживает присуждения искомой ученой степени.


Отзыв обсужден на заседании кафедры металлургии цветных металлов 10 марта 2023 г., протокол № 5.

Председатель заседания,  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры металлургии  
цветных металлов

 Олейникова Наталья Васильевна

Секретарь заседания  
канд. техн. наук, доцент,  
доцент кафедры металлургии  
цветных металлов

 Васюнина Наталья Валерьевна

  
ФГАОУ ВО СФУ  
Подпись Н.В. Васюнина заверяю  
Делопроизводитель НВ  
«14» 03 2023 г.