

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Нимонова Ривожам Амировича на тему: «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – **Металлургия чёрных, цветных и редких металлов**

### **1. Актуальность темы диссертации.**

Как и все благородные металлы, серебро является инертным металлом и в природе практически не вступает во взаимодействие с другими веществами. Однако, в этом ряду элементов, оно является наиболее реакционноспособным, поэтому добыча серебра ведется также путем извлечения его попутно при переработке полиметаллических руд, где оно концентрируется в виде примесей. В этом случае очень важно оценить насколько могут компоненты растворяться друг в друге – ограниченно, либо неограниченно. Для оценки возможностей растворимости серебра с различными элементами периодической таблицы Д.И.Менделеева (ПТ) в диссертационной работе предпринимаются научно-теоретические расчетные методы, которые успешно используются в практических целях. В связи с этим, считаю, что представленная тема научной работы Нимонова Р.А., посвящённая изучению взаимодействия и построению диаграмм фазового равновесия двойных и тройных систем с участием серебра для разработки оптимальных составов сплавов, является актуальной.

### **2. Оценка структуры, содержания и оформления диссертации.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, выводов по ним и двух приложений. В списке цитированной литературы 115 наименований. Диссертация оформлена в соответствии с рекомендациями ВАК. В тексте диссертации представлены обобщенные данные результатов экспериментов и их обсуждения. Диссертация в достаточной степени проиллюстрирована фотографиями, рисунками и таблицами. Работа изложена на 117 страницах печатного текста.

**Первая глава** содержит литературный обзор по свойствам, рудам, минералам, методам извлечения, получения и применения серебра в народном хозяйстве, а также по его физико-химическому взаимодействию с элементами периодической таблицы Д.И.Менделеева. На основании последнего соискатель произвел обобщение по типам изученных и построенных двойных диаграмм состояния с их участием в виде метода систематизации сведений сводными таблицами, предложенными известным профессором И.И. Корниловым. В результате им установлено, что двойные системы серебра с другими элементами изучены для 62%.

**Во второй главе** диссертационной работы проведен анализ результатов статистической оценки типов взаимодействия серебра с 80-ю элементами ПТ, который позволил диссертанту уточнить для изученных систем, а для неизученных систем спрогнозировать растворимость в жидком и твердом состояниях, виды невариантных превращений и образование конгруэнтных (инконгруэнтных) соединений, различных металлических фаз и фаз Лавеса. Установлено, что взаимодействие серебра с элементами периодической таблицы поддается прогнозу и достаточно хорошо описывается в общих чертах с помощью используемых соискателем статистических критериев, к которым относятся электроотрицательность, степень окисления, электронная конфигурация, ионизационный потенциал, величины поверхностной энергии, температурный, энтропийный, структурный, размерный факторы и т.д.

**В третьей главе** работы соискателем описаны следующие расчетные данные по двойным системам серебра, полученные в результате применения термодинамического анализа, основанного на теории идеальных, регулярных растворов и двухзонной модели растворимости.

1. Значения энергии смешения ( $Q_{12}$ ) и степени ближнего порядка ( $\sigma_{12}$ ) в системах серебра с более 80-ю элементами ПТ, которые позволили уточнить вид диаграмм состояния этих систем. Например, для положительных значений энергии смешения характерно отсутствие тесного взаимодействия между компонентами изучаемых систем. При определении степени взаимодействия в них автор

применил критерий Джураева – степень ближнего порядка, который позволил разграничить системы серебра с монотектическим типом взаимодействия и с полным его отсутствием в жидком и твердом состояниях. В результате им были впервые построены полные 11-ть диаграмм состояния малоизученных двойных систем (Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W и Ag-Re) серебра с некоторыми элементами ПТ.

2. Значения первой ( $a_1$ ) и второй ( $a_2$ ) концентрационных границ в двухкомпонентных системах Ag-Sn (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra), позволившие для большинства из указанных систем впервые определить максимальную растворимость элементов в серебре при кристаллизации, информация о которой так необходима при разработке технологии глубокой очистки серебра от примесей.

3. Значения констант межчастичного взаимодействия ( $Q_1$  и  $Q_2$ ), которые позволили получить уравнения для расчета коэффициентов активности ( $f_i$ ) и термодинамической активности компонентов ( $a_i$ ), а также свободной энергии Гиббса ( $\Delta G$ ) сплавов систем серебро-халькогены, результаты которых подтвердили существование области монотектического типа взаимодействия на ряду с образованием химических соединений и механических смесей в ранее изученных системах Ag-S, Ag-Se, Ag<sub>2</sub>Se-Se и Ag-Te и позволили впервые установить в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы.

**Четвертая глава** работы посвящена разработке составов промежуточных сплавов систем Ag-Ge-Tl, Cu-Ni-Zn и оптимизации составов сплавов системы Ag-Cu-Ni-Zn в области богатой серебром. При этом исследование взаимодействия компонентов в указанных системах соискателем проводилось с применением микроструктурного и дифференциально-термического методов анализа с измерением жидкотекучести, твердости, прочности и удельного электросопротивления. Использование лигатуры "Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-B" собственного производства для приготовления исследуемого сплава позволило снизить температуру заливки литейных форм с 1030 до 950-975°С, что значительно уменьшило объемную усадку сплава, сократило время заливки форм металлом и создало условия для его

направленной кристаллизации. Полученные автором результаты микроструктурного анализа сплава системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-V показали их мелкокристалличность после добавок титана и бора, что привело к повышению его физико-механических и технологических свойств. Соискателем установлено, что основной структурообразующей фазой в многокомпонентном сплаве системы Ag-Cu-Ni-Zn-Cd-Ti-V является твердый раствор легирующих её компонентов. Этим он объясняет влияние меди, цинка, никеля и кадмия на повышение механических и технологических свойств серебра согласно закону Н.С.Курнакова. Для изучения тройной системы Ag-Ge-Tl с целью разработки легкоплавких составов сплавов, предназначенных для пайки серебрясодержащих изделий, была выбрана модель четвертой степени математического метода планирования экспериментов, а также метод компьютерного моделирования построением пространственной трехмерной модели Т-х-у диаграммы тройной системы Ge-Ag-Tl, представленной в 3D модели реальной системы.

В **заключении** автором сформулированы основные выводы по работе. Они достаточно полно отражают результаты выполненного исследования. Выводы адекватны использованным методам, следуют из полученного экспериментального материала, достаточно аргументированы и хорошо отражают научную и практическую значимость диссертации, что дает основание говорить об обоснованности защищаемых диссертантом положений.

Рассматриваемая диссертационная работа **соответствует паспорту** специальности 05.16.02 - Metallургия чёрных, цветных и редких металлов, в частности:

- п.2. Твёрдое и жидкое состояние металлических, оксидных, сульфидных, хлоридных систем;

- п.3. Твердофазные процессы в металлургических системах;

- п.4. Термодинамика и кинетика металлургических процессов;

- п.5. Металлургические системы и коллективное поведение в них различных элементов;

- п.8. Кристаллизация расплавов;

- п.19. Производство особо чистых металлов и сплавов.

Диссертация написана в форме, позволяющей получить полное и достаточно подробное представление о материалах исследований, проведенных автором. Оформление работы аккуратное, соответствует установленным требованиям.

При использовании сторонних источников в диссертации даются необходимые ссылки.

В диссертации четко определен вклад автора в разработку проблемы в работах, опубликованных коллективно с соавторами.

### **3. Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений.**

Достоверность научных результатов обеспечивается корректностью применения используемых физико-химических основ термодинамического расчета и подтверждается экспериментальными исследованиями. Методика исследований включает в себя использование аппарата теории прогноза и математической статистики, объединяющиеся в теории вычислительных систем. Основные результаты, касающиеся анализа методов и алгоритмов, получены на основе экспериментальных исследований.

### **4. Научная новизна, практическая ценность и реализация результатов работы**

заключается в том, что построенные диаграммы фазового равновесия и полученные расчётом значения термодинамических характеристик сплавов серебра способствуют снижению материальных затрат на эксперименты и повышают экономическую эффективность процессов при разработке технологии ликвационного рафинирования и синтеза новых сплавов, а также дополняют банк справочной литературы новыми данными. Разработанные оптимальные составы сплавов с участием серебра могут быть рекомендованы для ювелирной промышленности. На основании проведенных опытно-промышленных испытаний в филиале ООО Равшан «Зари точик» (г.Душанбе, РТ) принят к внедрению новый серебряный сплав, защищенный малым патентом РТ № ТЈ 1265, содержащий медь,

никель, цинк и кадмий, который имеет ряд преимуществ (например, высокие показатели твёрдости, прочности, жидкотекучести, формозаполняемости и устойчивость в цвете) по сравнению с известным сплавом марки CrM925. Полученный экономический эффект (449650.17 сомони в ценах 2022 года) свидетельствует о возможности внедрения данного оптимизированного состава серебряного сплава в другие отрасли промышленности (художественное литье, электротехнику, приборостроение и т.д.). Общие результаты работы применяются и могут быть использованы в научных исследованиях и в учебном процессе в Таджикском техническом университете им. акад. М. Осими, Таджикском национальном университете и других вузах Республики Таджикистан. На указанные положения к работе прилагаются соответствующие акты внедрения.

#### **5. Подтверждение опубликованных основных результатов в научной печати и соответствие автореферата диссертации.**

Основные положения диссертации опубликованы в печати в 15 научных работах, из них четыре статьи в журналах, включенных в «Перечень рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертации на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук» ВАК при Президенте Республики Таджикистан, а также получен один патент РТ на изобретение.

Научные положения работы, выводы и рекомендации прошли достаточную апробацию на международных и республиканских конференциях.

Содержание автореферата соответствует предъявляемым требованиям и достаточно полно отражает основные положения и научные результаты диссертации, выносимые на защиту. Автореферат написан на русском и таджикском языках.

## 6. Замечания по работе.

1. Соискатель утверждает, что двойные системы щелочных металлов с серебром являются малоизученными (стр. 31). Для двух систем Ag-Cs, Ag-Fr он строит их диаграммы состояния, а вот для двух других систем серебра с K и Rb не построил. Почему, ведь они аналоги?
2. В списке литературы я не увидела ссылки на авторское свидетельство или патент по разработке составов легкоплавких сплавов для пайки серебросодержащих изделий. Почему?
3. С целью облегчения понимания читателей при рассмотрении той части работы соискателя, где применяется термодинамическая величина энергии взаимообмена, используемая им для определения процесса сплавообразования, возможно ли было уподобить эти два класса значений эндотермическим и экзотермическим процессам взаимодействия, широко применяемым в общей термодинамике?
4. При расчёте координат диаграмм состояний двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re и Ag-Os автором не указана погрешность результатов в сравнении с экспериментальными данными.

Следует отметить, что указанные замечания не снижают общей положительной оценки представленной работы, так как выполнен достаточный объем экспериментальной работы на современном оборудовании, для обработки и демонстрации результатов использовалось современное программное обеспечение. Результаты работы были представлены для обсуждения на шести конференциях.

## 7. Заключение

Диссертационная работа Нимонова Ривожа Амировича на тему: «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра» является законченным научно-исследовательским трудом, выполненным автором на высоком научном уровне. Полученные результаты достоверны, выводы обоснованы. Работа написана доходчиво, грамотно и аккуратно оформлена. По актуальности, поставленным целям и задачам, объему проведенных

исследований, новизне полученных результатов, их научной и практической значимости настоящая диссертационная работа отвечает требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК при Президенте Республики Таджикистан (Постановление Правительства Республики Таджикистан № 295 от 26 июня 2023 года), предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Нимонов Р.А., заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

**Официальный оппонент,**

доктор химических наук, профессор,

профессор кафедры «Физическая и коллоидная химия»

Таджикского национального университета



Рахимова Мубаширхон

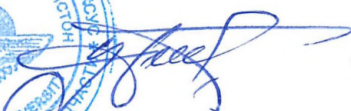
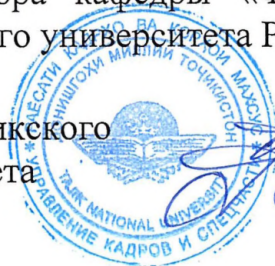
**Почтовый адрес:** 734025, Республика Таджикистан, г. Душанбе, пр. Рудаки, 17, Таджикский национальный университет.

**Тел.:** (+992) 900-06-33-00.

**E-mail:** muboshira09@mail.ru

Подпись д.х.н., профессора кафедры «Физическая и коллоидная химия» Таджикского национального университета Рахимовой М. **заверяю:**

Начальник УК и СЧ Таджикского национального университета



Тавкиев Э.Ш.

Дата: 24.08.23



## **ОТЗЫВ**

**официального оппонента,**

**доктора технических наук, доцента Амонзода Илхома Темура (Амонова Илхомджона Темурбоевича) на диссертационную работу Нимонова Ривожа Амировича на тему: «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Metallургия чёрных, цветных и редких металлов**

### **Актуальность избранной темы**

Области использования серебра постоянно расширяются. В современной промышленности известен сплав серебра с медью и никелем различного состава, который применяют для изготовления медицинских инструментов, столовых приборов и приборов точной механики. Однако, применение этого сплава с известными составами в ювелирном деле, которое к настоящему времени в нашей республике еще более развилось по причинам востребованности изделий народного промысла, затрудняется из-за его невысоких механических и литейных характеристик, что усложняет технологию получения готовых изделий в этой области. Представленная диссертационная работа посвящена актуальному вопросу изучения влияния цинка на серебро и сплав системы Ag-Cu-Ni с целью разработки оптимального состава ювелирного сплава, имеющего улучшенные характеристики физико-механических и технологических свойств.

### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций, их достоверность и новизна**

Обоснованность и достоверность большинства полученных автором научных и практических результатов и сделанных по ним выводов обеспечивается применением фундаментальных положений физико-химического анализа металлических систем и металлургических процессов, математики, термодинамики и информатики, а также обоснованными методами экспериментальных исследований и достаточной их сходимостью с

теоретически полученными результатами. Достоверность результатов, полученных в работе, подтверждается внедрениями в производственный и учебный процессы и одобрением результатов исследований на научно-практических конференциях различного уровня.

Основные положения диссертационной работы являются обоснованными, базируются на концептуальном подходе к решению проблемы и имеют научную новизну. Научные результаты, выводы и рекомендации, сформированные в заключении диссертации, являются логическим завершением разработанных теоретических положений, результатов комплекса теоретико-экспериментальных исследований автора, основой для дальнейших перспективных исследований в данном направлении, создания рекомендаций науке и производству.

Тема диссертации, цель и положения, выносимые на защиту, полностью отражают суть работы. Поставленные задачи исследования реализуемы и позволяют достичь заявленную цель.

Предложенные технические решения реализуемы на практике, что подтверждается экспериментальными исследованиями. Достоверность полученных результатов не вызывает сомнения.

### **Значимость для науки и практики результатов диссертации**

Научная значимость результатов исследований, а также выводов и рекомендаций заключается в разработке комплекса научно-технологических решений, направленных на оптимизацию состава стандартного сплава марки СpМ925 и разработку составов припойных сплавов, для применения в ювелирном деле. Новизна полученных в работе решений подтверждается патентом РТ на изобретение. Соискателем произведена оптимизация сплавов системы Ag-Cu-Ni-Zn на основании анализа взаимодействия в двух- и трехкомпонентных системах, составляющих четырехкомпонентную и экспериментально доказано превосходство отдельных характеристик сплавов по сравнению с известными.

Теоретическая значимость заключается в обосновании выбора составов сплавов изучаемых систем и разработке математических моделей для некоторых из них.

Практическая значимость заключается в разработке оптимальных составов сплавов с участием серебра, которые могут быть рекомендованы для ювелирной промышленности. Практическую применимость подтверждают акты внедрения. Полученный экономический эффект свидетельствует о возможности внедрения данного оптимизированного состава серебряного сплава в другие отрасли промышленности (художественное литье, электротехнику, приборостроение и т.д.).

### **Оценка содержания диссертации, её целостность и завершенность**

Тема диссертации соответствует паспорту заявленной научной специальности 05.16.02 - Metallургия чёрных, цветных и редких металлов.

Методологически диссертационная работа построена логично, написана грамотным научным языком, аккуратно оформлена в соответствии с ГОСТ. Корректность изложения научного материала, наглядная иллюстрация полученных результатов в виде таблиц, графиков и структурных схем позволяют объективно оценить содержание, выводы и значимость проведенных научных исследований.

Диссертация состоит из четырех глав. Задачи, поставленные соискателем в работе, последовательно решались в главах и логически вписались в структуру диссертации.

В первой главе автором выполнен анализ изученности взаимодействия в двойных системах серебра с другими элементами периодической таблицы Д.И. Менделеева и применимость сплавов серебра в различных отраслях промышленности. Проведенный анализ показал актуальность рассмотрения неизученных систем с участием серебра и позволил соискателю сформировать общие задачи исследования.

Глава вторая посвящена статистическому прогнозу типов взаимодействия в малоизученных и неизученных системах с участием серебра в твердом и жидком

состояниях, а также проведению оценки вероятности образования невариантных превращений и химических соединений в двойных системах с его участием.

Третья глава включает методику и результаты термодинамического расчета в двойных системах с участием серебра, где установлен тип взаимодействия. С помощью такого подхода соискателем решается ряд поставленных задач, а именно: рассчитываются термодинамические константы межчастичного взаимодействия, активности, энергия смешения, свободная энергия Гиббса и границы растворимости различных компонентов с серебром. На основе проведенных расчетов соискателем впервые построены полные диаграммы состояния малоизученных двойных систем Ag-C, Ag-B, Ag-Cs, Ag-Fr, Ag-V, Ag-Nb, Ag-Mo, Ag-Ru, Ag-Ta, Ag-W, Ag-Re и Ag-Os; впервые определена максимальная растворимость элементов в серебре при кристаллизации в двухкомпонентных системах Ag-Sn (Ge, Pb, Si, Yb, Ca, Eu, Sr, Ba и Ra), подтверждено существование области монотектического типа взаимодействия на ряду с образованием химических соединений и механических смесей в ранее изученных системах Ag-S, Ag-Se, Ag<sub>2</sub>Se-Se и Ag-Te, что позволило автору впервые установить в них координаты критического распада гомогенного раствора на две гетерогенные фазы.

В четвертой главе соискатель описывает исходные материалы и методы экспериментальных исследований. Представлены результаты изучения взаимодействия в системах Ag-Cu-Ni-Zn и Ag-Ge-Tl в области богатой серебром. Сделаны рекомендации производству.

Основные результаты и выводы представлены в заключении.

### **Апробация работы, публикации и соответствие автореферата диссертации**

Основное содержание и результаты работы докладывались и обсуждались на: III и IV республиканских научно-практических конференциях ТТУ им. акад. М.С. Осими «Наука – основа инновационного развития» (Душанбе, 2018, 2019); Республиканской научно-практической конференции МИСиС «Проблемы горно-металлургической промышленности» (Душанбе, 2018); Республиканской

научно-практической конференции ТТУ им. акад. М.С. Осими «Основные проблемы полной переработки хлопка в Республике Таджикистан» (Душанбе, 2021); Республиканской научно-практической конференции ТТУ им. акад. М.С. Осими «Повышение культуры использования водных ресурсов – важная проблема в современном мире» (Душанбе, 2021); Международной научно-практической конференции ТТУ им. акад. М.С. Осими «Современные проблемы металлургической промышленности» (Душанбе, 2021).

По результатам проведенных исследований опубликовано 15 работ, в том числе 4 статьи в журналах из перечня, рекомендованного Высшей аттестационной комиссией при Президенте Республики Таджикистан для публикации результатов диссертационных работ, и получен 1 патент РТ на изобретение.

Автореферат кандидатской диссертации Нимонова Р.А. полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

### **Замечания по диссертации**

1. На странице 70 диссертации приводится рисунок 3.5, на котором изображены диаграммы состояния, построенные автором с разрывами. Что помешало соискателю избежать такого обстоятельства и выстроить рассчитанные диаграммы состояния полнее с обозначениями необходимых показателей координат?

2. В четвертой главе автор не приводит подробного описания экспериментальных установок, лишь ссылается на них. Почему он опустил такую, на мой взгляд, полезную информацию?

3. В списке использованных источников информации соискатель из 100 ссылок приводит лишь две ссылки на электронный ресурс Всемирных сетей Интернета. В современных условиях использование различных порталов Интернета стало весьма доступным, поэтому следовало бы расширить список ссылок на электронный ресурс.

### **Заключение**

Диссертационная работа Нимонова Ривожа Амировича на тему: «Физико-химические основы оптимизации сплавов на основе серебра» представляет законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технические решения по разработке и оптимизации серебрясодержащих сплавов, создание которых является важной народно-хозяйственной задачей для ювелирной, металлургической, электротехнической и химической промышленности.

Диссертационная работа Нимонова Ривожа Амировича по актуальности исследований соответствует критериям, изложенным в пунктах «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Республики Таджикистан от № 295 от 23 июня 2023 года, которые предъявляются к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а её автор, Нимонов Ривож Амирович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 – Металлургия чёрных, цветных и редких металлов.

**Официальный оппонент,**

доктор технических наук, доцент,  
ректор Технологического университета  
Таджикистана



Амонзода Илхом Темур  
(Амонов Илхомджон Темурбоевич)

**Почтовый адрес:** 734061, Республика Таджикистан, г. Душанбе, ул. Н.Карабаева 63/3, Таджикский национальный университет.

**Тел.:** (+992) 918-68-79-21.

**E-mail:** ilhomamonov@mail.ru

Подпись д.т.н., доцента, ректора Технологического университета Таджикистана  
Амонзода И.Т. **заверяю:**

Заведующий ОК и СР ТУТ



Бухориев Н.А.

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

