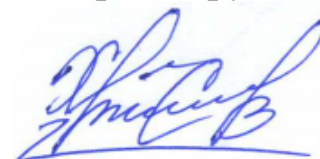


На правах рукописи



**ХУДОЙБЕРДИЗОДА САИДМИРИ УБАЙДУЛЛО**

**ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МЕДИ И ТЕЛЛУРА НА ФИЗИКО –  
ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СВИНЦА И СВИНЦОВО –  
СУРЬМЯННОГО СПЛАВА  $SSu_3$**

**02.00.04. - физическая химия**

**АВТОРЕФЕРАТ**

**диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

**Душанбе – 2020**

Работа выполнена в лаборатории «Коррозионностойкие материалы» ГНУ «Института химии им. В. И. Никитина» НАНТ.

**Научный руководитель:** **Ганиев Изатулло Наврузович** – доктор химических наук, профессор, академик Национальной академии наук Таджикистана

**Официальные оппоненты:** **Зарипова Мохира Абдусаломовна** – доктор технических наук, доцент, кафедры «Теплотехника и теплоэнергетика». Таджикский технический университет имени академика М.С.Осими

**Курбонова Мукадас Завайдовна** – кандидата химических наук, заведующей кафедрой «Методики преподавания химии» Таджикского национального университета

**Ведущая организация:** Таджикский государственный педагогический университет им. С. Айни, кафедра «Общетехнических дисциплин и машиноведения».

Защита состоится: «07» декабря 2020 г. в 12<sup>00</sup> часов на заседании диссертационного совета Д 047.003.03 ГНУ «Института химии им. В. И. Никитина» НАНТ, Республика Таджикистан 734063, г. Душанбе, ул. Айни, 299/2. E-mail: [dissovet@ikai.tj](mailto:dissovet@ikai.tj)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ГНУ «Института химии им. В. И. Никитина» НАНТ [www.chemistry.tj](http://www.chemistry.tj)

Автореферат разослан «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 года

И. о. учёного секретаря  
диссертационного  
совета, д.х.н., профессор



Исобаев М.Дж.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Металлическая оболочка кабелей, выполняемая из свинцового сплава, наряду с обеспечением герметичности должна быть вибростойкой, т.е. не разрушаться под воздействием вибрации в процессе эксплуатации на скважине; сохранять стабильную структуру и механические свойства при нагревании; иметь достаточно высокое сопротивление ползучести, т.е. не деформироваться под действием хотя и небольших, но длительных нагрузок; обеспечивать срок службы, т.е. срок сохранения всех ее основных свойств, не менее срока службы кабеля в целом. Основным материалом для оболочек из свинцового сплава является технически чистый свинец, представляющий собой мягкий блестящий металл плотностью  $11,4\text{г/см}^3$ , имеющий температуру плавления  $327^{\circ}\text{C}$ .

Свинец в сравнении с другими металлами обладает малой химической активностью и высокой коррозионной стойкостью. К недостаткам свинцовых оболочек, выполняемых из свинца при общем количестве примесей до 0,1%, в первую очередь следует отнести низкие механическую прочность, вибростойкость и сопротивление ползучести. Для повышения вибростойкости оболочек наиболее эффективным средством является применение не технически чистого свинца, а его сплавов. Введение в состав свинца легирующих элементов: сурьмы, олова, кадмия, теллура, мышьяка и др., образующих различные химические соединения и твердые растворы, существенно улучшает механические свойства свинца. Легирующие присадки, как правило располагаясь по границам зерен свинца, препятствуют их росту и тем самым повышают вибростойкость оболочки.

Со второй половины 60 – х годов в течение примерно 25 лет отраслевыми НИИ при участии отдельных заводов кабельной отрасли проведено исследование различных сплавов на основе свинца, и было доказано, что только его комплексное легирование малыми добавками сурьмы, теллура и меди может обеспечить высокую долговечность и надежность кабельной оболочки в сложных условиях эксплуатации и хорошие свойства при прессовании. В плане механических характеристик основной эффект от легирования сурьмой состоит в значительном повышении вибростойкости и прочности. Добавка меди повышает сопротивление ползучести, усталости, механическую прочность и способствует равномерному распределению сурьмы в сплаве. Легирование свинца теллуrom значительно повышает его прочность, вибростойкость и пластичность. Для таких сплавов характерна мелкозернистая термостабильная структура.

Комплексное легирование свинца сурьмой, теллуrom и медью в оптимальных концентрациях позволило получить высокоэффективные сплавы для защитных кабельных оболочек. Свинцовый сплав  $\text{Pb} - \text{Sb} - \text{Cu} - \text{Te}$  обеспечивает кабельной оболочке высокое сопротивление усталости, ползучести и активной деформации в широкой области температур, а также хорошую технологичность при ее изготовлении. Основной для такого комплекса положительных характеристик является специфическая мелкозернистая термостабильная структура, обуславливающая стабильность

свойств при эксплуатации. Сплавы вышеуказанной композиции находятся на уровне мировых стандартов – они обладают лучшим комплексом эксплуатационных и технологических характеристик по сравнению с наиболее перспективными отечественными и иностранными аналогами. Основным сплав этой системы ССуМТ, состава Pb + (0,30-0,45)% Sb + (0.02-0.05)% Cu + (0.03-0.05)% Te, включен в ГОСТ1292-74 на сурьмянистый сплав. Обладая максимальным уровнем механических свойств, он используется для кабелей, эксплуатируемых в наиболее тяжелых условиях: кабели маслonaполненные; связи; в изделиях, транспортируемых на большие расстояния; для производства свинцовых труб. Данный сплав является одним из лучших для металлических оболочек термостойких кабелей. Свинец широко применяют в производстве свинцовых аккумуляторов. Основным недостатком свинцовых аккумуляторов является малый срок службы, особенно в условиях эксплуатации, связанной с вибрацией и тряской, и большой удельный вес. К числу главных причин, снижающих срок службы свинцовых аккумуляторов, относятся коррозия решёток положительного электрода и оплывание положительной активной массы.

**Цель работы** является разработка состава новых композиций сплавов с улучшенными характеристиками путём установления температурных зависимостей теплоёмкости и изменений термодинамических функций, кинетических и анодных характеристик свинцово – сурьмянного сплава ССуЗ с медью и теллуrom.

**В связи с поставленной целью в диссертационной работе решены следующие задачи:**

- изучена температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия, энергия Гиббс) сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom;
- исследована кинетика окисления сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom, в твёрдом состоянии и определены механизм их окисления;
- изучена концентрационная зависимость изменений анодных характеристик сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom и выявлена влияние концентрации хлорид-иона на коррозионную стойкость сплавов, в среде электролита NaCl.

**Научная новизна работы.** Установлены основные закономерности температурной зависимости теплоёмкости и изменений термодинамических функций (энтальпия, энтропия и энергия Гиббса) сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom в зависимости от количества легирующего элемента. Показано, что с ростом температуры теплоёмкость, энтальпия, энтропия сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается. С повышением концентрации меди и теллура теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается.

Показано, что с повышением температуры скорость окисления сплавов свинца и свинцово сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром, в твёрдом состоянии увеличивается. Добавки меди в пределах 0.01-0.5 мас.% уменьшает истинную скорость окисления свинца и сплава  $\text{ССуЗ}$ , что сопровождается увеличением величины эффективной энергии активации процесса окисления сплавов. От концентрации теллура величина эффективной энергии активации сплавов уменьшается, т.е. устойчивость сплавов свинца и свинцово сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , к высокотемпературному окислению падает. С помощью полином кривых окисления сплавов установлено, что процесс окисления в выше указанных системах подчиняется гиперболическому закону.

Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развёртки потенциала 2мВ/с установлено, что легирующие компоненты до 0.5 мас.% повышают коррозионную стойкость свинца и свинцово – сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$  на 20 – 30%, в среде электролита NaCl.

При этом с повышением концентрации легирующего компонента отмечается сдвиг потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации в положительную область значений. С увеличением концентрации хлорид-иона в электролите указанные электрохимические потенциалы сплавов уменьшаются, скорость коррозии увеличивается. При переходе от сплавов с медью к сплавам с теллуром наблюдается уменьшение скорости коррозии сплавов.

**Практическая значимость работы** заключается в разработке и оптимизации состава сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром для использования в различных отраслях промышленности и защите их малым патентом Республики Таджикистан.

#### **Методы исследования и использованная аппаратура:**

- метод исследования теплоёмкости сплавов в режиме «охлаждения» с использованием автоматической регистрации температуры образца от времени охлаждения;
- термогравиметрический метод исследования кинетики окисления металлов и сплавов, в твёрдом состоянии;
- потенциостатический метод исследования анодных свойств сплавов на приборе ПИ 50-1.1 в потенциодинамическом режиме;
- математическая обработка результатов проводилась с использованием стандартного пакета приложения и программ Microsoft Excel и Sigma Plot.

**Основные положения, выносимые на защиту.** Результаты исследования температурных зависимостей теплоёмкости и изменений термодинамических функций сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром; кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром, а также механизм окисления сплавов; зависимости анодных характеристик и скорость коррозии сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром от концентрации легирующего элемента, в среде электролита NaCl; установленные оптимальные концентрации меди и теллура

как легирующего компонента, улучшающих коррозионную стойкость сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $\text{ССуЗ}$ , с медью и теллуром.

**Личный вклад автора** заключается в анализе литературных данных, в постановке и решении задач исследований, подготовке и проведении экспериментальных исследований в лабораторных условиях, анализе полученных результатов, в формулировке основных положений и выводов диссертаций.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Основные положения диссертации обсуждались на: Межд. научно-практической конференции «Современные проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», посвященной 10-летию Филиала МГУ им.М.В.Ломоносова (Душанбе, 2019г); VIII Межд. научно-практической конференции «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвященной «Дню химика»; (Душанбе, 2018г); Межд. научно-практической конференции, студентов, магистрантов, соискателей и молодых учёных «Мухандис-2019» ТТУ им. М.С. Осими (Душанбе, 2019г); XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан» (Душанбе, 2019г).

**Публикации.** По результатам исследований опубликовано 13 научных работ, из них 5 в журналах, рекомендованных ВАК Российской Федерации, получен малый патент Республики Таджикистан (№ТJ1001).

**Объем и структура диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав и приложения, изложена на 150 страницах компьютерного набора, включает 57 рисунков, 61 таблиц, 105 библиографических наименований.

**Во введении** изложены предпосылки и основные проблемы исследования, обоснована актуальность работы, раскрыта структура диссертации.

**В первой главе** представлен обзор литературных данных в области применения свинца и его сплавов; теплоёмкость и термодинамические функции свинца с щелочноземельными металлами, свинца с бериллием, алюминием и магнием, и сплава  $\text{ССуЗ}$  с щелочноземельными; особенности высокотемпературного окисления свинца и его сплавов; влияние щелочноземельных металлов на анодное поведение свинца и сплава  $\text{ССуЗ}$ . На основе выполненного обзора показано, что теплофизические и термодинамические свойства, кинетика окисления, анодное поведение сплавов свинца с бериллием, магнием, алюминием и щелочноземельными металлами хорошо изучены, чего нельзя сказать о сплавах свинца и свинцо-сурьмяном сплаве  $\text{ССуЗ}$  с медью и теллуром, т.е. для данной группы сплавов имеются лишь скудные отрывочные сведения.

Таким образом, в связи с отсутствием систематических данных о физико-химических свойствах свинца и сплава  $\text{ССуЗ}$  с медью и теллуром последние были взяты в качестве объекта исследования в данной диссертационной работе.

**Во второй главе** приведены результаты исследования теплофизических свойств и изменений термодинамических функций сплавов свинца и свинцово – сурьмянного сплава  $SSuZ$ , с медью и теллуром.

**Третья глава** посвящена экспериментальному исследованию кинетики окисления сплавов свинца и свинцово–сурьмянного сплава  $SSuZ$ , с медью и теллуром.

**В четвертой главе** приведены результаты потенциодинамического исследования анодной устойчивости сплавов свинца и свинцово – сурьмянного сплава  $SSuZ$ , с медью и теллуром

Диссертационная работа завершается общими выводами, списком цитированной литературы и приложением.

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МЕДИ И ТЕЛЛУРА НА ТЕПЛОЁМКОСТИ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ СПЛАВОВ СВИНЦА И СВИНЦОВО – СУРЬМЯННОГО СПЛАВА $SSuZ$**

Измерение теплоемкости сплавов в режиме «охлаждения» производилось на установке, в основу работы которой положен метод С-калориметра с тепломером и адиабатической оболочкой.

Для измерения удельной теплоёмкости металлов применяли закон охлаждения Ньютона - Рихмана. Любой предмет, имея температуру выше окружающей среды, охлаждается, и скорость его охлаждения зависит от коэффициента теплоотдачи и величины теплоёмкости тела.

При сравнении кривых охлаждения двух металлических стержней определенной формы (температуры, как функции времени), из которых один является эталоном (известны его скорость охлаждения и теплоёмкость) можно рассчитать теплоёмкость другого стержня при расчёте скорости его охлаждения.

Теряемое ранее разогретым телом массой  $m$  при его охлаждении на  $dT$  градусов количество теплоты  $\delta Q$ , рассчитано по формуле.

$$\delta Q = C_p^0 m dT \quad (1)$$

где  $C_p^0$  – удельная теплоёмкость вещества, из которого состоит тело.

Количество теплоты  $\delta Q_s$  будет пропорционально разности температур тела  $T$  и окружающей среды  $T_0$ , площади поверхности  $S$  и времени:

$$\delta Q_s = -\alpha (T - T_0) \cdot S dt \quad (2)$$

Если тело выделяет тепло так, что температура всех его точек изменяется одинаково, то будет справедливо равенство:

$$\delta Q = \delta Q_s \text{ и } C_p^0 m dT = -\alpha (T - T_0) \cdot S dt \quad (3)$$

Выражение (3) можно представить в виде:

$$C_p^0 m \frac{dT}{dt} = -\alpha (T - T_0) S \quad (4)$$

Полагая, что  $C_p^0$ ,  $\alpha$ ,  $T$  и  $T_0$  в малых интервалах температур не зависят от координат точек поверхности образца, разогретых до равной температуры окружающей среды, для двух образцов соотношение (4) будет следующим:

$$C_{p_1}^0 m_1 s_1 \alpha_1 \left(\frac{dT}{dt}\right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 s_2 \alpha_2 \left(\frac{dT}{dt}\right)_2. \quad (5)$$

Применение данного равенства для двух образцов, один из которых является эталоном, имеющих равные состояния поверхностей и размеры ( $S_1=S_2$ ), предполагает, что их коэффициенты теплоотдачи будут равны  $\alpha_1=\alpha_2$  и будут выражаться уравнением

$$C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{dt}\right)_1 = C_{p_2}^0 m_2 \left(\frac{dT}{dt}\right)_2 \quad (6)$$

Из этого уравнения, зная удельную теплоёмкость  $C_{p_1}^0$ , скорости охлаждения эталона  $\left(\frac{dT}{dt}\right)_1$  и измеряемого образца  $\left(\frac{dT}{dt}\right)_2$  и массы образцов  $m_1$  и  $m_2$ , можно рассчитать теплоёмкость неизвестного вещества  $C_{p_2}^0$

$$C_{p_2}^0 = \frac{C_{p_1}^0 m_1 \left(\frac{dT}{dt}\right)_1}{m_2 \left(\frac{dT}{dt}\right)_2}. \quad (7)$$

Для оправданности такого допущения экспериментально были установлены зависимости температуры образцов от времени охлаждения для алюминия и меди. Полученные значения теплоемкости хорошо согласуются с литературными данными. Температурный диапазон измерения - до 800 К. Относительная ошибка измерения температуры в интервале от 313 до 700 К составляла  $\pm 1\%$ . Погрешность измерения теплоемкости по данной методике не превышает 6%.

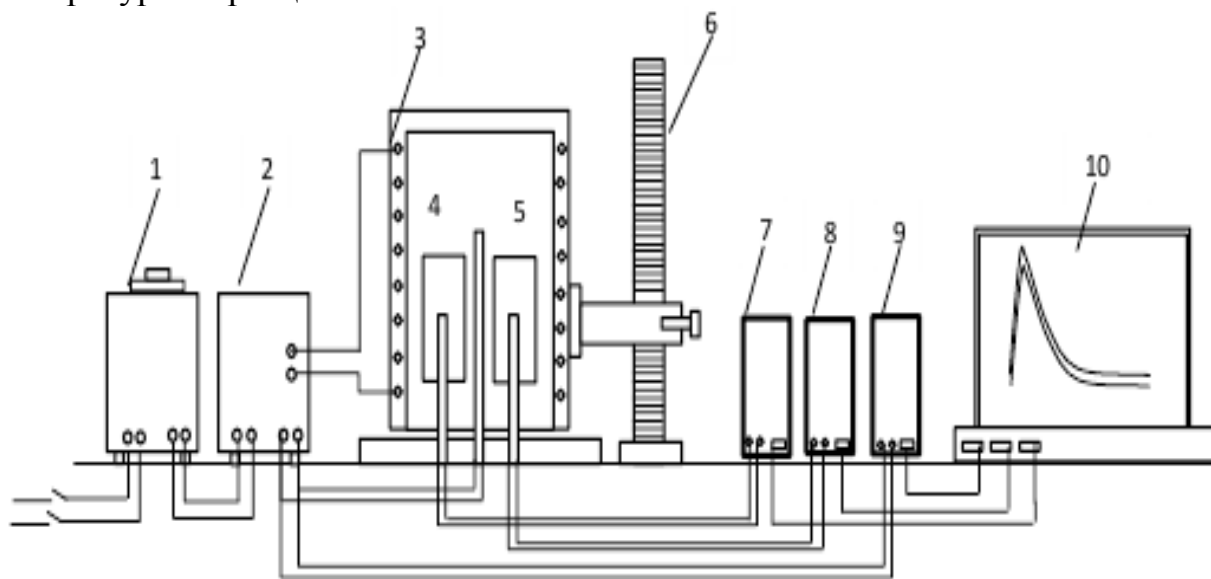
***В рамках данной работы исследовано влияние меди и теллура на теплоемкость и изменений термодинамических функций свинца и свинцово сурьмяного сплава ССуЗ.*** Сплавы для исследования получали в шахтных лабораторных печах сопротивления типа СШОЛ в интервале температур 650 – 700<sup>0</sup>С из свинца марки С2 (99,95% Pb) (ТУ 3778-89); сурьмы металлической марки Су00 (ТУ 1089-82), меди марки М00 (ТУ 859-66), теллура марки (ТУ 17614-80). Лигатуры свинца и свинцово-сурьмяного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom предварительно синтезировались в вакуумной печи сопротивления. Из полученных сплавов в графитовую изложницу отливали образцы диаметром 16 мм и длиной 30 мм.

Состав полученных сплавов выборочно контролировался химическим анализом, а также взвешиванием образцов до и после сплавления. В дальнейшем исследованию подвергались сплавы, у которых разница в массе до и после сплавления не превышала 1,5-2% (отн.).

Исследование теплоёмкости металлов проводилось на установке, схема которой представлена на рисунке 1. Схема установки для измерения теплоёмкости твёрдых тел, включает узлы: электропечь (3), смонтированная на стойке (6), по которой она может перемещаться вверх и вниз. Образец (4) и эталон (5) (тоже могут перемещаться) представляют собой цилиндр длиной 30 мм и диаметром 16 мм с высверленными каналами с одного конца, в которые вставлены термопары (4 и 5). Концы термопар подведены к цифровому термометру «Digital Multimeter DI9208L» (7, 8 и 9). Электропечь запускается



через лабораторный автотрансформатор (ЛАТР) (1), установив нужную температуру с помощью терморегулятора (2). По показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L» (7,8 и 9), фиксируется значение начальной температуры. Вдвигаем образец и эталон в электропечь, и нагреваем до нужной температуры, контролируя температуру по показаниям цифровых термометров «Digital Multimeter DI9208L» на компьютере (10). Образец и эталон одновременно выдвигаем из электропечи и с этого момента фиксируем температуру. Записываем показания цифрового термометра «Digital Multimeter DI9208L» (7,8 и 9) на компьютер через каждый (5, 10, 20с), до охлаждения температуры образца и эталона ниже  $35^{\circ}\text{C}$ .



**Рисунок 1.** Установка для определения теплоёмкости твёрдых тел в режиме «охлаждения»: 1-автотрансформатор; 2-терморегулятор; 3-электропечь; 4-образец измеряемый; 5-эталон 6-стойка электропечи; 7-цифровой термометр измеряемого образца; 8-цифровой термометр общего назначения; 9-цифровой термометр эталона; 10-регистрационный прибор.

Температурную зависимость теплоемкости сплавов системы Pb-Cu изучали в режиме «охлаждения» в интервале температур 298,15-550К. Полученные в ходе эксперимента кривые зависимости температуры от времени охлаждения эталона и образцов из сплавов системы Pb-Cu, представлены на рисунке 2 и описываются уравнением вида

$$T = a e^{-b\tau} + p e^{-k\tau} \quad (8)$$

Дифференцируя уравнения (8) по  $t$ , получаем уравнение для определения скорости охлаждения сплавов

$$dT / dt = -abe^{-b\tau} - pke^{-k\tau} \quad (9)$$

По уравнению (9) нами рассчитаны скорость охлаждения образцов из сплавов системы Pb-Cu, которые графически представлены на рисунке 3. Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  для исследованных сплавов уравнении (9) приведены в таблице 1.

**Таблица 1.** Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $p$ ,  $k$ ,  $ab$ ,  $pk$  уравнения (9) для сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00)

Содержание меди в свинце, мас.%	$m$ , г	$a$ , К	$b \cdot 10^3$ , $с^{-1}$	$p$ , К	$k \cdot 10^5$ , $с^{-1}$	$ab$ , $К \cdot с^{-1}$	$pk$ , $К \cdot с^{-1}$
0.0	67.29	224,29	10,7	314.93	3.28	2,40	0.010
0.01	67.18	237,82	9,16	316,72	2,78	2,19	0.0088
0.05	67.14	238,48	7,82	317,23	2,93	1,86	0.0093
0.1	65.77	242,44	8,82	317.93	2,97	2,14	0.0095
0.5	65.01	244,06	8,55	315,68	2,86	2,09	0.0090
Эталон (Cu марки M00)	49.17	96,90	4,57	327,12	4,61	0,44	0.015

Далее, по рассчитанным значениям величин скорости охлаждения эталона (Cu марки M00) и образцов из сплавов системы Pb-Cu по уравнению (7) была вычислена их удельная теплоёмкость. При этом использовалось программа SigmaPlot.

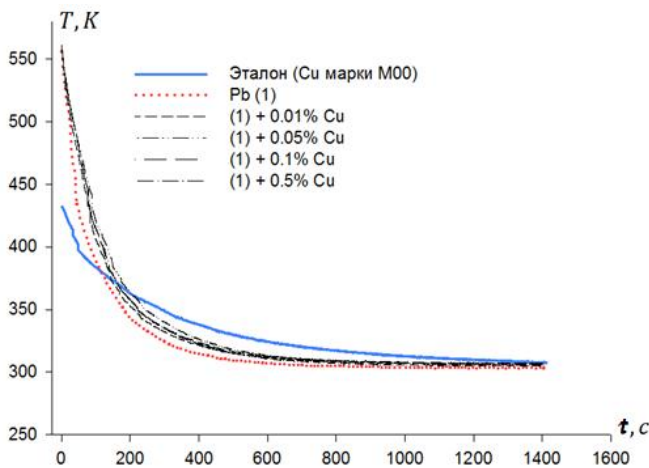
В таблице 2 представлены значения коэффициентов полиномы температурной зависимости удельной теплоёмкости эталона и образцов из сплавов системы Pb-Cu, которые описывается уравнением типа

$$C^0_p = a + bT + cT^2 + dT^3. \quad (10)$$

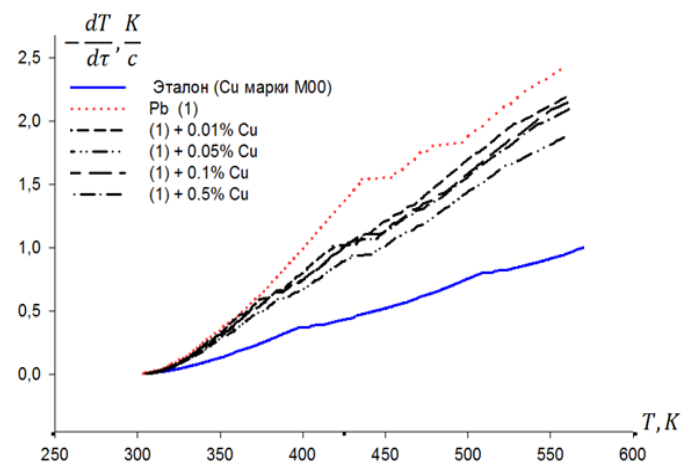
Результаты расчёта температурной зависимости удельной теплоёмкости сплавов по формулам (7) и (10) через 50 К представлены в таблице 3 и на рисунке 4. Как видно, что с ростом температуры и содержания медью в исходных сплавах, теплоёмкость сплавов увеличивается.

**Таблица 2.** Значения коэффициентов  $a$ ,  $b$ ,  $c$ ,  $d$ , уравнение (10) для сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00)

Содержание меди в свинце, мас.%	$a$ , Дж/кг·К	$b$ , Дж/кг·К <sup>2</sup>	$c$ , Дж/кг·К <sup>3</sup>	$d$ , Дж/кг·К <sup>4</sup>
0.0	336,37	-1,63	4,06	-3,15
0.01	335,97	-1,64	4,15	-3,27
0.05	335,02	-1,63	4,16	-3,29
0.1	334,17	-1,62	4,18	-3,33
0.5	331,06	-1,60	4,22	-3,41
Эталон (Cu марки M00)	324.45	0,27	-0,29	0,14



**Рисунок 2.** График зависимости температуры от времени охлаждения для образцов из сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00).



**Рисунок 3.** Температурная зависимость скорости охлаждения образцов из сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00).

**Таблица 3.** Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00)

Содержание меди в свинце, мас. %	Т.К						Рост $C^0_{p0}$ , %
	300	350	400	450	500	550	
0.0	127,69	128,13	132,32	137,92	142,55	143,85	12,65
0.01	129,20	130,16	134,71	140,38	144,74	145,32	12,48
0.05	131,59	133,06	138,06	144,11	148,77	149,54	13,65
0.1	134,01	135,83	141,05	147,16	151,67	152,08	13,48
0.5	138,80	141,81	148,03	154,88	159,82	160,28	15,48
Рост $C^0_{p0}$ , %	8,69	10,68	11,87	12,30	12,12	11,42	
Эталон (Cu марки M00)	384,99	391,67	397,66	403,07	408,00	412,57	7,16

Для расчёта температурной зависимости изменений энтальпии, энтропии и энергии Гиббса по (11)-(13) были использованы интегралы от удельной теплоёмкости по уравнению (10):

$$[H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] = a(T - T_0) + \frac{b}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{c}{3}(T^3 - T_0^3) + \frac{d}{4}(T^4 - T_0^4); \quad (11)$$

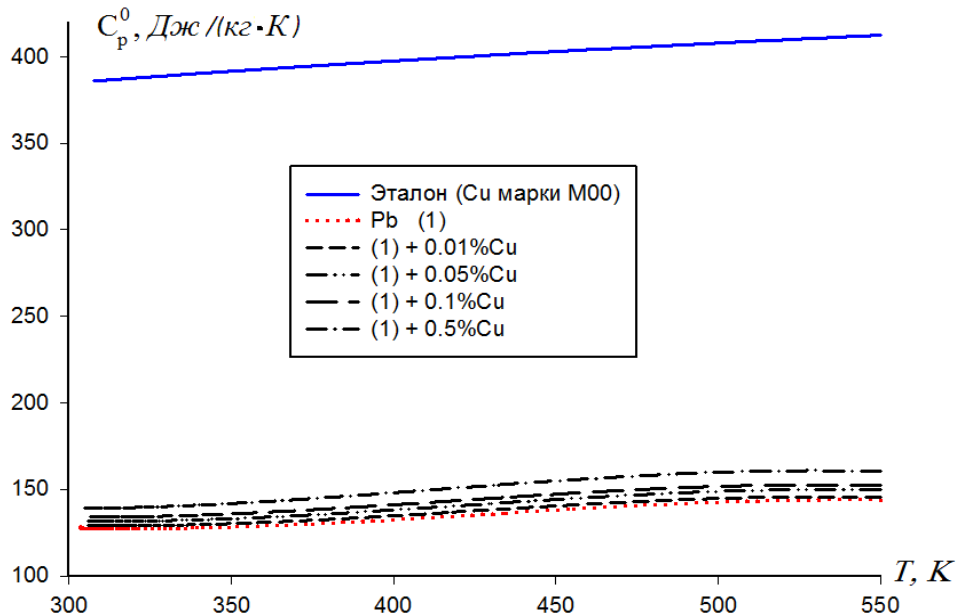
$$[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)] = a \ln \frac{T}{T_0} + b(T - T_0) + \frac{c}{2}(T^2 - T_0^2) + \frac{d}{3}(T^3 - T_0^3); \quad (12)$$

$$[G^{\circ}(T) - G^{\circ}(T_0)] = [H^{\circ}(T) - H^{\circ}(T_0)] - T[S^{\circ}(T) - S^{\circ}(T_0)], \quad (13)$$

где  $T_0 = 298.15 \text{ K}$ .

Результаты расчёта температурных зависимостей изменений термодинамических функций для сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00) через 50 К представлены в таблице 4.

Результаты исследования показывают, что при повышении температуры удельная теплоёмкость, изменений энтальпии, энтропии для сплавов системы Pb-Cu, увеличиваются, а энергия Гиббса снижается.



**Рисунок 4.** Зависимость удельной теплоёмкости от температуры для образцов из сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00).

**Таблица 4.** Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплавов системы Pb-Cu и эталона (Cu марки M00)

T, К	Эталон (Cu марки M00)	Содержание меди в свинце, мас. %				
		0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
$[H^0(T)-H^0(T_0)], \text{кДж/кг}$ для сплавов						
300	0,712	0,24	0,24	0,24	0,25	0,26
350	20,132	6,61	6,70	6,84	6,97	7,25
400	39,867	13,11	13,31	13,61	13,89	14,49
450	59,888	19,87	20,19	20,66	21,09	22,07
500	80,167	26,89	27,33	28,00	28,58	29,95
550	100,682	34,07	34,60	35,47	36,19	37,97
$[S^0(T)-S^0(T_0)], \text{кДж/(кг·К)}$ для сплавов						
300	0,0024	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0009
350	0,0622	0,020	0,021	0,021	0,022	0,022
400	0,1149	0,038	0,038	0,039	0,040	0,042
450	0,1621	0,054	0,055	0,056	0,057	0,060
500	0,2048	0,068	0,070	0,071	0,073	0,076
550	0,2439	0,082	0,083	0,086	0,087	0,091
$[G^0(T)-G^0(T_0)], \text{кДж/кг}$ для сплавов						
300	-0,0022	-0,0007	-0,0007	-0,0008	-0,0008	-0,0008
350	-1,652	-0,544	-0,551	-0,562	-0,573	-0,595
400	-6,107	-2,007	-2,036	-2,078	-2,120	-2,206
450	-13,053	-4,300	-4,365	-4,459	-4,550	-4,745
500	-22,243	-7,359	-7,474	-7,642	-7,798	-8,144
550	-33,475	-11,131	-11,306	-11,567	-11,804	-12,341

где  $T_0 = 298.15 \text{ K}$

В таблицах 5-7 обобщены результаты исследования теплоемкости и изменений термодинамических функций сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $SSu3$ , с медью и теллуром, на примере сплавов, содержащих 0.5 мас.% легирующего компонента. Видно, что при переходе от сплавов с медью к сплавам с теллуром теплоемкость, энтальпия и энтропия сплавов увеличивается, значение энергии Гиббса уменьшается.

**Таблица 5.** Температурная зависимость удельной теплоёмкости (Дж/(кг·К)) сплавов систем Pb- Cu и Pb-Te и сплава  $SSu3$  с медью и теллуром и эталона (Cu марки M00)

Содержание Cu -Te в сплаве, мас. %	T, K						Рост $C_p^0$ , %
	300	350	400	450	500	550	
Pb (1)	127,69	128,13	132,32	137,92	142,55	143,85	12,65
(1) +0.5% Cu	138,80	141,81	148,03	154,88	159,82	160,28	15,48
(1) +0.5% Te	140,56	145,53	154,04	163,60	171,74	175,97	22,33
Рост $C_p^0$ , %	-10.07	-13.44	-16.41	-18.61	-20.47	-22.32	
$SSu3$ (2)	137,47	138,14	142,07	146,69	149,47	147,84	7,55
(2) +1.0% Cu	145,26	148,83	157,29	168,13	178,88	187,05	28,77
(2) +1.0% Te	140,06	143,60	153,30	166,77	181,62	195,47	39,56
Рост $C_p^0$ , %	-1.88	-3.95	-7.90	-13.43	-21.50	-32.21	
Эталон (Cu марки M00)	384.99	391.67	397.66	403.07	408.00	412.57	6.68

**Таблица 6.** Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплавов систем Pb- Cu и Pb-Te и эталона (Cu марки M00)

Содержание Cu и Te в сплаве, мас. %	T, K					
	300	350	400	450	500	550
$[H^0(T) - H^0(T_0)]$ , кДж/кг для сплавов						
Pb (1)	0,24	6,61	13,11	19,87	26,89	34,07
(1) +0.5% Cu	0,25	6,97	13,89	21,09	28,58	36,19
(1) +0.5% Te	0,26	7,39	14,87	22,81	31,21	39,92
Эталон (Cu марки M00)	0.712	20.13	39.86	59.88	80.16	100.68
$[S^0(T) - S^0(T_0)]$ , кДж/(кг·К) для сплавов						
Pb (1)	0.0008	0.20	0.38	0.54	0.68	0.82
(1) +0.5% Cu	0.0008	0.22	0.40	0.57	0.73	0.87
(1) +0.5% Te	0,0009	0,23	0,43	0,62	0,79	0,97
Эталон (Cu марки M00)	0.0024	0.06	0.11	0.16	0.20	0.24
$[G^0(T) - G^0(T_0)]$ , кДж/кг для сплавов						
Pb (1)	-0.0007	-0.54	-2.01	-4.30	-7.36	-11.13
(1) +0.5% Cu	-0.0008	-0.57	-2.12	-4.55	-7.79	-11.80
(1) +0.5% Te	-0,0008	-0,60	-2,25	-4,86	-8,39	-12,79
Эталон (Cu марки M00)	-0.0022	-1.65	-6.10	-13.05	-22.24	-33.47

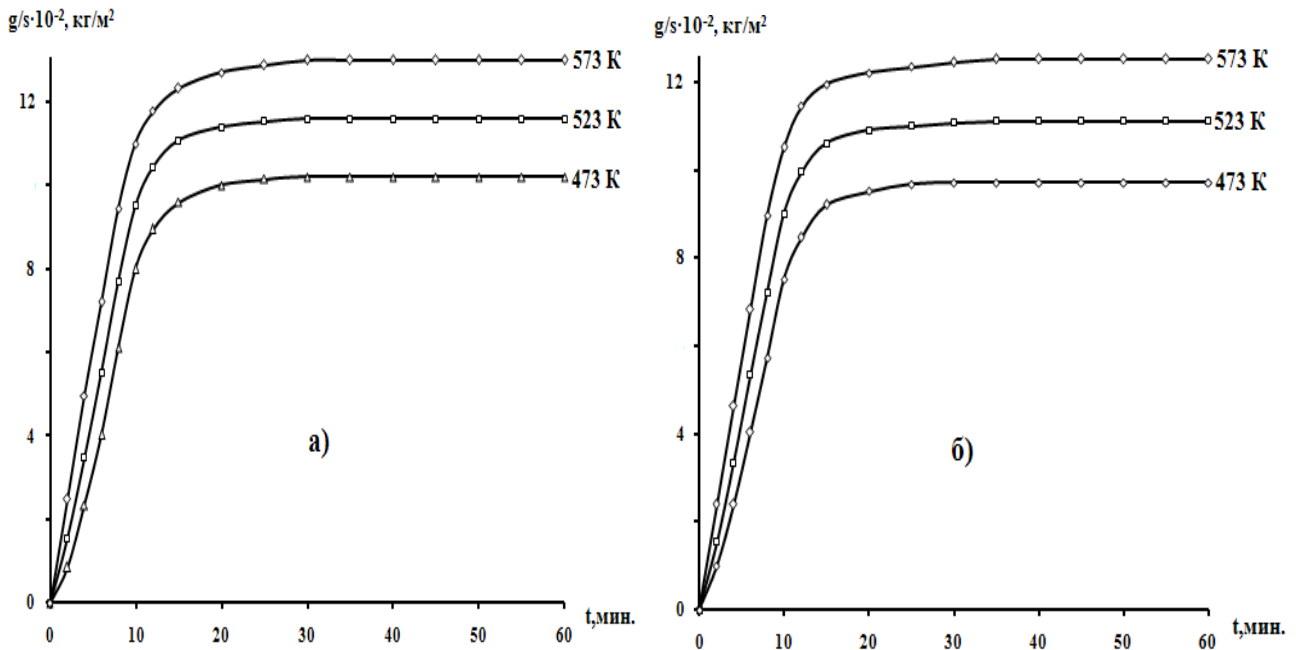
**Таблица 7.** Температурная зависимость изменений термодинамических функций сплава  $SSu_3$  с 0,5% медью и теллуром и эталона (Cu марки M00)

Содержание Cu и Te, мас. %	Т, К					
	300	350	400	450	500	550
$[H^0(T) - H^0(T_0)], \text{кДж/кг}$ для сплавов						
$SSu_3$ (1)	0,25	7,13	14,12	21,34	28,76	36,22
(1) +0.5% Cu	0,27	7,60	15,23	23,36	32,04	41,21
(1) +0.5% Te	0,25	7,32	14,72	22,71	31,42	40,86
Эталон (Cu марки M00)	0.712	20.13	39.86	59.88	80.16	100.68
$[S^0(T) - S^0(T_0)], \text{кДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ для сплавов						
$SSu_3$ (1)	0.0001	0.22	0.41	0.58	0.73	0.88
(1) +0.5% Cu	0.0009	0.23	0.44	0.63	0.81	0.99
(1) +0.5% Te	0,0001	0,23	0,42	0,61	0,80	0,98
Эталон (Cu марки M00)	0.0024	0.06	0.11	0.16	0.20	0.24
$[G^0(T) - G^0(T_0)], \text{кДж/кг}$ для сплавов						
$SSu_3$ (1)	-0.0001	-0.58	-2.14	-4.30	-7.36	-11.13
(1) +0.5% Cu	-0.0008	-0.57	-2.12	-4.61	-7.90	-11.98
(1) +0.5% Te	-0,0001	-0,60	-2,23	-4,80	-8,27	-12,61
Эталон (Cu марки M00)	-0.0022	-1.65	-6.10	-13.05	-22.24	-33.47

Проведенные исследования показали, что с повышением температуры теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплава  $SSu_3$  с медью и теллуром увеличиваются, а значения энергии Гиббса уменьшается. От концентрации меди и теллура теплоёмкость, энтальпия и энтропия сплава  $SSu_3$  увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается.

### **ВЛИЯНИЕ ДОБАВОК МЕДИ И ТЕЛЛУРА НА КИНЕТИКУ ОКИСЛЕНИЯ СПЛАВОВ СВИНЦА И СВИНЦОВО – СУРЬМЯННОГО СПЛАВА $SSu_3$ , В ТВЁРДОМ СОСТОЯНИИ**

Кинетику окисления сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава  $SSu_3$ , с медью и теллуром в твердом состоянии изучали термогравиметрическим методом. Кинетика окисления сплава систем Pb-Cu изучена на сплавах, содержащих: 0.01; 0.05; 0.1; 0.5; мас.% медью. Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов приведены в таблице 8 и на рисунках 5-7.



**Рисунок 5.** Кинетические кривые окисления свинца (а) и сплава свинца 0.01мас.% медью (б)

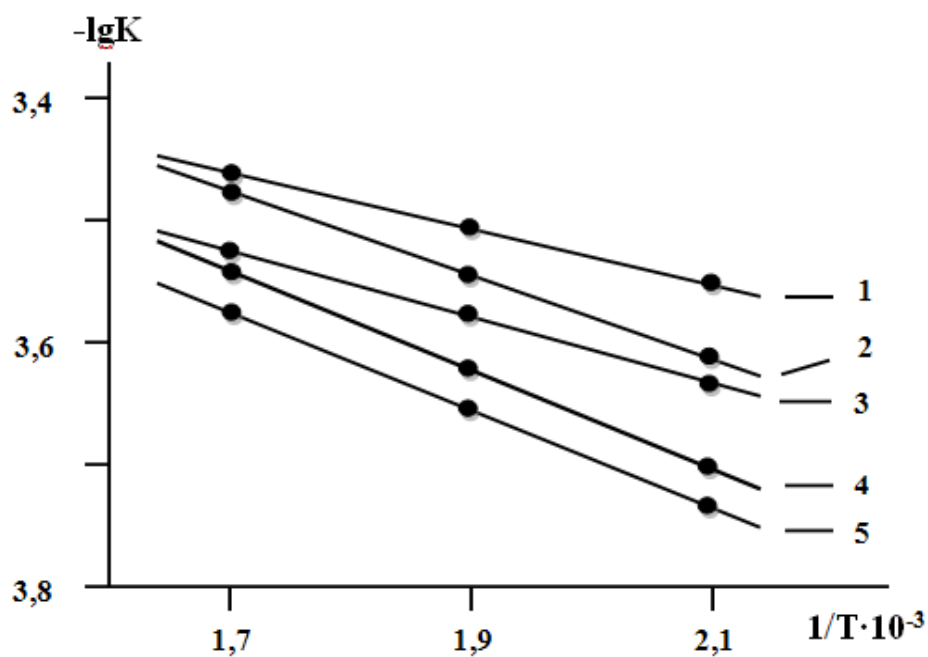
Характер кинетических кривых окисления свинца показывает, что окисление в начальных стадиях протекает интенсивно, о чем свидетельствует рост величины массы образцов Рис (5а). Истинная скорость окисления свинца в зависимости от температуры изменяется в пределах  $2.58 \cdot 10^{-4}$  до  $3.32 \cdot 10^{-4}$   $\text{кг} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$ . Эффективная энергия активации процесса окисления свинца вычисленная по тангенсу угла наклона прямой зависимости  $\lg K - 1/T$ , (рис. 6), составляет 35.02 кДж/моль (таблица 8).

Окисление свинца, содержащего 0.01-0.5 мас.% меди, в твёрдом состоянии проводили при температурах 473, 523 и 573 К. Кинетические кривые окисления свинца с 0.01 мас.% медью приведены на рисунке 5б. Скорость окисления сплава в зависимости от времени и температуры увеличивается. Однако рост величины удельной массы образца к 15-20 минутам приобретает постоянное значение. Эффективная энергия активации процесса окисления сплавов свинца от содержания меди увеличивается от 35.02 до 50.00 кДж/моль (таблица 8). Полученные значения эффективной энергии активация исследования кинетики окисления свинца и сплава  $\text{SSu3}$  с медью и теллуром обобщены в таблице 9.

Приведенная на рисунке 6 зависимость  $\lg K - 1/T$  для свинца, легированного медью, показывает, что процесс окисления при вышеуказанных температурах с ростом количества меди в свинце снижается. Изохронны окисления сплавов системы Pb-Cu приведенные на рисунке 7, показывает, что с ростом концентрации меди привес сплавов уменьшается и соответственно кажущаяся энергия активации растёт.

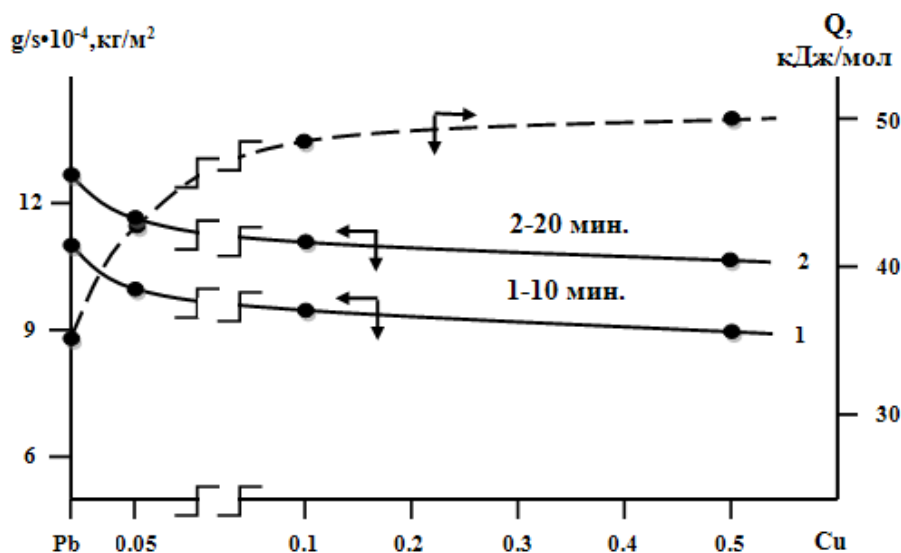
**Таблица 8.** Кинетические и энергетические параметры процесса окисления сплавов свинцом с медью, в твердом состоянии

Содержание меди свинце в сплаве, мас.%	Температура окисления, К	Средняя скорость окисления $K \cdot 10^{-4}$ , $\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{с}$	Эффективная энергия активации, $\text{кДж}/\text{моль}$
0.0	473	2.58	35.02
	523	2.85	
	573	3.32	
0.01	473	2.45	42.01
	523	2.70	
	573	3.16	
0.05	473	2.36	43.26
	523	2.65	
	573	3.11	
0.1	473	2.29	47.98
	523	2.53	
	573	3.04	
0.5	473	2.24	50.00
	523	2.59	
	573	2.99	



**Рисунок 6.** Зависимость  $\lg K$  от  $1/T$  для свинца(1), и сплавов свинца с медью, мас. %: 0.01(2); 0.05(3); 0.1(4); 0.5(5).





*Рисунок 7. Изохронны процесса окисления сплавов свинца с медью, при температуре 573 К*

*Таблица 9. Сравнительное значение эффективной энергии (кДж/моль) активации процесса окисления сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $SSu_3$  с медью и теллуром*

Система	Концентрации Cu и Te в сплавах, мас.%				
	0.0	0.01	0.05	0.1	0.5
	Эффективная энергия активации, кДж/моль				
Pb-Cu	35.02	42.01	43.26	47.98	50.00
Pb-Te		31.03	27.68	22.01	16.97
$SSu_3$ -Cu	38.32	41.18	43.78	47.28	53.12
$SSu_3$ -Te		33.78	30.90	26.48	20.01

Таким же образом, были исследована кинетика окисления сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $SSu_3$ , с медью и теллуром. Результаты исследования приведены в таблице 9. Видно, что при переходе от сплавов, легированных медью, к сплавам, легированным теллуром, величина эффективной энергии активации уменьшается, т.е. устойчивость сплавов к высокотемпературному окислению падает.

## ПОВЫШЕНИЕ АНОДНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ СВИНЦА И СВИНЦОВО – СУРЬМЯННОГО СПЛАВА $\text{SSu}_3$ , ЛЕГИРОВАНИЕМ МЕДЬЮ И ТЕЛЛУРОМ

В данном разделе представлены результаты исследования анодного поведения сплавов свинца и свинцово сурьмянного сплава  $\text{SSu}_3$ , легированного медью и теллуrom, в среде электролита 0.03, 0.3 и 3%-ного  $\text{NaCl}$ .

Исследования проводили в потенциодинамическом режиме на потенциостате ПИ-50-1.1 со скоростью развёртки потенциала 2 мВ/с, с программаторов ПР-8 и самозаписью на ЛКД-4, в среде электролита  $\text{NaCl}$ .

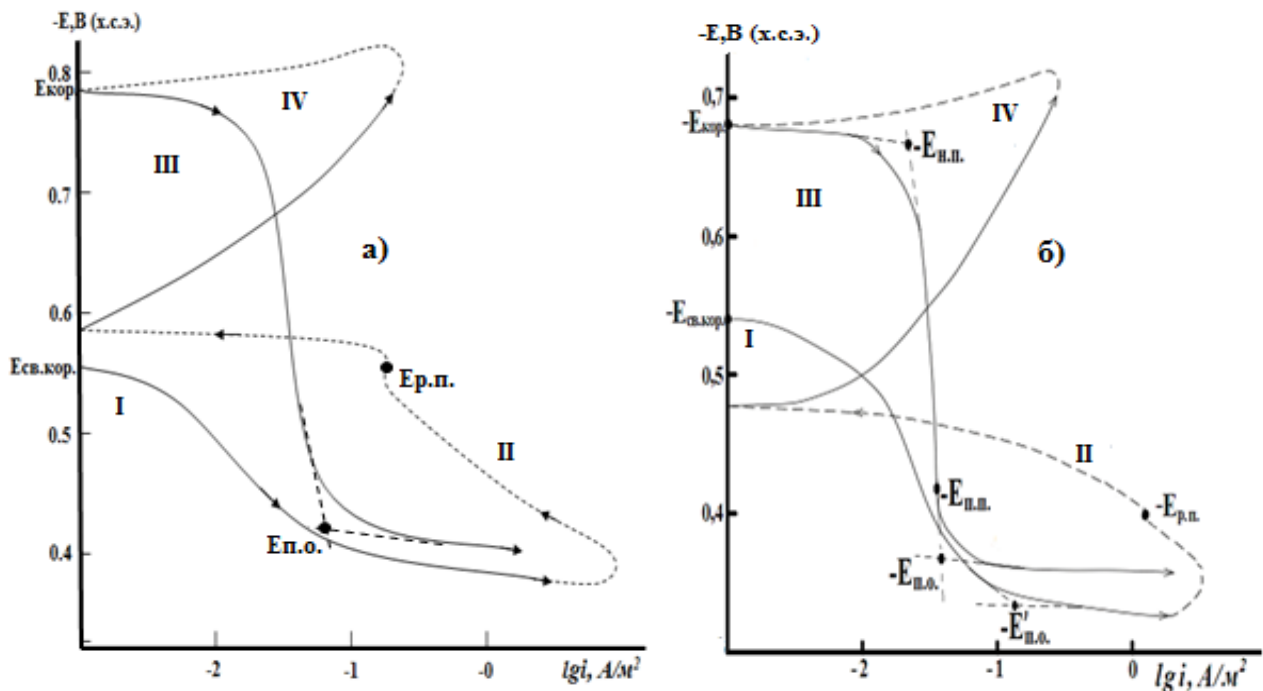
Электродом сравнения служил хлорид –серебряный, а вспомогательным – платиновый. По ходу прохождения полной поляризационной кривой определяли следующие электрохимические параметры:  $E_{\text{ст}}$  или  $E_{\text{св.кор}}$  – стационарный потенциал или потенциал свободной коррозии;  $E_{\text{рп}}$  – потенциал репассивации;  $E_{\text{п.о.}}$  – потенциал питтингообразования (или потенциал пробоя) до катодной поляризации;  $E_{\text{кор}}$  – потенциал коррозии;  $i_{\text{кор}}$  – ток коррозии. Расчет тока коррозии, как основной электрохимической характеристики процесса коррозии проводился по катодной кривой с учетом тафеловской константы равной  $v_k = 0,12\text{В}$ . Скорость коррозии ( $K$ ) определяли по формуле  $K = i_{\text{кор}} \cdot k$ , где  $i_{\text{кор}}$  –плотность тока коррозии, а  $k = 3.865 \text{ г/А} \cdot \text{ч}$  электрохимический эквивалент свинца.

Для электрохимических исследований образцы потенциодинамически поляризовали в положительном направлении от потенциала, установившегося при погружении, до резкого возрастания тока в результате питтингообразования (рис. 8, кривая I). Затем образцы поляризовали в обратном направлении (рис. 8, кривая II) и по пересечению кривых I и II определяли величину потенциала репассивации. Далее шли в катодную область до значения потенциала  $-0.9\text{В}$  для удаления оксидной плёнки с поверхности электрода (рис. 8, кривая III) в результате подщелачивания при электродной поверхности. Наконец, образцы поляризовали вновь в положительном направлении и из анодных кривых определяли основные электрохимические параметры сплавов (рис. 8, кривая IV).

Скорость коррозии сплавов, содержащих 0.01-0.5 % меди и теллура, почти на 15 % меньше, чем у свинца (таблица 10). Добавки меди и теллура к свинцу способствуют снижению скорости анодной коррозии, о чём свидетельствует смещение анодных кривых сплавов в более положительную область потенциалов (рисунок 9). При этом по мере увеличения концентрации хлорид – иона в электролите  $\text{NaCl}$  скорость коррозии сплавов увеличивается независимо от содержания легирующего компонента – меди и теллура, что сопровождается смещением в положительную область потенциалов коррозии, питтингообразования и репассивации.

Применительно к настоящим исследованиям следует отметить, что в целом с ростом концентрации хлорид – иона в 10 (0.03% и 0.3%  $\text{NaCl}$ ) и 100

(0.03% и 3% NaCl) раз потенциал питтингообразования свинца и сплавов с медью и теллуrom смещаются в отрицательную область значений (таблица 11).

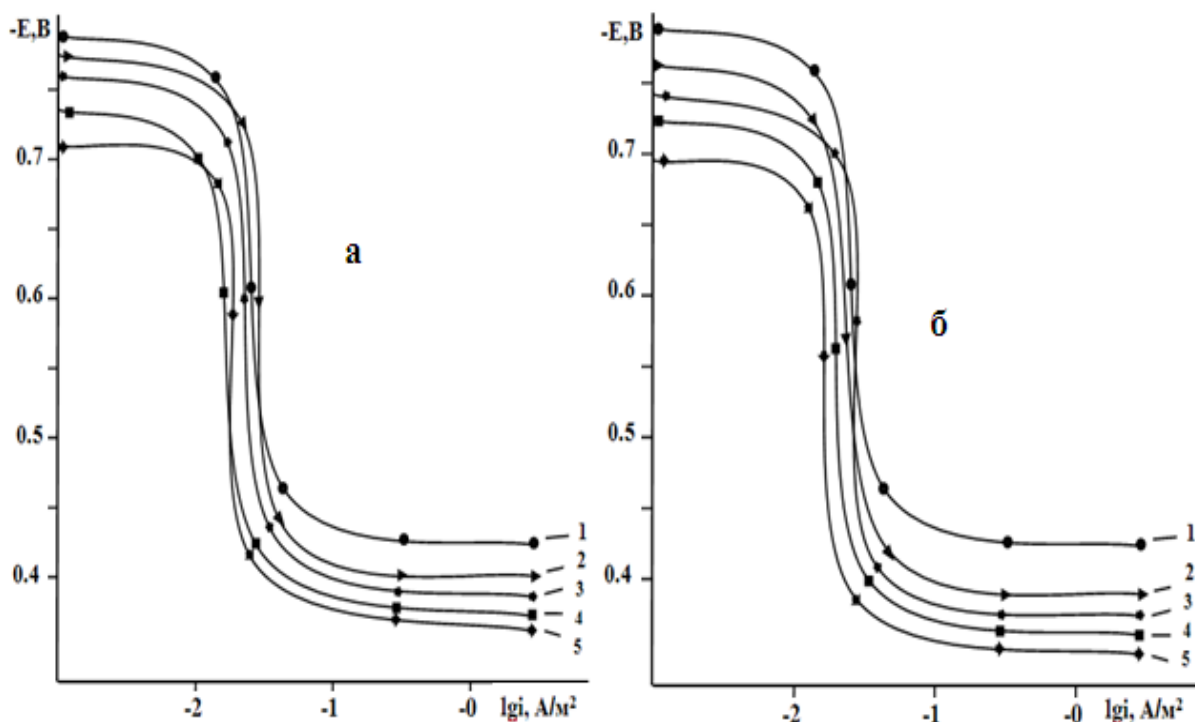


**Рисунок 8.** Полная поляризационная (2мВ/с) кривая чистого свинца(а) и сплава ССуЗ (б), в среде электролита 3% - ного NaCl

Исследования показывают, что добавки меди и теллура в пределах 0.01-0.5 мас.% способствуют смещению потенциала свободной коррозии в положительную область во всех исследованных средах электролита NaCl. При этом потенциалы питтингообразования и репассивации также смещаются в положительную область значений (таблица 10).

**Таблица 10.** Коррозионно-электрохимические характеристики сплава свинца с медью и теллуrom в среде 3% - ного электролита NaCl

Содержание Cu и Te в свинце, мас. %	Электрохимические потенциалы, В (х.с.э.)				Скорость коррозии	
	$-E_{св.кор.}$	$-E_{кор.}$	$-E_{п.о.}$	$-E_{р.п.}$	$i_{кор.},$ А/М <sup>2</sup>	$K \cdot 10,$ г/М <sup>2</sup> .ч
Pb (1)	0,562	0,780	0,450	0,548	0,98	18,91
(1) +0.01 Cu	0,544	0,771	0,431	0,537	0,96	18,52
(1) +0.1 Cu	0,520	0,732	0,411	0,501	0,92	17,75
(1) +0.5 Cu	0,509	0,705	0,402	0,490	0,90	17,37
(1) +0.01Te	0,532	0,760	0,420	0,527	0,95	18,33
(1) +0.1 Te	0,510	0,726	0,401	0,492	0,91	17,56
(1) +0.5 Te	0,500	0,695	0,397	0,480	0,89	17,17



**Рисунок 9.** Анодные поляризационные (2 мВ/с) кривые свинца(1), и сплавов свинца содержащих мас% 0.01 (2), 0.05 (3), 0.1 (4), 0.5 (5), меди (а) и теллура (б), в среде электролита 3.0%-ного NaCl.

Обобщённые результаты исследования анодного поведения сплавов свинца и сплава ССуЗ с медью и теллуrom представлены в таблицах 11 и 12. Потенциал свободной коррозии свинца и сплава ССуЗ с ростом концентрации меди и теллура изменяется в положительном направлении оси ординат. С увеличением концентрации хлорид – иона потенциал свободной коррозии сплавов уменьшается (таблица 11).

Величины потенциалов питтингообразования и репассивации свинца и сплава ССуЗ, также по мере роста концентрации хлорид-иона в электролите изменяются в более отрицательном направлении оси ординат. Увеличение концентрации легирующего компонента способствует росту величины потенциалов питтингообразования и репассивации во всех средах независимо от концентрации хлорид-иона. Установленные зависимости характерны для сплавов свинца и сплава ССуЗ с медью и теллуrom. При переходе от сплавов с медью к сплавам с теллуrom потенциалы свободной коррозии и питтингообразования растут, т.е. изменяются в положительном направлении оси ординат (таблица 11).

Плотность тока коррозии и соответственно скорость коррозии сплавов свинца и сплава ССуЗ с медью и теллуrom с ростом концентрации хлорид-иона увеличиваются. Данная зависимость характерна для всех сплавов независимо от их состава и особенностей физико-химических свойств легирующего компонента. (таблица 12).

**Таблица 11.** Потенциалы (х.с.э.) свободной коррозии ( $-E_{\text{св.корр.}}$ , В) и питтингообразования ( $-E_{\text{п.о.}}$ , В) сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom, в среде электролита NaCl.

Среда NaCl, мас.%	Содержание Cu и Те в, мас.%	Система			
		$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$	$-E_{\text{св.корр.}}$	$-E_{\text{п.о.}}$
		Системы Pb-Cu		Системы ССуЗ-Cu	
0.03	Pb (1)	0,524	0,380	0,450	0,380
	0.01	0,511	0,369	0,431	0,358
	0.1	0,490	0,352	0,411	0,343
	0.5	0,479	0,344	0,402	0,337
3.0	Pb (1)	0,562	0,450	0,562	0,450
	0.01	0,544	0,431	0,532	0,420
	0.1	0,520	0,411	0,510	0,401
	0.5	0,509	0,402	0,500	0,397
		Системы Pb-Te		Системы ССуЗ-Te	
0.03	ССуЗ	0,450	0,265	0,442	0,265
	0.01	0,420	0,255	0,406	0,248
	0.1	0,401	0,238	0,390	0,233
	0.5	0,397	0,232	0,385	0,218
3.0	ССуЗ	0,540	0,358	0,540	0,358
	0.01	0,536	0,353	0,522	0,344
	0.1	0,524	0,340	0,511	0,334
	0.5	0,519	0,335	0,505	0,326

**Таблица 12.** Зависимость скорости и плотности тока коррозии сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава ССуЗ, с медью и теллуrom, в среде электролита NaCl

Среда NaCl, мас.%	Содержание Cu и Те, мас.%	Системы Cu-Te							
		$i_{\text{корр.}}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> .ч	$i_{\text{корр.}}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> .ч	$i_{\text{корр.}}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> .ч	$i_{\text{корр.}}$ А/м <sup>2</sup>	$K \cdot 10^{-3}$ г/м <sup>2</sup> .ч
		Сплав Pb-Cu		Сплав Pb-Te		Сплав ССуЗ-Te		Сплав ССуЗ-Te	
0.03	-	0,80	15,44	0,80	15,44	0,80	15,44	0,80	15,44
	(1)+0.01 Cu	0,78	15,05	0,75	14,47	0,78	15,05	0,76	14,66
	(1)+0.1 Cu	0,74	14,28	0,71	13,70	0,72	13,89	0,68	13,12
	(1)+0.5 Cu	0,72	13,89	0,69	13,31	0,68	13,12	0,64	12,35
3.0	-	0,98	17,75	0,98	18,91	0,99	19,10	0,99	19,10
	(1)+0.01 Те	0,96	17,37	0,95	18,33	0,94	18,14	0,92	17,75
	(1)+0.1 Те	0,92	18,91	0,91	17,56	0,88	16,98	0,81	15,63
	(1)+0.5 Те	0,90	18,52	0,89	17,17	0,84	16,21	0,76	14,66

Таким образом, установлено, что легирование до 0.5 мас.% медью и теллуром свинца и сплава  $SSu3$  повышает их анодную устойчивость на 5-15%, в среде электролита  $NaCl$ . При этом с ростом концентрации легирующего компонента у сплавов отмечается изменение в положительном направлении оси ординат потенциалов свободной коррозии, питтингообразования и репассивации. С увеличением концентрации хлорид-иона в электролите потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации сплавов уменьшаются, скорость коррозии увеличивается.

## ВЫВОДЫ

1. На основе анализа литературных данных сделан вывод о необходимости исследования свойств сплавов свинца и свинцово-сурьмяного сплава  $SSu3$  ( $Pb+3\text{мас.}\%Sb$ ) с медью и теллуром с целью разработки новых композиций сплавов, используемых в кабельной технике и других отраслях.

2. В режиме «охлаждения» исследованы температурные зависимости теплоемкости и термодинамических функций сплавов свинца и сплава  $SSu3$  с медью и теллуром. Установлено, что с ростом температуры и содержания меди и теллура в свинце теплоёмкость увеличивается. У свинцово сурьмяного сплава  $SSu3$  с медью и теллуром при переходе от сплавов с медью к сплавам теллуром наблюдается уменьшение теплоёмкости, что в целом коррелируется с данными для меди и теллура. Величины теплоёмкости для сплавов в целом превышают теплоёмкость свинца и сплава  $SSu3$ .

3. Показано, что с ростом температуры и содержания меди и теллура в свинце и сплаве  $SSu3$  энтальпия и энтропия сплавов увеличиваются, а значение энергии Гиббса уменьшается. При переходе от сплавов свинца к сплава  $SSu3$  с медью к сплавам с теллуром энтальпия и энтропия увеличиваются. Легирование свинца и сплава  $SSu3$  медью и теллуром в целом увеличивает его термодинамические функции.

4. Методом термогравиметрии исследована кинетика окисления сплавов свинца и сплава  $SSu3$  с медью и теллуром, в твёрдом состоянии. Установлено, что имеет место общая тенденция к увеличению скорости окисления с ростом температуры и концентрации теллура, но от концентрации меди скорости окисления уменьшается. Кажущаяся энергия активации процесса окисления сплавов, с увеличением концентрации меди повышается и от содержания теллура уменьшается. Механизм окисления сплавов подчиняется гиперболическому закону.

5. Потенциостатическим методом в потенциодинамическом режиме при скорости развертки 2мВ/с исследовано анодное поведение сплавов свинца и сплава  $SSu3$  с медью и теллуром, в среде электролита  $NaCl$ . Установлено, что легирование свинца и сплава  $SSu3$  указанными металлами до 0,5 мас.% повышает его анодную устойчивость на 15%, в среде электролита  $NaCl$ . При переходе от сплавов с медью к сплавам с теллуром потенциалы свободной коррозии, питтингообразования и репассивации уменьшаются, т.е. смещаются в более отрицательную область а у сплава  $SSu3$  с медью и теллуром имеется обратная зависимость. Скорость коррозии сплавов свинца и сплава  $SSu3$  с медью и теллуром при переходе от сплавов с медью к сплавам с теллуром растёт.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ИЗЛОЖЕНО В СЛЕДУЮЩИХ ПУБЛИКАЦИЯХ:

**Статьи, опубликованные в научных журналах, рекомендованных  
ВАК Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.**

1. **Худойбердизода С.У.** Влияние меди на теплоемкость и изменений термодинамических функции свинца / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, Б.Б. Эшов, У.Ш. Якубов // Теплофизика высоких температур, - 2021. -№1 -С. 50-55.

2. **Худойбердизода С.У.** Температурная зависимость теплоёмкости и изменений термодинамических функций свинцово-сурьмяного сплава  $SSu_3$ , легированного теллуром / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, Н.М. Муллоева, У.Ш. Якубов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки, -2020. -№2. -С. 103-108.

3. **Худойбердизода С.У.** Влияние меди на кинетику окисления свинцово - сурьмяного сплава  $SSu_3$ , в твердом состоянии / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев., Ф.А. Рахимов // Вестник Бохтарского государственного университета имени Носира Хусрава. Серия естественных наук, -2020. -№2/1 (72). -С. 60-65.

4. **Худойбердизода С.У.** Влияние теллура на кинетику окисления свинцово - сурьмяного сплава  $SSu_3$ , в твердом состоянии / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, -2020. -№2, -С. 166-172.

5. **Худойбердизода С.У.** Потенциодинамическое исследование свинца, легированного теллуром, в среде электролита  $NaCl$  / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Б.Б. Эшов, У.Ш. Якубов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, -2020. -№3, -С. 133-140.

6. **Худойбердизода С.У.** Потенциодинамическое исследование сплава  $SSu_3$ , легированного медью, в среде электролита  $NaCl$  / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Б.Б. Эшов, Джайлоев Дж.Х, У.Ш. Якубов // Вестник Таджикского национального университета. Серия естественных наук, - 2019. -№1, -С. 206-212.

### Изобретения по теме диссертации

7. Малый патент Республики Таджикистан № ТЈ 1001. Способ повышения коррозионной устойчивости свинца и его сплавов с сурьмой / И.Н. Ганиев, Б.Б. Эшов, С.У. Худойбердизода, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов, Ф.У. Обидов, Н.М. Муллоева, О.Х. Ниёзов, М.С. Аминбекова, Р.А. Исмоилов // №1801241; заявл.05.10.18, опубл. 14.06.2019.

**Статьи, опубликованные в материалах международных и республиканских конференций:**

8. **Худойбердизода, С.У.** Влияние добавок меди на потенциал свободной коррозии свинцового  $\text{SSu}_3$ , в среде электролита  $\text{NaCl}$  / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Б.Б. Эшов // Межд. науч-практ. конф. «студенты, магистранты, соискатели и молодой учёны» Мухандис, -2019.- г. Душанбе. -С. 207-211.

9. **Худойбердизода, С.У.** Кинетика окисления свинца медью, в твердом состоянии / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев // Мат. межд. науч-практ. конф. ««Современной проблемы естественных и гуманитарных наук и их роль в укреплении научных связей между странами», посвященной 10-летию Филиала МГУ им.М.В.Ломоносова, - г. Душанбе. - С. 134-137.

10. **Худойбердизода, С.У.** О коррозионном потенциале сплава  $\text{Pb}+3\%\text{Sb}$ , легированного медью./ С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев // Сб. матер. VIII Межд. науч-практ. конф. «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвященной «Дню химика» и 70-летию д.х.н., проф., академика АН Республики Таджикистан. Ганиев И.Н, - 2018. -С. 45-47.

11. **Худойбердизода, С.У.** Влияние теллура и хлорид-ионов на потенциал коррозии сплав  $\text{Pb}+3\%\text{Sb}$  / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев // Сб. матер. VIII Межд. науч-практ. конф. «Перспективы использования материалов устойчивых к коррозии в промышленности Республики Таджикистан», посвященной «Дню химика» и 70-летию д.х.н., проф., академика АН Республики Таджикистан. Ганиев И.Н,-2018. -С. 48-50.

12. **Худойбердизода, С.У.** Потенциодинамическое исследование анодного поведения сплавов свинца с медью, в среде электролита  $\text{NaCl}$  / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев, У.Ш. Якубов // Мат. XV Нумановские чтения «Современное состояние химической науки и использование ее достижений в народном хозяйстве Республики Таджикистан», - 2019.- С. 221-222.

13. **Худойбердизода, С.У.** Температурная зависимость, теплоёмкости и изменений термодинамических функцией СПЛАВА  $\text{SSu}_3$ , легированного теллуrom / С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, Н.М. Муллоева // Проблемы современной физики вопросах индустриализации Республики Таджикистан (Мат. науч-практ. Респ. конф. посвященной 20 лет исследование и развитие естественных, точных и математических наук в сфере науки и образования. Худжандский Государственные Университет имени Б. Гафурова, - 2020. – С. 151-155.

14. **Худойбердизода, С.У.** Влияние теллура на теплоемкость свинца // С.У. Худойбердизода, И.Н. Ганиев, С.Э. Отаджонов, Н.М. Муллоева, Дж.Х. Джайлоев // Республиканской научно-практической конференции на тему «развитие науки и ее практика реализации в период формирования цифровой экономики», Худжанд, -2019. –С. 319-322.