

## **АННОТАЦИЯ**

диссертационной работы

**«Создание физико-химической модели структурного состояния системы Fe-Si-Al-Mn-Cr для разработки научных основ получения комплексных ферросплавов на основе концепции Бьеррума-Гуггенгейма»,**  
представленной на соискание степени доктора философии (PhD)  
по образовательной программе 8D07202 – «Металлургия черных и цветных металлов»

**ЕРЕКЕЕВА ГАУЪАР СӘРСЕНҒАЛИҚЫЗЫ**

**Целью диссертационной работы** является термодинамически обосновать растворимость алюминия в комплексных сплавах на основе их диаграмм состояния через осмотический коэффициент Бьеррума-Гуггенгейма и определить оптимальные соотношения элементов в этих сплавах, при которых произойдет полное усвоение расплавом алюминия.

### **Задачи исследования**

– термодинамически обосновать составы кремнеалюминиевых сплавов с повышенным содержанием алюминия системы Fe-Si-Al.

– установить методом термодинамически-диаграммного анализа эффективные составы комплексных сплавов на основе железа, марганца, хрома и алюминия с построением диаграмм фазовых соотношений отдельных частей в системе Fe-Si-Al-Cr-Mn.

– термодинамически-диаграммный анализ системы Fe-Si-Al-Mn с построением диаграмм фазовых соотношений.

– термодинамически-диаграммный анализ системы Fe-Si-Al-Cr с построением диаграмм фазовых соотношений.

– выявление закономерностей и исследование структурного состояния высоко-коэффициентных комплексных сплавов на основе их диаграмм состояния с позиции концепции Бьеррума-Гуггенгейма.

### **Методы исследования**

При выполнении диссертационной работы использованы следующие научно-исследовательские методы:

– проведено термодинамическое моделирование процесса выплавки комплексных ферросплавов;

– проведены исследования по методу Гаусса;

– проведены исследования по матричному методу с определителем четвертого порядка;

– проведены исследования по математическому аппарату описания линий моновариантных фазовых равновесий на основе концепции Бьеррума-Гуггенгейма;

– проведены испытания выплавки сплавов алюмосиликохром и

алюмосиликомарганец на рудно-термической печи мощностью 300 кВА.

**Основные положения (доказанные научные гипотезы и другие выводы, являющиеся новыми знаниями), выносимые на защиту**

– результаты термодинамического моделирование процесса выплавки сплавов алюмосиликохром и алюмосиликомарганец;

– результаты данных по составу и температуре, снятые с полей кристаллизации линий ликвидус и солидус до реперной точки для систем Cr-Al, Mn-Al и Cr-Mn;

– результаты математических выражении полей кристаллизации фаз бинарных систем Cr-Al, Mn-Al и Cr-Mn на единой аналитической основе;

– результаты исследования на основании термодинамическо-диаграммного анализа системы Al-Mn-Fe-Si была определена область составов сплава, соответствующего требованиям для обработки стали и использования для металлотермического восстановления;

– результаты крупно-лабораторных испытания процесса выплавки алюмосиликохрома и алюмосиликомарганца на рудно-термической печи мощностью 300 кВА.

**Описание основных результатов исследования**

В результате теоретических и экспериментальных исследований:

1. С термодинамической точки зрения рассмотрены поля кристаллизации фаз граничных бинарных систем тетраэдров: Fe-Si-Al-Mn и Fe-Si-Al-Cr.

2. Сформированы исходные данные по составу и температуре, снятые с полей кристаллизации линий ликвидус и солидус до реперной точки для систем Cr-Al, Mn-Al и Cr-Mn.

3. Выявлены закономерности поведения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма от отношения активности для жидкой и твердой фаз в виде корреляционных зависимостей.

4. Показан характер изменения осмотического коэффициента Бьеррума-Гуггенгейма для частных систем вдоль линии кристаллизации фаз.

5. Предложены математические выражения полей кристаллизации фаз бинарных систем Cr-Al, Mn-Al и Cr-Mn на единой аналитической основе.

6. На основании термодинамическо-диаграммного анализа системы Al-Mn-Fe-Si была определена область составов сплава, соответствующего требованиям для обработки стали и использования для металлотермического восстановления.

7. Установлено, что расчетные составы сплава AlSiMn находятся в тетраэдре FeSi-Fe<sub>3</sub>Al<sub>11</sub>Si<sub>6</sub>-Si-MnSi.

8. Установлено, что расчетные составы сплава AlSiCr находятся в тетраэдре Al-Si-Fe<sub>3</sub>Al<sub>11</sub>Si<sub>6</sub>-Cr<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>.

9. Определены оптимальные составы сплава алюмосиликомарганца (AlSiMn) применительно к его использованию для обработки стали или

металлотермической восстановительной выплавки рафинированных сортов ферромарганца.

10. Предложены три варианта составов сплава AlSiMn, при котором составы с повышенным содержанием кремния и алюминия предполагается использовать для металлотермической выплавки средне- и низкоуглеродистого ферромарганца, а сплавы с повышенным содержанием марганца и суммы кремния и алюминия не более 50% для обработки сталей. Варианты составов опытного сплава AlSiMn: AlSiMn-10 (Fe-15%, Si-50%, Al-25%, Mn-10%), AlSiMn-20 (Fe-20%, Si-45%, Al-15%, Mn-10%), AlSiMn-30 (Fe-20%, Si-40%, Al-10%, Mn-30%).

11. Проведены испытания выплавки сплава алюмосиликохром с использованием углей месторождения «Сары-Адыр» различной зольности и отсеков высокоуглеродистого феррохрома. В ходе проведенных 3-х этапов выплавки были получены три разновидности марочного состава сплава - AlSiCr-10/50/25, AlSiCr-15/45/25 и AlSiCr-20/40/25.

### **Обоснование новизны и важности полученных результатов**

Проведено термодинамическое обоснование составов кремнеалюминиевых сплавов с повышенным содержанием алюминия в системе Fe-Si-Al. Установлены эффективные составы комплексных сплавов на основе железа, марганца, хрома и алюминия с построением диаграмм фазовых соотношений отдельных частей в системе Fe-Si-Al-Cr-Mn. Выявлены закономерности и исследовано структурное состояние высокоэффективных комплексных сплавов на основе их диаграмм состояния с позиции концепции Бьеррума-Гуттенгейма. Проведены детальные исследования графиков  $\Phi'A_xB_y$  в точке плавления конгруэнтно плавящегося соединения и установлен характер расслоения в жидкой фазе при плавлении для металлических Fe-Cr и Fe-Mn систем.

### **Соответствие направлениям развития науки или государственным программам**

Тема диссертационной работы соответствует по приоритету «Рациональное использование природных ресурсов, в том числе водных ресурсов, геология, переработка, новые материалы и технологии, безопасные изделия и конструкции» Национального научного совета при Правительстве Республики Казахстан.

При выполнении диссертационной работы часть исследовательской работы проводилась в рамках грантового финансирования (ГФ), по проекту «Выявление закономерностей и исследование структурного состояния высокоэффективных комплексных сплавов на основе их диаграмм состояния с позиции концепции Бьеррума-Гуттенгейма» (в рамках ГФ научных и (или) научно-технических проектов на 2020-2022 годы ИРН AP08855453), в котором докторант является ответственным исполнителем. Заявитель: Филиал РГП на ПХВ «Национальный центр по комплексной переработке минерального сырья

Республики Казахстан» Комитета индустриального развития и промышленной безопасности министерства индустрии и инфраструктурного развития Республики Казахстан «Химико-металлургический институт им. Ж. Абишева».

### **Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации**

Личный вклад автора заключается в выполнении основного объема теоретических и экспериментальных исследований, изложенных в диссертационной работе, включая разработку теоретических моделей, методик экспериментальных исследований, проведение исследований, анализ и оформление результатов в виде публикаций и научных докладов.

По теме диссертационной работы опубликованы 6 научных работ, в том числе: 4 (четыре) статьи в рецензируемых научных изданиях по научному направлению темы диссертации, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science (Clarivate Analytics) и по CiteScore в базе Scopus (Elsevier), 2 (две) статьи в сборнике Международной научно-практической конференции.

Сведения об основных публикациях в рецензируемых научных изданиях по научному направлению темы диссертации, индексируемых в Science Citation Index Expanded базы Web of Science (Clarivate Analytics) и по CiteScore в базе Scopus (Elsevier)

1. Yerekeyeva, G., Zhumagaliev, Y.E., Nurumgaliev, A., Mongolkhan O., Davletova, A., Sagynbekova, G. / THERMODYNAMIC-DIAGRAM ANALYSIS OF THE Fe-Si-Al-Cr SYSTEM WITH THE CONSTRUCTION OF DIAGRAMS OF PHASE RELATIONS // Metalurgija. – 2022. Vol 61, Iss. 3-4. – P. 825-827;

2. Yerekeyeva, G., Tolokonnikova, V.V., Baisanov, S.O., Narikbayeva, G.I. / Regularities of phase equilibria based on the Bjerrum-Guggenheim concept for the Fe-Al binary system // CIS Iron and Steel Review. – 2022. Vol 24, Iss. 2. – P. 79-83;

3. Yerekeyeva, G., Tolokonnikova, V.V., Baisanov, S.O., Narikbayeva, G.I., Korsukova I. / THERMODYNAMIC-DIAGRAM ANALYSIS OF THE Fe-Si-Al-Mn SYSTEM WITH THE CONSTRUCTION OF DIAGRAMS OF PHASE RELATIONS // Metalurgija. – 2022. Vol 61, Iss. 3-4. – P. 828-830;

4. Yerekeyeva, G., Nurumgaliev, A., Zhuniskaliyev, T., Shevko, V., Mukhambetgalyev Ye., Kelamanov B., Kuvatbay Ye., Badikova A., Volokitina, I. / Modeling and development of technology for smelting a complex alloy (ligature) Fe-Si-Mn-Al from manganese-containing briquettes and high-ash coals // Scientific Reports-2024. Vol 14(1), P. 7456.

Сведение о докладе, доложенного и обсужденного по результатам диссертационной работы на Международной научно-практической конференции:

1. Ерекеева Г.С., Толоконникова В.В., Нурумгалиев А.Х., Заякин О.В. БЪЕРРУМ-ГУГГЕНГЕЙМ КОЭФИЦИЕНТИ АРҚЫЛЫ FE-SI ЖҮЙЕСІНІҢ ДИССОЦИАЦИЯЛАНУ ДӘРЕЖЕСІ // «Молодежь, наука и техника: пути совершенствования и интеграции»: LIII Республиканской научно-практической конференции. Труды международной научной конференции – Темиртау;

2. Ерекеева Г.С., Нурумгалиев А.Х., Байсанов С., Толоконникова В.В. Теоретический анализ выплавки рафинированных марок феррохрома // Труды XI международного Беремжановского съезда по химии и химической технологии 2021, 19-20 ноября - Алматы