

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Мониторинг водных объектов, содержащих вещества в наносостоянии, с помощью электрохимических методов

УДК 502.175:502.51:543.55:620.22

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Фадеева В.Н.	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев М.В.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		

Томск – 2019 г.

Результаты освоения образовательной программы по направлению 20.04.01 Техносферная безопасность

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P1	Использовать на основе <i>глубоких и принципиальных</i> знаний необходимое оборудование, инструменты, технологии, методы и средства обеспечения безопасности человека и окружающей среды от техногенных и антропогенных воздействий в условиях <i>жестких</i> экономических, экологических, социальных и других ограничений	Требования ФГОС (ПК-3–7; ОПК-1–3, 5; ОК-4–6) ¹ , Критерий 5 АИОР ² (пп.5.2.1, 5.2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Проводить <i>инновационные</i> инженерные исследования опасных природных и техногенных процессов и систем защиты от них, включая <i>критический анализ данных из мировых информационных ресурсов, формулировку выводов в условиях неоднозначности</i> с применением <i>глубоких и принципиальных</i> знаний и <i>оригинальных</i> методов в области современных информационных технологий, современной измерительной техники и методов измерения.	Требования ФГОС (ПК-8–13; ОПК-1–3, 5; ОК-4, 9, 10, 11, 12), критерии АИОР Критерий 5 АИОР (пп. 5.2.2, 5.2.4), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания и безопасному размещению и применению технических средств в регионах, осуществлять взаимодействие с государственными службами в области экологической, производственной, пожарной безопасности, защиты в чрезвычайных ситуациях, находить и принимать управленческие решения с соблюдением профессиональной этики и норм ведения <i>инновационной инженерной деятельности</i> с учетом юридических аспектов в области техносферной безопасности	Требования ФГОС (ПК-4, 6, 14–18; ОПК-1–5; ОК-1, 7, 8), Критерий 5 АИОР (пп.5.2.5, 5.3.1–2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P4	Организовывать мониторинг в техносфере, составлять краткосрочные и долгосрочные прогнозы развития ситуации на основе его результатов с использованием <i>глубоких фундаментальных и специальных</i> знаний, аналитических методов и <i>сложных</i> моделей в условиях <i>неопределенности</i> , анализировать и оценивать потенциальную опасность объектов экономики для человека и среды обитания и разрабатывать рекомендации по повышению уровня безопасности	Требования ФГОС (ПК-2, 19, 21, 22; ОПК-1–5; ОК-2), Критерий 5 АИОР (п.5.2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Проводить экспертизу безопасности и экологичности технических проектов, производств, промышленных предприятий и территориально-производственных комплексов, аудит систем безопасности, осуществлять	Требования ФГОС (ПК-20, 23–25; ОПК-1–3, 5), Критерий 5 АИОР

¹ Указаны коды компетенций по ФГОС ВО (направление 20.04.01 – Техносферная безопасность).

² Критерии АИОР (Ассоциации инженерного образования России) согласованы с требованиями международных стандартов EUR-ACE и FEANI

	мероприятия по надзору и контролю на объекте экономики, территории в соответствии с действующей нормативно-правовой базой	(пп.5.2.5–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Общекультурные компетенции</i>		
P6	Работать в интернациональной профессиональной среде, включая разработку документации, презентацию и защиту результатов <i>инновационной инженерной деятельности с использованием иностранного языка</i>	Требования ФГОС (ОК-5, 6, 10–12; ОПК-3), Критерий 5 АИОР (п.5.3.2), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Эффективно работать индивидуально, а также в качестве <i>руководителя группы</i> с ответственностью за работу коллектива при решении инновационных инженерных задач в области техносферной безопасности, демонстрировать при этом готовность следовать профессиональной этике и нормам, понимать необходимость и уметь <i>самостоятельно учиться</i> и повышать квалификацию в течение всего периода профессиональной деятельности	Требования ФГОС ВО (ОК-1-3, 5, 8, 11, 12, ОПК 1-4, ПК-18) Критерий 5 АИОР (пп.5.3.3–6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
Отделение контроля и диагностики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП
20.04.01 Техносферная безопасность
_____ В.А. Перминов
04.02.2019 г.

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

магистерской диссертации

Студенту:

	ФИО
1ЕМ71	Вилесову Максиму Вадимовичу

Тема работы:

Мониторинг водных объектов, содержащих вещества в наносостоянии, с помощью электрохимических методов
--

Утверждена приказом директора (дата, номер)	26.11.2018 №10395/с
---	---------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	7.06.2019 г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе

(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).

Потенциостат. Режим работы периодический (работает только во время проведения эксперимента). Подключается в промышленную сеть переменного тока 50Гц. Во время работы потенциостата трэлектродная ячейка должна быть заземлена.

Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов

(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования,

Проведение аналитического обзора по литературным источникам с целью изучения электрохимических методов определения количества и размера наночастиц, а также методов экологического мониторинга частиц в наносостоянии. Разработка конструкции трехэлектродной ячейки потенциостата.

конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).	Разработка методики определения концентрации наночастиц в водном растворе. Изготовление электродов и модельных растворов наночастиц. Проведение экспериментов с целью получения хроноамперограмм. Апробация разработанного прибора.
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Фадеева Вера Николаевна
Раздел магистерской диссертации, выполненный на иностранном языке	Ажель Юлия Петровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Литературный обзор (Literature review)	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	04.02.2019 г.
--	---------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		04.02.2019 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович		04.02.2019 г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Инженерная школа неразрушающего контроля и безопасности
 Направление подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность
 Уровень образования магистратура
 Отделение контроля и диагностики
 Период выполнения весенний семестр 2018/2019 учебного года

Форма представления работы:

магистерская диссертация

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	27.05.2019 г.
--	---------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
11.03.2019 г.	Анализ литературных источников с целью изучения электрохимических методов для определения размера и количества наночастиц и экологического мониторинга частиц в наносостоянии	20
25.03.2019 г.	Изготовление электродов и модельных растворов наночастиц	10
08.04.2019 г.	Проведение апробации разработанной конструкции потенциостата	25
22.04.2019 г.	Анализ и оформление полученных результатов в ходе исследований и экспериментов.	15
10.05.2019 г.	Разработка разделов «Социальная ответственность» и «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	10
7.06.2019 г.	Оформление и представление ВКР	20

Составил преподаватель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Е.В.	к.х.н.		04.02.2019

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП 20.04.01 Техносферная безопасность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Перминов В.А.	д.ф.-м.н.		04.02.2019

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ71	Вилесову Максиму Вадимовичу

Школа	ИШНКБ	Отделение школы(НОЦ)	ОКД
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	20.04.01 Техносферная безопасность

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость специального оборудования НИ 98500 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	30% премии; 30% надбавки; 13,5% дополнительная заработная плата; 16% накладные расходы; 1,3 районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды – 30%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1/ Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Оценка потенциальных потребителей исследования. Анализ конкурентных технических решений.
2. Формирование плана и графика разработки и Внедрения	Определение этапов работ; определение трудоемкости работ; разработка графика Ганта
3. Обоснование необходимых инвестиций для разработки и внедрения НИ	Определение затрат на специальное оборудование, расчет заработной платы для исполнителей проекта
4. Оценка ресурсной, финансовой, социальной, бюджетной эффективности ИП и потенциальных рисков	Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка конкурентоспособности технических решений
2. Альтернативы проведения НИ
3. График проведения и бюджет НИ
4. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
--	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
доцент ОСГН, ШБИП	Фадеева В.Н.	доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович

Школа	ИШНКБ	Отделение (НОЦ)	Отделение контроля и диагностики
Уровень образования	магистратура	Направление/специальность	Техносферная безопасность

Тема ВКР:

Мониторинг водных объектов, содержащих вещества в наносостоянии, с помощью электрохимических методов	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Объект исследования: потенциостат. Область применения: определение свойств наночастиц электрохимическим методом. Рабочим местом является рабочее место лаборанта в лаборатории №223 2 корпуса НИ ТПУ.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:	- рассмотреть специальные правовые нормы трудового законодательства; - организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.
2. Производственная безопасность: 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	Проанализировать потенциально возможные вредные и опасные факторы при работе в аналитической лаборатории. -поражение электрическим током; - отклонение показателей микроклимата; -воздействие химических веществ раздражающего, токсического и сенсибилизирующего характера; - недостаточная освещенность рабочей зоны - электробезопасность (требования электробезопасности в лаборатории, предотвращение электротравматизма); - снижение воздействия опасных химических веществ (правила работы с опасными химическими веществами).
3. Экологическая безопасность:	-анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы); -анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы); -анализ воздействия объекта на литосферу (отходы).
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	- анализ возможных ЧС при разработке и эксплуатации проектируемого решения; - выбор наиболее типичной ЧС; - разработка превентивных мер по предупреждению ЧС; - разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий; - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения).
Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Гуляев Милий Всеволодович			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович		

Реферат

Выпускная квалификационная работа содержит 94 страницы, 18 рисунков, 25 таблиц, 31 источник.

Ключевые слова: **потенциостат, хроноамперометрия, наночастицы серебра, трехэлектродная ячейка, хроноамперограмма, фемтоамперметр.**

Объектом исследования является потенциостат с низким уровнем входного токового шума, используемый для расчета концентрации наночастиц.

Цель работы – апробация метода хронопикоамперометрии для мониторинга водных объектов, содержащих вещества в наносостоянии.

В ходе выполнения работы была разработана конструкция трехэлектродной ячейки для потенциостата с низким уровнем входного токового шума, а также методика определения концентрации наночастиц в водных растворах.

Для измерения концентрации наночастиц был применен электрохимический метод – хронопикоамперометрия как альтернатива оптическим методам.

После изготовления потенциостата проводились эксперименты, результатами которых являлись хронопикоамперограммы. По данным хронопикоамперограмм проводилась оптимизация и доработка прибора, замена его компонентов с целью повышения чувствительности и точности измерений. Достижение требуемых технических характеристик измерительного тракта оказалось возможным за счет отказа от соединительных кабелей и подключения электродов непосредственно к входам потенциостата проводниками длиной не более 10 мм, а также полного экранирования всего узла печатного монтажа, входных разъемов и измерительной ячейки.

Конечным этапом разработки было проведение экспериментов с наночастицами серебра, с целью определения пригодности прибора для изучения водных растворов с коллоидными частицами металлов.

Разработанный прибор может применяться для научных исследований в области электрохимии и экологии.

Значимость работы заключается в развитии электрохимических методов мониторинга и определения характеристик наночастиц в водных растворах.

В будущем планируется проведение экспериментов с различными наночастицами металлов, а также доработка фемтоамперметра и электродов с целью улучшения технических характеристик потенциостата.

Список сокращений

ДРС – динамическое рассеивание света;

ПЭМ – просвечивающий электронный микроскоп;

АЦП – аналого-цифровой преобразователь;

РСЭ – ртутно-сульфатный электрод;

ОУ – операционный усилитель.

Оглавление

Введение.....	15
1 Применение электрохимических методов для определения количества и размера наночастиц.....	17
1.1 Метод «Нано-воздействия»	17
1.2 Инверсионная вольтамперометрия	19
2. Применение электрохимических методов для экологического мониторинга частиц в наностоянии	22
3 Теоретические основы метода хроноамперометрии	24
3.1 Хроноамперометрия, основанная на скачкообразном изменении потенциала от заданного уровня	24
3.2 Уравнение Коттрелла	26
4. Разработка макета фемптоамперметра для контроля количества и размера наночастиц.....	27
4.1 Трехэлектродная ячейка	27
4.2. Конструкция рабочего электрода.....	28
4.3. Конструкция электрода сравнения.....	29
4.4 Схема потенциостата с фемтоамперметром.....	30
5 Методика определения концентрация наночастиц в растворе	34
6 Апробация разработанной конструкции потенциостата	36
6.1 Получение хронопикоамперограмм с буферным раствором гексацианоферрата калия	36
6.2. Приготовление модельного раствора наночастиц серебра	37
6.3 Получение хронопикоамперограмм при добавлении в раствор наночастиц серебра	38
7 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	40
7.1 Предпроектный анализ.....	40
7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	40
7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.....	40
7.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации	42
7.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования.....	44
7.2 Инициация проекта.....	44
7.2.1 Цели и задачи проекта.....	45
7.2.2 Организационная структура проекта.....	46

7.2.3 Ограничения и допущения проекта	46
7.3 Планирование научно-исследовательских работ	47
7.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ	48
7.3.2 Разработка графика проведения научного исследования.....	49
7.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	53
7.4.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	53
7.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	54
7.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы	55
7.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы	57
7.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления).....	58
7.4.6 Накладные расходы	59
7.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта.....	59
7.5 Оценка сравнительной эффективности исследования.....	60
Вывод	63
8 Социальная ответственность	64
Введение.....	64
8.1 Правовые и организационные вопросы проведения	65
8.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства	65
8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	65
8.2 Производственная безопасность	66
8.2.1 Электробезопасность.....	67
8.2.2 Освещение рабочей зоны	69
8.2.3 Показатели микроклимата	71
8.2.4 Химические опасные и вредные производственные факторы..	71
8.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов.....	73
8.3.1 Снижение воздействия опасных химических веществ	73
8.4 Экологическая безопасность	75
8.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	77
8.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС.....	77

8.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС	78
Вывод	80
Заключение	81
Список литературы	82
Приложение А	85

ВВЕДЕНИЕ

С бурным развитием наноиндустрии появляются новые данные о свойствах веществ, находящихся в наносостоянии и их влиянии на организм человека и экосистемы.

Работа посвящена совершенствованию электрохимических методов и приборов контроля свойств нановеществ, а также разработке методики определения концентрации наночастиц в водных растворах.

Представленный в данной работе прибор – потенциостат, основан на использовании электрохимического метода, и обладает рядом преимуществ над оптическими приборами, такими как высокая чувствительность, низкие пределы обнаружения наночастиц, при этом, имея достаточно низкую стоимость по сравнению с другими приборами.

Данная разработка может найти применение в качестве экспресс-метода детекции загрязняющих наночастиц в окружающей среде, так и в научно-исследовательской сфере, где ведется активное изучение свойств наночастиц, их кинетики и реакций в наномасштабе. Важной задачей в сфере охраны окружающей среды является возможность обнаружения и измерения концентрации наночастиц, поэтому работа, главным образом, направлена на разработку метода, который позволит давать количественную и качественную оценку наночастиц в водной среде.

Цель работы – апробация метода хроноамперометрии для мониторинга водных объектов, содержащих вещества в наносостоянии.

В ходе выполнения данной работы необходимо было решить **следующие задачи**:

1. Изучение электрохимических методов для определения размера и количества наночастиц.
2. Разработка трехэлектродной ячейки для потенциостата для контроля количества и размера наночастиц.

3. Экспериментальное исследование технических параметров потенциостата для контроля количества и размера наночастиц на модельных растворах.

4. Разработка методики определения концентрации наночастиц в растворе.

Выполнение данных задач позволит успешно применять разработанный метод для определения качественных и количественных характеристик наночастиц в водной среде.

1 ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ

1.1 Метод «Нано-воздействия»

В последнее время электрохимические методы «нано-воздействия» показывают большие перспективы для изучения термодинамики или кинетики наночастиц.

Метода основан на случайном столкновении наночастиц с поверхностью микроэлектрода. При подходящем потенциале электрод восстанавливается (1), происходит процесс переноса электрона (2), либо окисляется (3) (рисунок 1), позволяя обнаружить отдельные наночастицы при их столкновении с электродом.

Путем измерения переноса заряда Фарадея можно получить количественную информацию о наночастице, такую как размер, концентрация, агрегация и каталитическая реакционная способность [1].

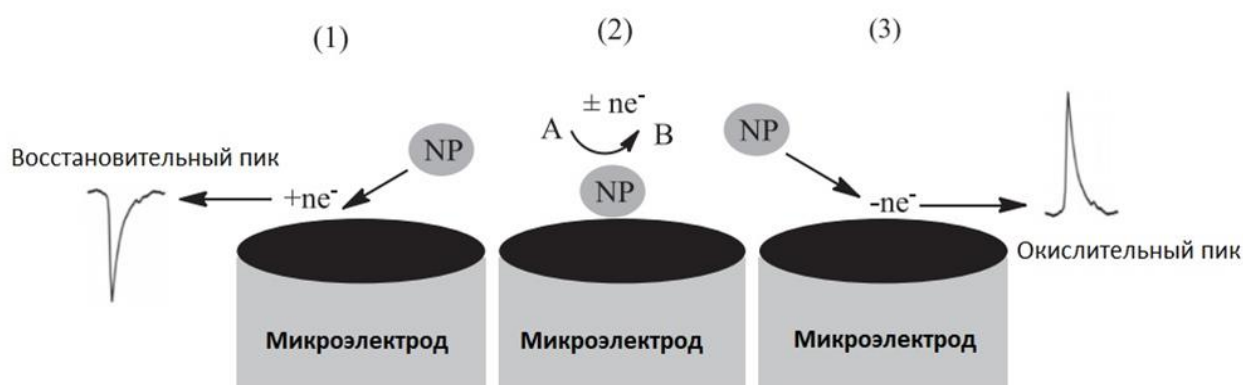


Рисунок 1 – Метод «Нано-воздействия»

Для обнаружения наночастиц с наименьшим радиусом эксперимент проводится в системе с потенциостатом низкого шума, используют цитрат с наночастицами серебра. Для этого раствор цитрата натрия был использован, как фоновый электролит, чтобы минимизировать агрегацию частиц серебра. Предварительно рассеянные наночастицы серебра добавляются, чтобы получить определенную концентрацию в растворе. Хроноамперограммы на несколько

секунд при определенном потенциале; положительного потенциала достаточно, чтобы позволить завершиться окислению попавших наночастиц серебра [2].

На начальной стадии хроноамперограммы запускаются в чистом растворе цитрата без наночастиц серебра. Для этой системы не наблюдаются скачки наночастиц в течении хроноамперограммы. При добавлении наночастиц в раствор начинают наблюдаться скачки заряда, окислительные скачки наблюдаются благодаря внесению наночастиц серебра в раствор и их последующему окислению. Наблюдаемые скачки включаются в анализ, если высота пиков, как минимум три раза ниже среднеквадратичного шума. Интегрирование площади каждого всплеска дает значение заряда, переданного частицей и получается такое распределение зарядов, как на рисунке 2 [3].

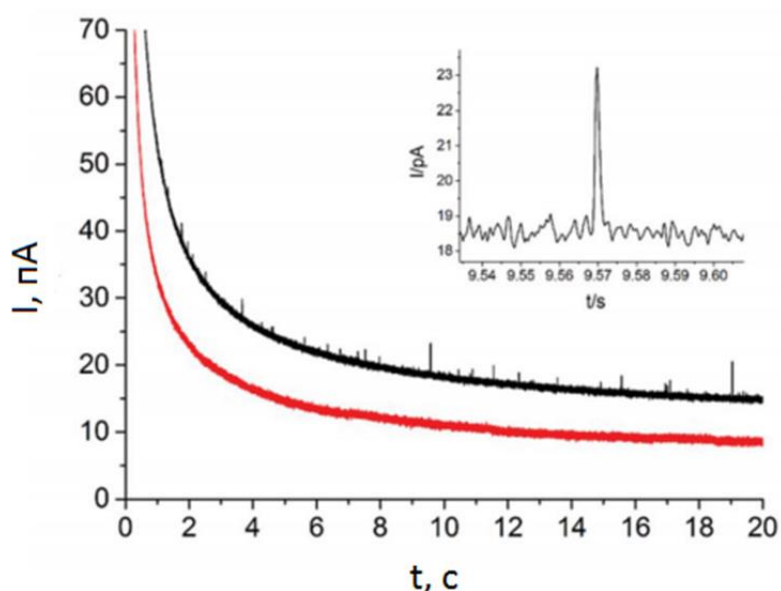


Рисунок 2 – Хроноамперограммы снятые на микроэлектроде при концентрации 0,2М цитрата натрия: красная линия показывает кривую, снятую при отсутствии наночастиц, черная демонстрирует Фарадеевские скачки в присутствии 38 пМ наночастиц серебра

В соответствии с законом Фарадея заряд, переданный при столкновении выражается формулой:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I dt \quad (1.1.1)$$

где t_1 и t_2 соответствуют продолжительности пика, I -величина тока в зависимости от t .

При условии сферической формы, известной плотности и числа переданных электронов, размер сталкивающейся частицы можно вывести, согласно формуле:

$$r_{np} = \sqrt[3]{\frac{3A_r Q}{4\pi n F \rho}} \quad (1.1.2)$$

где A_r – атомная масса, ρ – плотность металла, Q – переданный заряд частицей, F – постоянная фарадея, n – количество переданных электронов. Отличное соответствие наблюдается между распределением размеров данного метода и размерами, полученными с помощью сканирующего электронного микроскопа и просвечивающего электронного микроскопа. Данный метод был расширен для широкого спектра систем, таких как: медь, никель, золото, оксид железа и частиц природного происхождения в водной среде.

1.2 Инверсионная вольтамперометрия

Вольтамперометрия – это метод электрохимического анализа, основанный на изучении зависимости силы тока в электролитической ячейке от потенциала, погруженного в анализируемый раствор индикаторного микроэлектрода, на котором реагирует исследуемое электрохимически активное (электроактивное) вещество [4]

Индикаторный электрод предназначен для концентрирования определяемого вещества, электрод сравнения служит для подачи на индикаторный электрод напряжения.

В инверсионных методах потенциал электрода первоначально выдерживают в течении сравнительно продолжительного времени (стадия накопления) при таком значении, чтобы вещества перемещались из раствора к электролиту; никаких измерений в течении стадии накопления не проводится. Далее вещество на электроде можно привести в состояние равновесия, выдерживая электрод при другом потенциале (стадия уравнивания). В этот период измерения также не проводятся. На последующей стадии измерения проводится определение вещества, находящегося на поверхности электрода. При

этом достигается значительное повышение чувствительности метода, так как ток на стадии измерения больше не ограничен скоростью диффузии вещества к поверхности электрода.

На стадии осаждения анализируемое вещество, поступая из раствора, восстанавливается или окисляется, накапливаясь на электроде. На стадии уравнивания на электроде может осаждаться другое вещество, так что анализируемое вещество может переходить в новое или же в равновесное состояние. На стадии анализа осажденное вещество окисляется или восстанавливается, вновь переходя в раствор в ходе некоторой электроаналитической процедуры, обычно вольтамперометрической, и таким образом осуществляется его определение [5].

Электроды, используемые в инверсионной вольтамперометрии, можно изготавливать из твердых инертных материалов, таких как золото, платина или углерод. В последнем случае используют либо графитовые стержни, либо, что встречается чаще, стеклоуглерод или пропитанный парафином графит.

Достоинством инверсионной вольтамперометрии является возможность определять очень малые концентрации веществ (до 10^{-9} моль/дм³).

Обычно анодная инверсионная вольтамперометрия используется для определения только ионов металлов Cd, Cu, Pb, Tl, Sn и Zn. Анализ соединений требует разработки особых условий и приемов анализа.

Для электроактивных частиц инверсионная вольтамперометрия является эффективным методом, позволяющим определить идентичность частиц на основе их окислительно-восстановительного потенциала. Простая процедура модификации, включающая капание раствора наночастиц на электрод и последующее испарение растворителя. Рабочий электрод затем погружают в электролит, содержащий раствор и выполняют инверсионную вольтамперометрию. Это позволяет упразднить стадию накопления, так как частицы уже адсорбированы на поверхности электрода. Результирующее значение пиков на вольтоамперограмме может быть суммировано, чтобы определить общий заряд переданный в соответствии с формулой:

$$Q = \frac{\int_{E_1}^{E_2} IdV}{v} \quad (1.2.1)$$

где E_1 и E_2 – начальный и конечный потенциал, v – частота развертки.

В результате можно определить общее количество окисленного или восстановленного вещества. Данный метод не позволяет определить размер частиц тем не менее, если размер частиц известен из альтернативных методов, количество частиц, осажденных на электроде можно установить, предполагая, что происходит полное окисление или восстановление [6]. Наблюдаемый сигнал будет зависеть от размера частиц, агрегатного состояния и/или агломерации частиц, расстояния между частицами и поверхностного покрытия. Для необратимой системы пик потенциала не зависит от размера адсорбированной наночастицы. Изменение потенциала в зависимости от размера частицы сравнительно простых металлов может быть определено согласно уравнению Плиета:

$$\Delta_{E_D} = - \frac{2\gamma v_M}{zF} \frac{1}{r} \quad (1.2.2)$$

где Δ_{E_D} – разница в равновесно окислительном потенциале, γ – поверхностное натяжение, v_M – молекулярный объем, z – число перенесенных электронов, r – радиус частицы, F – постоянная Фарадея.

Наблюдаемая реакция, если электрохимически обратима, зависит от концентрации ионов в растворе в соответствии с уравнением Нернста и поверхностным покрытием частиц [7].

2. ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ЧАСТИЦ В НАНОСТОЯНИИ

Электрохимические методы стали ключом к развитию области аналитической химии и химии окружающей среды. В последнее десятилетие удалось добиться большого прогресса в применении вольтамперометрических методов для определения наночастиц в окружающей среде [8]. Прежде всего это связано с развитием приборной базы, появилась возможность снимать токи очень малой величины (пико- и фемтоамперы), использовать IT-технологии для обработки и интерпретации большого массива данных. Развитие оптических методов также сыграло огромную роль в совершенствовании электрохимических методов. Так как с помощью ДРС и ПЭМ-анализа подтверждались результаты, полученные из электрохимических методов, путем корреляции данных исследований.

К примеру, с помощью метода инверсионной вольтамперометрии чаще всего решают проблему определения следов тяжелых металлов в водах и биологических материалах. Метод позволяет идентифицировать формы нахождения ионов металлов в водах. Это позволяет оценивать качество воды, так как разные химические формы существования металлов обладают разной степенью токсичности. Из органических веществ можно определять соединения, обладающие группами, способными к восстановлению. Вольтамперометрия составляет конкуренцию многим спектральным и оптическим методам [9].

В инверсионной вольтамперометрии осаждение частиц металлов на электроде приводит к резкому изменению потенциала относительно электрода сравнения. В работе . Маргуш М. и . Цигленецки И. по развитию методов вольтамперометрии для определения наночастиц в окружающей среде приводится эксперимент по определению и получению характеристик наночастиц сульфида железа (FeS) в растворе соли NaCl с помощью вольтамперометрических измерений для разных электродных систем (Hg и Au).

Наличие адсорбированных частиц FeS на поверхности ртутного электрода значительно изменяют свойства этого электрода, что приводит к сдвигу потенциала, как показано на рисунке 3.

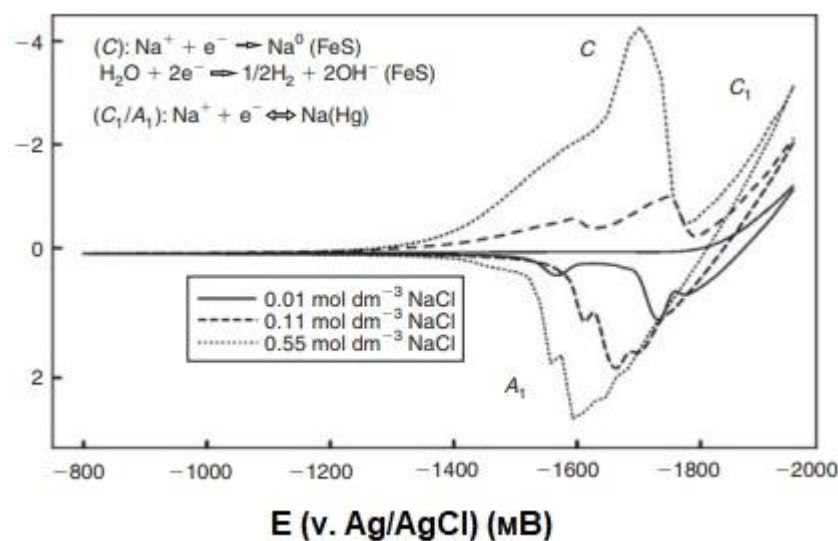


Рисунок 3 – Циклическая вольтамперограмма зависимости сдвига потенциала, относительно хлорид-серебряного электрода при различных концентрациях частиц сульфида железа в растворе NaCl

При потенциале от -0,15 до -0,25 В относительно хлорид-серебряного электрода были обнаружены частицы радиусом 2-5 нм [10]

Методы вольтамперометрии имеют подходящие характеристики, для использования в качестве методов мониторинга для водных систем в целом, и являются одними из ключевых методов анализа гидрофобных и поверхностно-активных органических соединений, сернистых соединений, микроэлементов, искусственных и природных наночастиц. Вольтамперометрия является единственным методом, позволяющим определять и подвергать химическому анализу растворенные и дисперсные неорганические и органические вещества без какой-либо дополнительной обработки пробы.

3 ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ХРОНОАМПЕРОМЕТРИИ

Хроноамперометрия относится к числу электрохимических методов, в которых измеряют силу тока, протекающего через индикаторный электрод, как функцию времени, в то время как возбуждающий сигнал, обычно напряжение или является постоянной величиной, или представляет собой некоторую функцию времени. Если термин хроноамперометрия используется без специальных значений уточнений, это означает, что на неподвижном электроде в перемешиваемом растворе определяется зависимость изменения тока во времени. Массоперенос к такому электроду осуществляется только путем диффузии, и получаемая в результате кривая отражает уменьшение силы тока во времени по экспоненциальному закону [11].

3.1 Хроноамперометрия, основанная на скачкообразном изменении потенциала от заданного уровня

В этом варианте хроноамперометрии потенциал индикаторного электрода скачкообразно изменяется от одного заданного уровня до другого, а наблюдаемый при этом ток фиксируется как функция от времени. Возбуждающий сигнал (скачкообразное изменение потенциала) и форма наблюдаемого сигнала для простого одностадийного значения обратимого процесса приведены на рисунке 4. Обычно такие измерения проводят с неподвижным электродом в перемешиваемом растворе [11].

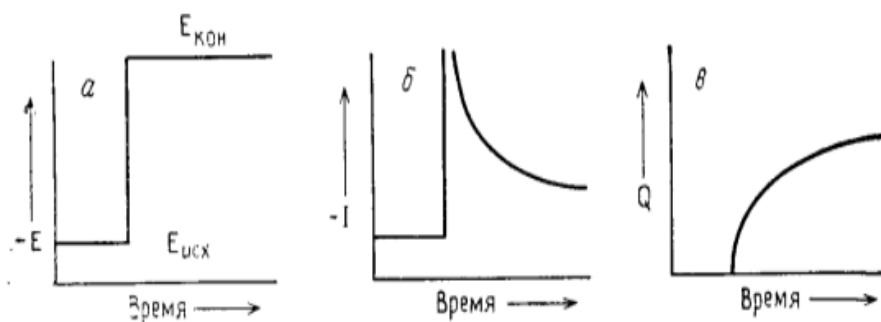


Рисунок 4 – Хроноамперометрия и хронокулонометрия: а – накладываемый скачок потенциала; б – получаемая хроноамперометрическая кривая; в – получаемая хронокулонометрическая кривая

В хроноамперометрии, основанной на скачкообразном изменении потенциала от заданного уровня независимыми переменными или контролируруемыми параметрами являются два потенциала: начальный потенциал электрода $E_{нач}$ и конечный потенциал электрода $E_{кон}$. Другие независимые переменные связаны с такими свойствами раствора, как его концентрация и pH. К зависимым переменным, или измеряемым параметрам, относятся форма кривой, ее амплитуда и зависимость ее кривизны от значения $E_{кон}$. На полученной кривой сначала наблюдается резкое уменьшение начального тока по экспоненциальному закону (рисунок 5). А наиболее полезным участком является тот участок, который следует за этапом быстрого уменьшения силы тока.

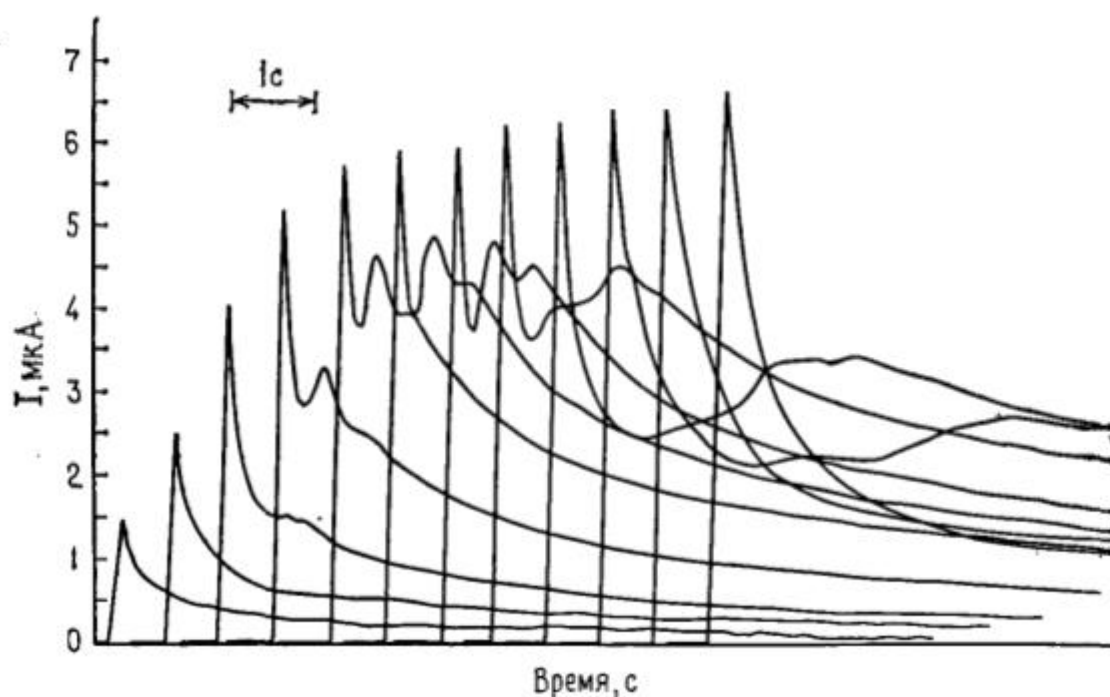


Рисунок 5 – Хроноамперометрия, основанная на скачкообразном изменении потенциала от заданного уровня. Кривые восстановления $Tl(I)/Tl(hg)$ в растворе $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ при различных скачках потенциала

3.2 Уравнение Коттрелла

В хроноамперометрии измеряют ток I на электроде как функцию времени, выраженную уравнением:

$$I = nFAj, \quad (3.2.1)$$

где n – число электронов участвующих в электродной реакции, F – постоянная Фарадея, A – площадь электрода.

Поток j определяется по 1-му закону Фика следующим выражением:

$$j = D \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{D}{2\sqrt{D\pi t}} \frac{\partial c}{\partial \Gamma} \Big|_{\Gamma=0}, \quad (3.2.2)$$

где $\Gamma = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$.

Отсюда следует уравнение:

$$I = \frac{nFa\sqrt{Dc}}{\sqrt{\pi t}} \quad (3.2.3)$$

известное, как уравнение Коттрелла – основное уравнение хроноамперометрии, где D – коэффициент диффузии, c – концентрация исследуемого вещества, t – время измерения. Оно показывает, что ток, возникающий от наложения потенциала, падает до нуля по зависимости, обратно пропорциональной квадратному корню от времени.

4. РАЗРАБОТКА МАКЕТА ФЕМПТОАМПЕРМЕТРА ДЛЯ КОНТРОЛЯ КОЛИЧЕСТВА И РАЗМЕРА НАНОЧАСТИЦ

4.1 Трехэлектродная ячейка

Для проведения электрохимических экспериментов используется потенциостат низкого шума с трехэлектродной ячейкой. Потенциостат – это электронный прибор, автоматически контролирующий потенциал электрода и поддерживающий заранее заданную его величину [12].

В данной работе предложена конструкция трехэлектродной ячейки, которая представлена на рисунке 6.

В качестве экранирования ячейки (1) используется медная трубка толщиной 1,5 мм. В нее помещается стаканчик из кварцевого стекла с анализируемым раствором (2). Электроды устанавливаются в разъемы, указанные на рисунке и помещаются в ячейку с анализируемым раствором. Аналитический сигнал с рабочего электрода передается на выход аналого-цифрового преобразователя (6).

- Рабочий электрод (3) обеспечивает изучаемую границу раздела фаз
- Электрод сравнения (4), в нашем случае ртутно-сульфатный, позволяет установить измерение электродного потенциала рабочего электрода.

Как видно из рисунка располагать рабочий и электрод сравнения следуют как можно ближе, чтобы избежать воздействия омического сопротивления самого раствора.

- Третий электрод (5), вспомогательный, через который протекает ток к рабочему электроду.

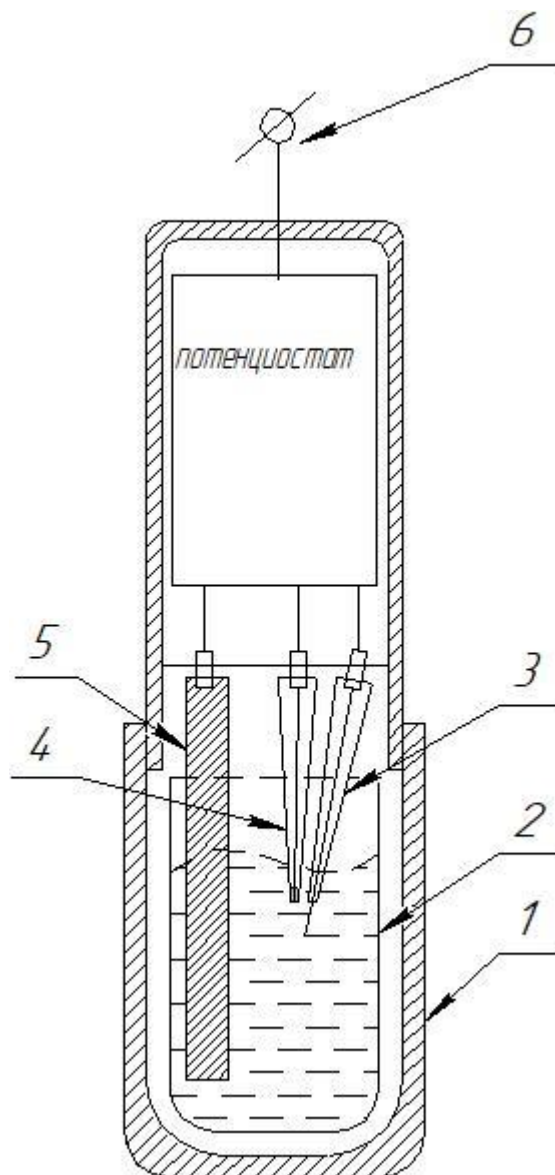


Рисунок 6 – Схема трехэлектродной ячейки: 1 – экран ячейки, 2 – кварцевый стаканчик с анализируемым раствором, 3 – рабочий микроэлектрод, 4 – ртутно-сульфатный электрод сравнения, 5 – вспомогательный электрод, 6 – выход на АЦП

Представленная конструкция ячейки позволяет значительно снизить электромагнитные помехи от внешних источников во время проведения экспериментов.

4.2. Конструкция рабочего электрода

Для проведения экспериментов с наночастицами используется микроэлектрод с углеродным волокном, это обусловлено очень малой электроактивной поверхностью углеродного волокна (радиус электрода 10^{-5} м) [13]. В качестве корпуса используется наконечник от ручного дозатора, в который помещается луженая

медная проволочка предварительно соединенная с нитью углеволокна при помощи токопроводящего клея. Конец наконечника запаивается при помощи термофена. Для надежности соединения в корпус электрода заливается парафин. Упрощенная схема электрода представлена на рисунке 7.

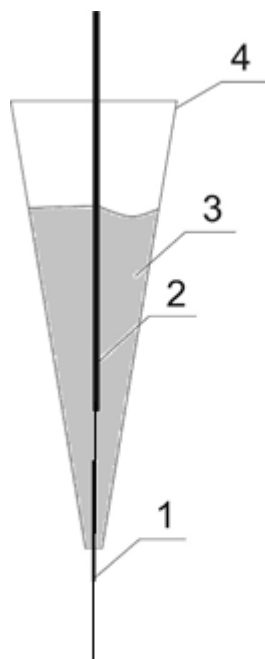


Рисунок 7 – Упрощенная схема рабочего микроэлектрода: 1- нить углеволокна, 2- луженая медная проволочка , 3- парафин, залитый в полимер, 4- корпус электрода

4.3. Конструкция электрода сравнения

В качестве электрода сравнения был выбран ртутно-сульфатный электрод, т.к. данный тип электрода отличается достаточно точным и стабильным потенциалом, что является основным критерием при выборе электрода сравнения.

Корпус был также выполнен из наконечника от ручного дозатора. Конец электрода уплотнялся гипсовым наполнителем, далее в электрод заливалась ртуть и насыщенный раствор азотной кислоты (HNO_3). Затем в электрод засыпался сульфат ртути в объеме 50 мг. В качестве верхнего уплотнителя можно использовать гипсовый или резиновый наполнитель.

Упрощённая схема электрода представлена на рисунке 8.

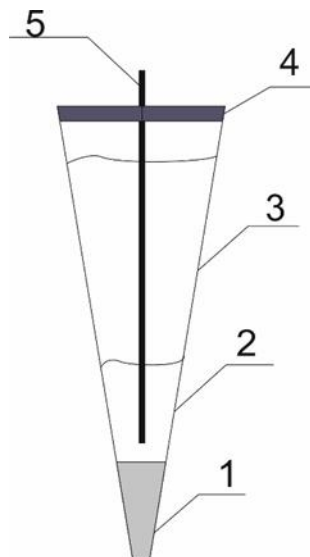
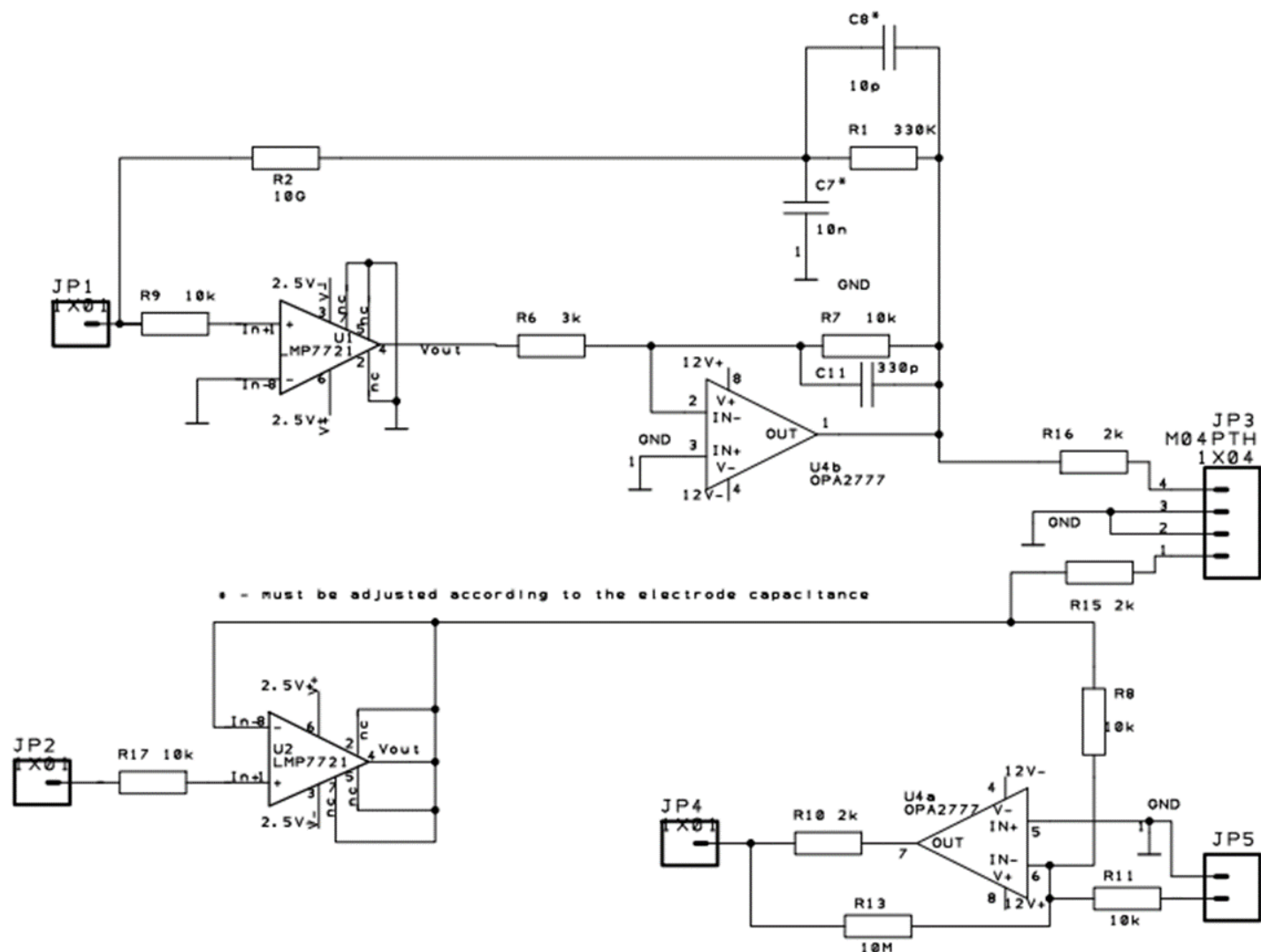


Рисунок 8 – Упрощенная схема ртутно-сульфатного электрода: 1 – гипсовый наполнитель, 2 – залитая ртуть, 3 – водный раствор азотной кислоты и сульфата ртути, 4 – резиновый уплотнитель, 5 – луженая медная проволочка

4.4 Схема потенциостата с фемтоамперметром

Фемтоамперметр представляет собой прибор для измерения малых токов, который обеспечивает измерение силы тока с разрешением от фемтоамперов (10^{-15} А). Использование такого амперметра обусловлено очень малыми регистрируемыми токами при проведении экспериментов с наночастицами, которые обычно составляет единицы пикоампер (10^{-12} А).

На рисунке 9 представлена схема потенциостата с фемтоамперметром.



2

Рисунок 9 – Схема потенциостата с фемтоамперметром

Входной разъем JP1, резистор R9 и операционный усилитель U1 «LMP 7721» образуют первый каскад входного трансимпедансного усилителя, задача которого заключается в преобразование входного тока в выходное напряжение [14].

К разъему JP1 подключается рабочий электрод, ток с которого идет на операционный усилитель U1, резистор R9 служит защитой от прохождения высокого тока и защитой от статического электричества. Величина входного тока для усилителя «LMP 7721» составляет не более 20 фА при 25°C, уровень входного электрического шума $6\text{нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ [15]. Такие характеристики обеспечивают малый входной ток и преобразование напряжения на выходе в диапазоне от -2 до +2В, с учетом резистора R2 величиной 10 гОм, диапазон усилителя составит не более 200пА.

Большое сопротивление резистора R2 и маленькая емкость ОУ ведет к сужению полосы пропускания, чтобы обеспечить передачу сигнала без искажений в схему вводится второй каскад с усилителем U4b «OPA277», который характеризуется малым напряжением смещения и широкой полосой пропускания сигнала [16]. Коэффициент усилителей задается таким чтобы избежать самовозбуждения. Это физическое явление, суть которого состоит в попадании выходного сигнала на вход усилителя. Этот сигнал снова усиливается и отображается на выходе, затем снова попадает на вход. Такое циклическое движение сигнала вызывает колебательный процесс на резонансной частоте системы, что приводит к ухудшению характеристик аппаратуры [17]. Резистор R7 и конденсатор C11 нужны, чтобы компенсировать спад характеристик на высоких частотах.

Задача первого каскада обеспечивать малый входной ток и малый уровень внутренних шумов элементов схемы. Второй каскад обеспечивает широкий диапазон и высокую скорость работы усилителя.

Сигнал с электрода сравнения поступает на операционный усилитель U2 через разъем JP2.

Через разъем JP5 подается сигнал от АЦП на выходной разъем JP4 вспомогательного электрода. В общем случае задаваемый потенциал не может быть больше 2,5 В.

АЦП преобразует измеренный ток в цифровое значение, которое после обработки на ПК может быть представлено в виде хронопикоамперограмм.

5 МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИЯ НАНОЧАСТИЦ В РАСТВОРЕ

Спад тока на микродисковом электроде радиуса r_e задается выражением:

$$I = 4nFCDr_e f(\tau) \quad (5.1)$$

где n – число переданных электронов, F - постоянная Фарадея, c – концентрация наночастиц в растворе, D – коэффициент диффузии, τ - функция времени t [18].

Удобное общее выражение для $f(\tau)$ получено эмпирически Шупом и Цабо и показано, что оно корректно предсказывает токи в любое время с максимальной ошибкой менее 0,6%, что значительно ниже экспериментальной погрешности и имеет следующий вид:

$$f(\tau) = 0,7854 + 0,8863\tau^{-1/2} + 0,2146e^{-0,7823\tau^{-1/2}} \quad (5.2)$$

$$\text{где } \tau = 4Dt/r_e^2$$

Из уравнений (5.1) и (5.2) видно, что при коротких временах ток от $D^{1/2}$, в то время как при большом времени ток прямо пропорционален D . Наоборот ток прямо пропорционален произведению nc при всех временах. Отсюда следует, что при условии проведения эксперимента с высокой точностью, становится возможным аппроксимировать зависимость тока от времени для получения оптимальных значений D и nc . Если n или c известны можно найти третий параметр [19].

Уравнение (5.2) можно использовать для расчета потока наночастиц к рабочему микроэлектроду. Для удобства сравнения поток частиц (воздействий/сек) преобразуется в совокупное число воздействий путем интегрирования уравнения (5.2) и ввода постоянного числа Авогадро.

Получим следующее выражение:

$$\begin{aligned} \frac{N}{N_A} &= \int_0^t 4CDr_e f(\tau) dt = \int_0^{\tau} Cr_e^3 f(\tau) d\tau \\ \tau &= \frac{4D}{r^2} t \end{aligned} \quad (5.3)$$

С помощью программы Maple для функции $f(\tau)$ был решен интеграл и получено следующее выражение:

$$\int_0^{\tau} f(\tau) d\tau = \left[k_1 \tau + 2k_2 \tau^{1/2} + k_3 k_4^2 \left[k_4^{-2} \tau e^{-k_4 \tau^{-1/2}} - k_4^{-1} \tau^{1/2} e^{-k_4 \tau^{-1/2}} - \ln|-k_4 \tau^{-1/2}| - \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-k_4 \tau^{-1/2})^n}{n! n} \right] \right] \quad (5.4)$$

где $k_1 = 0.7854$, $k_2 = 0.8863$, $k_3 = 0.2146$, $k_4 = 0.7823$

Для упрощения выражения (5.4) была проведена аппроксимация функции. Что позволило получить простую аппроксимацию зависимости $\int_0^{\tau} f(\tau) d\tau$ от τ , которая представлена ниже (рисунок 10).

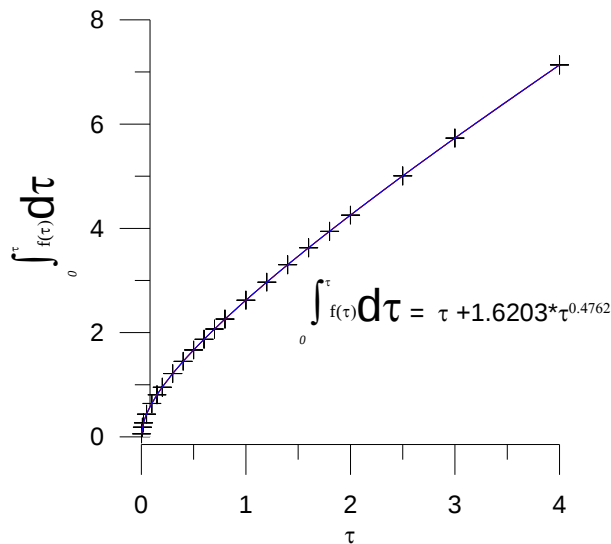


Рисунок 10 – зависимость изменения функции $f(\tau)$ от τ

Таким образом уравнение (5.3) приобретет следующий вид:

$$\frac{N}{N_a} = c r_e^3 (\tau + 1,6203 \tau^{0,4762}) \quad (5.5)$$

При условии, что радиус электрода (r_e) и коэффициент диффузии (D) являются постоянными величинами, возможно рассчитать концентрацию наночастиц в исследуемом растворе (c).

6 АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОТЕНЦИОСТАТА

6.1 Получение хронопикоамперограмм с буферным раствором гексацианоферрата калия

Эксперимент был проведен с использованием системы фемтоамперметра подсоединенного к трехэлектродной ячейке, где рабочим электродом являлся микроэлектрод с углеволокном, электродом сравнения – ртутно-сульфатный, вспомогательным – электрод из платины.

Задача эксперимента заключалась в получении кривых окисления двухводного гексацианоферрата калия $K_4[Fe(CN)_6] \times 2H_2O$ с целью получения хроноамперограммы и последующего анализа полученной кривой окисления, а также оценки шума системы.

Хроноамперограммы были сняты при потенциале +0,7 В. Раствор содержал 0,08 М двухводного гексацианоферрата калия, а также постоянную концентрацию хлорида калия равную 0,1 М.

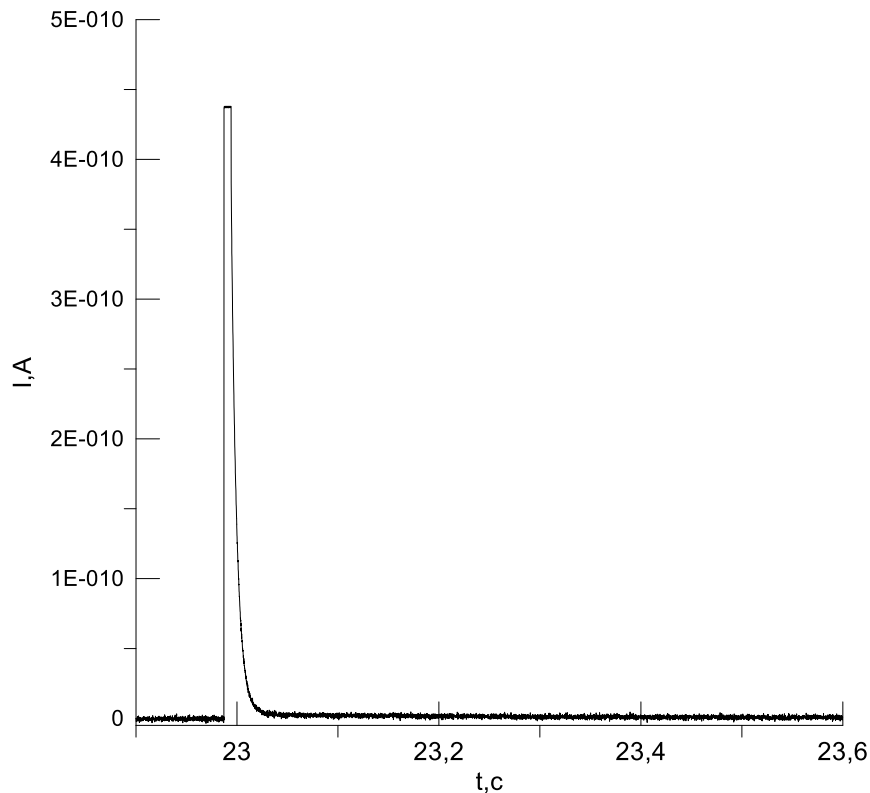


Рисунок 11 – Хроноамперограмма 0,08 М гексацианоферрата калия при потенциале +0,7 В и сопротивление 10 гОм

Как видно из рисунка 11, кривая окисления имеет вид согласно хроноамперометрии, основанном на скачкообразном изменении потенциала т.е. показывает, что ток падает по экспоненте обратно пропорционально квадратному корню от времени.

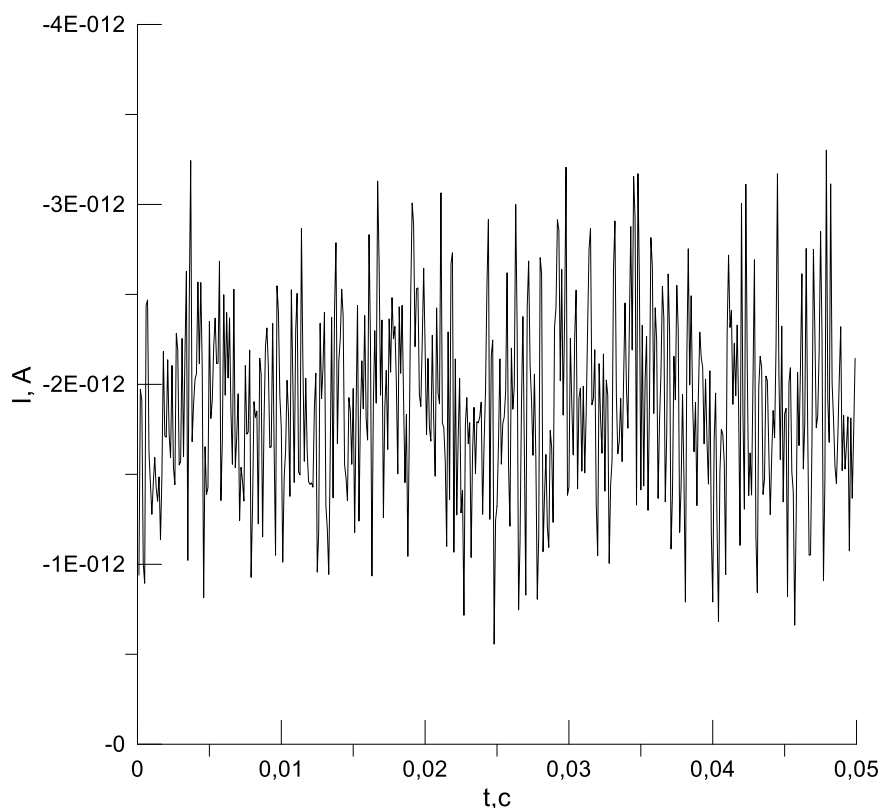


Рисунок 12 – Уровень шума потенциостата, согласно хроноамперограмме на рисунке 11

Проведения расчет среднеквадратичного отклонения полученных значений тока рабочего электрода, мы получили значение шума $8,22 \times 10^{-13} \text{ A} = 0,82 \text{ пА}$, что является допустимым показателем для проведения экспериментов с наночастицами серебра.

6.2. Приготовление модельного раствора наночастиц серебра

Для получения раствора наночастиц серебра необходимо приготовить 0,02М водный раствор боргидрида натрия NaBH_4 в количестве 15 мл. Полученный раствор переливали в круглодонную колбу и охлаждали в течении 15 мин при температуре -10°C .

Далее необходимо приготовить 5 мл 0,001 М водного раствора AgNO_3 . Охлажденный раствор боргидрида натрия помещали в систему с холодильником

и магнитной мешалкой. Затем в раствор боргидрида постепенно по каплям добавляли 5 мл водного раствора нитрата серебра, используя ручной дозатор в течении 15–20 мин. Для предотвращения выпадения в осадок серебра колба должна постоянно охлаждаться и находиться в темноте.

Полученный раствор наночастиц серебра должен иметь светло-жёлтый оттенок [20] и храниться в темном месте при температуре от +3 до +7 °С. Потемнение раствора свидетельствует о том, что частицы серебра выпали в осадок и такой раствор непригоден для дальнейших экспериментов [21].

6.3 Получение хронопикоамперограмм при добавлении в раствор наночастиц серебра

Эксперимент был проведен с использованием системы фемтоамперметра подсоединенного к трехэлектродной ячейке, где рабочим электродом являлся микроэлектрод с углеволокном, электродом сравнения – ртутно-сульфатный электрод, вспомогательным – электрод из платины.

Задача эксперимента заключалась в получении хроноамперограммы буферного раствора 0,02 М цитрата натрия и 60 пМ наночастиц серебра.

Хроноамперограмма была снята при потенциале +0,7 В с частотой сбора данных 10 кГц и показана на рисунке 13.

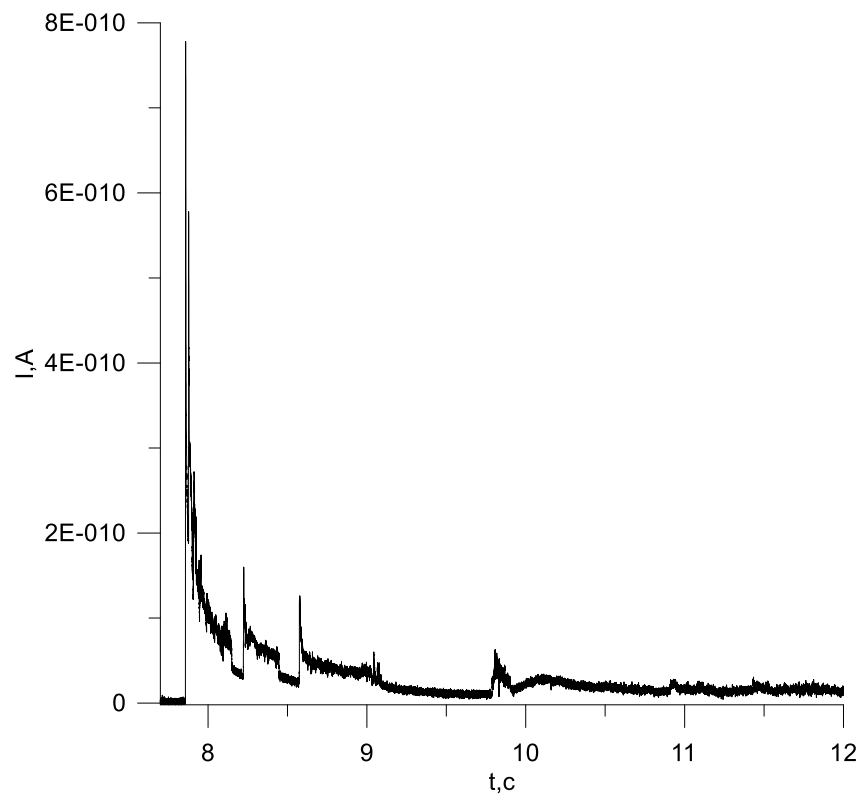


Рисунок 13 – Хроноамперограмма 0,02 М цитрата натрия с добавлением 60 пМ наночастиц серебра

Как видно из графика наблюдается скачки тока от 30 до 100 пА, что свидетельствует о попадании наночастиц серебра на рабочий микроэлектрод [22]. Среднеквадратичная величина шума составила 0,82 пА.

По результатам проведенного эксперимента можно сделать вывод о том, что представленная схема прибора может быть использована для проведения анализа веществ в наносостоянии в водной среде.

7 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

7.1 Предпроектный анализ

7.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В настоящее время в сфере охраны окружающей среды и здоровья человека требует срочного решения возможность выявления и получения характеристик наночастиц с точки зрения их физических свойств и фундаментального понимания. Используя электрохимические и оптические методы, мы можем получить эти данные.

В медицинской сфере проводятся исследования образцов крови и слюны человека для количественного определения различных пептидов, аминокислот и т.д. с целью определения клеточного состояния организма. Помимо определения состояния человека, использование свойств нанообъектов позволяет конструировать и изменять биологические системы человека на молекулярном уровне.

В научно-исследовательской сфере ведется активное изучение свойств наночастиц, их кинетики или химических реакций в наномасштабе, так как эти свойства зачастую являются уникальными. Например, благодаря оптическим свойствам, сверхтонкие пленки применяют для производства солнечных батарей. Наноматериалы активно используются в микроэлектронике, металлургии, робототехнике и т.д.

Постоянная увеличивающаяся доля наноматериалов в производстве, требует контроля распространения наночастиц в окружающей среде. Для этой сферы наиболее важны методы определения концентрации наночастиц в различных средах для проведения успешного мониторинга.

7.1.2 Анализ конкурентных технических решений с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения

Анализ конкурентных технических решений помогает вносить коррективы в научное исследование, чтобы успешнее противостоять своим

соперникам. Важно реалистично оценить сильные и слабые стороны разработок конкурентов.

На сегодняшний день существует три основных методы определения количества и размера наночастиц. Это метод лазерной корреляционной спектроскопии, который осуществляется с помощью спектрометра. Следующий метод является также оптическим, в котором используется просвечивающий электронный микроскоп. И последний – это электрохимический метод, основанный на использовании прототипа потенциостата.

Для каждого метода был отобран коммерчески доступный прибор и в таблице 1 приведена их сравнительная характеристика.

Таблица 1 – сравнительная характеристика приборов для определения свойств наночастиц

Наименование	Цена (руб)	Точность измерения (нм)	Вес (кг)	Потребляемая мощность (Вт)
Спектрометр Photocor Complex (А)	2.588.000	До 0,5	19	140
Прототип потенциостата (Б)	98500	До 3,15	5	135
Просвечивающий электронный микроскоп ПЭМ-200 (В)	12.500.000	До 0,35	1700	Не менее $5,5 \cdot 10^3$

Целесообразно проводить данный анализ с помощью оценочной карты, пример которой приведен в таблице 2. Для этого необходимо отобрать не менее трех-четырёх конкурентных товаров и разработок.

Позиция разработки и конкурентов оценивается по каждому показателю экспертным путем по пятибалльной шкале, где 1 – неудовлетворительный показатель, 2 – слабый показатель, 3 – средний показатель, 4 – оптимальный показатель, 5 – сильный показатель.

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических решений (разработок)

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		А	Б	В	К _А	К _Б	К _В
1	2	3	4	5	6	7	8
Технические критерии оценки ресурсоэффективности							
1. Удобство в эксплуатации	0,1	5	4	1	0,5	0,4	0,1
2. Помехоустойчивость	0,1	5	2	5	0,5	0,2	0,5
3. Безопасность	0,1	5	5	2	0,5	0,5	0,2
4. Точность измерения	0,1	5	3	5	0,5	0,3	0,5
5. Удобство интерпретации данных	0,05	4	3	5	0,2	0,15	0,25
6. Энергоэкономичность	0,05	5	5	1	0,25	0,25	0,05
7. Уровень технологичности	0,1	4	4	3	0,4	0,4	0,3
8. Вес	0,1	5	5	1	0,5	0,5	0,1
Экономические критерии оценки эффективности							
1. Конкурентоспособность продукта	0,1	2	3	1	0,2	0,3	0,1
2. Цена	0,1	1	5	1	0,1	0,5	0,1
3. Послепродажное обслуживание	0,1	3	5	1	0,3	0,5	0,1
Итого	1				3,85	4,0	2,3

Анализ конкурентных технических решений показал, что по сумме критериев наиболее конкурентоспособной разработкой является представленный в работе прототип потенциостата (К_Б=4), сочетающий невысокую цену и приемлемые технические характеристики. Следующим по конкурентоспособности идет спектрометр Photocor Complex (К_А=3,85), который обладает высокой точностью результата и удобен в эксплуатации, наименее конкурентоспособным оказался электронный микроскоп ПЭМ-200 (К_В=2,3) из-за слишком высокой цены и дорогостоящего обслуживания.

7.1.3 Оценка готовности проекта к коммерциализации

На какой бы стадии жизненного цикла не находилась научная разработка полезно оценить степень ее готовности к коммерциализации и выяснить уровень

собственных знаний для ее проведения (или завершения). Для этого необходимо заполнить специальную форму, содержащую показатели о степени проработанности проекта с позиции коммерциализации и компетенциям разработчика научного проекта. Бланк оценки приведен в таблице 3.

Таблица 3 – Бланк оценки степени готовности научного проекта к коммерциализации

№ п/п	Наименование	Степень проработанности научного проекта	Уровень имеющихся знаний у разработчика
1.	Определен имеющийся научно-технический задел	4	4
2.	Определены перспективные направления коммерциализации научно-технического задела	3	4
3.	Определены отрасли и технологии для предложения на рынке	4	4
4.	Определена товарная форма научно-технического задела для представления на рынок	4	3
5.	Определены авторы и осуществлена охрана их прав	4	4
6.	Проведена оценка стоимости интеллектуальной собственности	3	3
7.	Проведены маркетинговые исследования рынков сбыта	4	4
8.	Разработан бизнес-план коммерциализации научной разработки	3	4
9.	Определены пути продвижения научной разработки на рынок	5	5
10.	Разработана стратегия (форма) реализации научной разработки	5	5
11.	Проработаны вопросы международного сотрудничества и выхода на зарубежный рынок	5	5
12.	Проработаны вопросы использования услуг инфраструктуры поддержки, получения льгот	2	1
13.	Проработаны вопросы финансирования коммерциализации научной разработки	5	5
14.	Имеется команда для коммерциализации научной разработки	5	4
15.	Сумма баллов	56	55

Оценка готовности научного проекта к коммерциализации (или уровень имеющихся знаний у разработчика) определяется по формуле:

$$B_{\text{сум}} = \sum B_i \quad (7.1)$$

где $B_{\text{сум}}$ – суммарное количество баллов по каждому направлению;

B_i – балл по i -му показателю.

Значение $B_{\text{сум}}$ позволяет говорить о мере готовности научной разработки и ее разработчика к коммерциализации. Так, если значение $B_{\text{сум}}$ получилось от 75 до 60, то такая разработка считается перспективной, а знания разработчика достаточными для успешной ее коммерциализации. Если от 59 до 45 – то перспективность выше среднего. Если от 44 до 30 – то перспективность средняя. Если от 29 до 15 – то перспективность ниже среднего. Если 14 и ниже – то перспективность крайне низкая.

Исходя из полученных значений можно говорить о перспективности выше среднего для представленной разработки. Для дальнейшего улучшения разработки необходимо доработать бизнес-план для дальнейшей коммерциализации на рынке сбыта, а также разработать коммерческую версию прибора.

7.1.4 Методы коммерциализации результатов научно-технического исследования

В качестве метода коммерциализации был выбран метод организации совместных предприятий, работающих по схеме «российское производство-зарубежное распространение». Обосновано это тем, что существующий прототип потенциостата оказался на порядок дешевле, зарубежных аналогов. Основываясь на этом, можно предположить, что коммерческая версия прибора за счет более низкой цены будет конкурентоспособна на зарубежном рынке.

7.2 Инициация проекта

Группа процессов инициации состоит из процессов, которые выполняются для определения нового проекта или новой фазы существующего.

В рамках процессов инициации определяются изначальные цели и содержание и фиксируются изначальные финансовые ресурсы. Определяются внутренние и внешние заинтересованные стороны проекта, которые будут взаимодействовать и влиять на общий результат научного проекта. Данная информация закрепляется в Уставе проекта.

Устав проекта документирует бизнес-потребности, текущее понимание потребностей заказчика проекта, а также новый продукт, услугу или результат, который планируется создать.

7.2.1 Цели и задачи проекта

В таблице 4 представлены заинтересованные стороны проекта.

Таблица 4 – Заинтересованные стороны проекта

Заинтересованные стороны проекта	Ожидания заинтересованных сторон
Медицинские лаборатории	Прибор для исследования коллоидных частиц в крови и слюне человека (эритроцитов, пептидов, аминокислот и т.д.)
Научно-исследовательские институты	Новые технологии и методы для изучения свойств наночастиц, их кинетики или химических реакций в наномасштабе.
Службы, проводящие экологический мониторинг	Прибор для определения концентрации наночастиц в различных средах для проведения успешного мониторинга

В таблице 5 представлены цели и результаты проекта.

Таблица 5 – Цели и результат проекта

Цели проекта:	Создание прибора для определения концентрации наночастиц в водной среде
Ожидаемые результаты проекта:	Разработка и создание работоспособного прототипа
Критерии приемки результата проекта:	Работоспособность прибора, удобство в эксплуатации, наименьшая стоимость по сравнению с другими аналогами
Требования к результату проекта:	Требование:
	Точность измерения на уровне других конкурентных решений
	Наименьшая стоимость по сравнению с аналогами
	Удобство эксплуатации и обслуживания
	Соблюдение сроков выполнения проекта

7.2.2 Организационная структура проекта

В таблице 6 представлена рабочая группа проекта.

Таблица 6 – Рабочая группа проекта

№ п/п	ФИО, основное место работы, должность	Роль в проекте	Функции	Трудовые затраты, час.
1	Вилесов Максим Вадимович, студент НИ ТПУ	Исполнитель проекта	Проведение работ по реализации проекта	728
2	Ларионова Екатерина Владимировна, доцент ОКД ИШНКБ НИ ТПУ	Руководитель проекта	Курирование исполнителей проекта, помощь в реализации проекта	168
ИТОГО:				896

7.2.3 Ограничения и допущения проекта

Ограничения проекта – это все факторы, которые могут послужить ограничением степени свободы участников команды проекта, а также «границы

проекта» - параметры проекта или его продукта, которые не будут реализованных в рамках данного проекта. Факторы, ограничения и допущения представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Ограничения проекта

Фактор	Ограничения/ допущения
Бюджет проекта	120.000руб
Источник финансирования	НИ ТПУ
Сроки проекта:	С 1.02.19-1.06.19
Дата утверждения плана управления проектом	25.01.19
Дата завершения проекта	31.05.19
Прочие ограничения и допущения	Ограничение по приборному оснащению лаборатории

7.3 Планирование научно-исследовательских работ

Группа процессов планирования состоит из процессов, осуществляемых для определения общего содержания работ, уточнения целей и разработки последовательности действий, требуемых для достижения данных целей.

План управления научным проектом должен включать в себя:

- 1) определение структуры работ в рамках научного исследования;
- 2) определение участников каждой работы;
- 3) установление продолжительности работ;
- 4) разработка графика проведения научных исследований.

В данном разделе необходимо составить перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования, провести распределение исполнителей по видам работ.

Порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 8.

Таблица 8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	Составление и утверждение темы ВКР	Научный руководитель
	Составление плана ВКР	Научный руководитель
Теоретические исследования	Подбор и изучение литературы по теме ВКР	Студент
	Выбор метода исследования	Научный руководитель, студент
Экспериментальные исследования	Конструирование прототипа потенциостата	Научный руководитель, студент
	Проведение эксперимента с наночастицами	Студент
Обработка и оценка результатов эксперимента	Обработка результатов исследования	Студент
	Оценка полученных данных	Студент
Оформление ВКР	Согласование и проверка ВКР с руководителем	Научный руководитель, студент
	Оформление пояснительной записки	Студент

7.3.1 Определение трудоемкости выполнения работ

Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожі}$ используется следующая формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{\min i} + 2t_{\max i}}{5}, \quad (7.2)$$

где $t_{ожі}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{\min i}$ – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.;

$t_{\max i}$ – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях T_p , учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями. Такое вычисление необходимо для обоснованного расчета заработной платы, так как удельный вес зарплаты в общей сметной стоимости научных исследований составляет около 65 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожи}}{Ч_i}, \quad (7.3)$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб. дн.;

$t_{ожи}$ – ожидаемая трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

7.3.2 Разработка графика проведения научного исследования

При выполнении дипломных работ студенты в основном становятся участниками сравнительно небольших по объему научных тем. Поэтому наиболее удобным и наглядным является построение ленточного графика проведения научных работ в форме диаграммы Ганта.

Диаграмма Ганта – горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для удобства построения графика, длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следует перевести в календарные дни. Для этого необходимо воспользоваться следующей формулой:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (7.4)$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -й работы в календарных днях;

T_{pi} – продолжительность выполнения i -й работы в рабочих днях;

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7.5)$$

где $T_{\text{кал}}$ – количество календарных дней в году;

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году;

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году.

Рассчитанные значения в календарных днях по каждой работе T_{ki} необходимо округлить до целого числа.

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу (таблица 9).

Таблица 9 – Временные показатели проведения научного исследования

Название работы	Трудоёмкость работ						Длительность работ в рабочих днях T_{pi}		Длительность работ в календарных днях T_{ki}	
	t_{min} , чел-дни		t_{max} , чел-дни		$t_{ожк}$, чел-дни					
	Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент	Научный руководитель	Студент
Составление и утверждение темы ВКР	1	-	1	-	1	-	1	-	2	-
Составление плана ВКР	1	-	1	-	1	-	1	-	2	-
Подбор и изучение литературы по теме ВКР	-	7	-	10	-	8,8	-	9	-	14
Выбор метода исследования	1	2	2	3	1,4	2,4	1	2	2	3
Написание теоретической части ВКР	-	10	-	15	-	12	-	12	-	18
Конструирование прототипа потенциостата	7	15	9	18	7,8	16,2	4	9	6	14
Проведение эксперимента с наночастицами	2	2	3	3	2,4	2,4	2	2	3	3
Обработка результатов исследования	-	2	-	3	-	2,4	-	3	-	5
Оценка полученных данных	2	3	3	4	2,4	3,4	2	2	3	3
Согласование и проверка ВКР с руководителем	2	2	3	3	2,4	2,4	2	2	3	3
Оформление пояснительной записки	-	10	-	12	-	11	-	11	-	27

Таблица 10 – Календарный план-график выполнения ВКР

№ раб от	Вид работ	Исполнители	T _{кi} , кал. Дн.	Продолжительность выполнения работ														
				февраль			март			апрель			май			июнь		
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Составление и утверждение темы ВКР	Руководитель	2	▨														
2	Составление плана ВКР	Руководитель	2	▨														
3	Подбор и изучение литературы по теме ВКР	Студент	14		▤	▤	▤	▤	▤									
4	Выбор метода исследования	Руководитель,	2				▨											
		студент	3				▤	▤	▤									
5	Написание теоретической части ВКР	Студент	18						▤	▤	▤	▤						
6	Конструирование прототипа потенциостата	Студент,	14							▤	▤	▤						
		Руководитель	6							▨								
7	Проведение эксперимента с наночастицами	Студент,	3									▤						
		Руководитель	3									▨						
8	Обработка результатов исследования	Студент	5										▤					
9	Оценка полученных данных	Студент,	3										▤					
		Руководитель	3										▨					
10	Согласование и проверка готовой ВКР с руководителем	Студент,	3											▤				
		Руководитель	3											▨				
11	Оформление пояснительной записки	Студент	27												▤	▤	▤	▤

Студент - ▤ Научный руководитель – ▨

Построенный календарный план-график показывает, что наиболее продолжительными этапами работы являются: «Подбор и изучение литературы по теме ВКР» (14 дней), «написание теоретической части ВКР» (18 дней), «конструирование прототипа потенциостата» (14 дней) и «оформление пояснительной записки» (27 дней). В ходе проведения НИР руководитель темы участвует в работе в течении 21 календарного дня, студент – в течении 90 календарных дней.

Общая продолжительность работ в календарных днях составила 94 календарных дня.

7.4 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

При планировании бюджета НТИ должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. В процессе формирования бюджета НТИ используется следующая группировка затрат по статьям:

- материальные затраты НТИ;
- затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- основная заработная плата исполнителей темы;
- дополнительная заработная плата исполнителей темы;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- накладные расходы.

7.4.1 Расчет материальных затрат НТИ

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта.

Таблица 11 – материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, руб.
Ручка	шт.	2	80	160
Карандаш	шт.	2	20	40
Ластик	шт.	1	50	50
Линейка	шт.	2	70	140
Маркеры	шт.	2	100	200
Степлер	шт.	1	250	250
Скобы для степлера	шт.	2	45	90
Упаковка бумаги А4	шт.	1	250	250
Usb-флеш-накопитель	шт.	1	1200	1200
Итого				2380

7.4.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специальных комплектующих для конструирования прототипа потенциостата и спецоборудования для проведения экспериментов.

Таблица 12 – Расчёт бюджета затрат на приобретение комплектующих для потенциостата и спецоборудования

№ п/п	Наименование оборудования	Кол-во ед. оборудования	Цена ед. оборудования, руб.	Общая стоимость оборудования, руб.
1	Операционный усилитель «A08606»	6	243	1458
2	Высокоскоростная оптопара «6N137»	1	40	40
4	Аналого-цифровой преобразователь «L-card E-502»	1	55800	55800
5	Микроконтроллер «STM32F103C8T6»	1	410	410
6	Операционный усилитель «LMC600»	1	316	316
7	Мультиметр цифровой ТЕК «DT9208A»	1	950	950
8	ПК	1	40000	40000
Итого:				98500

7.4.3 Основная заработная плата исполнителей темы

В настоящую статью включается основная заработная плата студента и научного руководителя.

Статья включает основную заработную плату работников, непосредственно занятых выполнением НИИ, (включая премии, доплаты) и дополнительную заработную плату:

$$З_{зп} = З_{осн} + З_{доп}, \quad (7.6)$$

где $З_{осн}$ – основная заработная плата;

$З_{доп}$ – дополнительная заработная плата (15 % от $З_{осн}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) научного руководителя и студента рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p, \quad (7.7)$$

где $Z_{\text{осн}}$ – основная заработная плата одного работника;

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 10);

$Z_{\text{дн}}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d}, \quad (7.8)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

при отпуске в 24 раб. дня $M = 11,2$ месяца, 5-дневная неделя;

при отпуске в 48 раб. дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (табл.13).

Таблица 13 – Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	104	104
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	10	5
Действительный годовой фонд рабочего времени	189	194

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p, \quad (7.9)$$

где $Z_{тс}$ – заработная плата по тарифной ставке, руб.;

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3;

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок, равный 0,3;

$k_{р}$ – районный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Месячный должностной оклад научного руководителя, руб.:

$$Z_{м} = 26300 * (1 + 0,3 + 0,3) * 1,3 = 54704$$

Месячный должностной оклад студента, руб.:

$$Z_{м} = 17000 * (1 + 0,3 + 0,3) * 1,3 = 27200$$

Среднедневная заработная плата научного руководителя, руб.:

$$Z_{дн} = \frac{54704 * 10,4}{189} = 3010,17$$

Среднедневная заработная плата студента, руб.:

$$Z_{дн} = \frac{27200 * 10,4}{194} = 1458,15$$

Основная заработная плата научного руководителя составила:

$$Z_{осн} = 3010,17 * 21 = 63213,57 \text{ руб.}$$

Основная заработная плата студента составила:

$$Z_{осн} = 1458,15 * 90 = 131233,50 \text{ руб.}$$

Полученные результаты заносим в таблицу 14:

Таблица 14 – Расчет основной заработной платы

Исполнители	$Z_{тс}$, руб.	$k_{пр}$	$k_{д}$	$k_{р}$	$Z_{м}$, руб.	$Z_{дн}$, руб.	$T_{р.}$ раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Научный руководитель	26300	0,3	0,3	1,3	54704	3010,17	21	63213,57
Студент	17000	0,3	0,3	1,3	27200	1458,15	90	131233,50
Итого $Z_{осн}$								194447,07

7.4.4 Дополнительная заработная плата исполнителей темы

Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы учитывают величину предусмотренных Трудовым кодексом РФ доплат за

отклонение от нормальных условий труда, а также выплат, связанных с обеспечением гарантий.

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$З_{\text{доп}} = k_{\text{доп}} \cdot З_{\text{осн}} \quad (7.10)$$

где $k_{\text{доп}}$ – коэффициент дополнительной заработной платы, равный 0,12.

Таблица 15 – Дополнительная заработная плата исполнителей НТИ

Заработная плата	Руководитель	Студент
Основная зарплата	63213,57	131233,50
Дополнительная зарплата	7585,62	15748,02
Итого, руб	23333,64	

7.4.5 Отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления)

В данной статье расходов отражаются обязательные отчисления по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

$$З_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (З_{\text{осн}} + З_{\text{доп}}), \quad (7.11)$$

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на уплату во внебюджетные фонды (пенсионный фонд, фонд обязательного медицинского страхования и пр.).

Таблица 16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.	Дополнительная заработная плата, руб.
Руководитель	63213,57	7585,62
Студент	131233,50	15748,02
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	30% = 0,3	
Итого :	21239,75	44094,45

7.4.6 Накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Их величина определяется по следующей формуле:

$$З_{\text{накл}} = (\text{сумма статей } 1 \div 3) \cdot k_{\text{нр}}, \quad (7.12)$$

где $k_{\text{нр}}$ – коэффициент, учитывающий накладные расходы.

Величину коэффициента накладных расходов можно взять в размере 16%.

$$З_{\text{накл}} = (295327) \cdot 0,16 = 47252,32 \text{ руб}$$

7.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

Таблица 17 – Расчет бюджета затрат ВКР

Наименование статьи	Сумма, руб.	Доля от общих затрат, %
1. Материальные затраты НТИ	2380	0,55
2. Затраты на спецоборудование	98500	22,84
2. Затраты по основной заработной плате исполнителей темы	194447,07	45,09
3. Затраты по дополнительной заработной плате исполнителей темы	23333,64	5,41
4. Отчисления во внебюджетные фонды	65334,20	15,15
5. Накладные расходы	47252,32	10,96
6. Бюджет затрат НТИ	431247,23	100

Проведенный расчет стоимости НТИ показал, что общая стоимость составляет 431247,23 рубля.

7.5 Оценка сравнительной эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности. Определим эффективность для трех способов исполнения.

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{pi}}{\Phi_{\text{max}}} \quad (7.13)$$

где $I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i}$ – интегральный финансовый показатель разработки;

Φ_{pi} – стоимость i -го варианта исполнения;

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги).

$$I_{\text{финр}}^{\text{проект}} = \frac{98500}{12500000} = 0,008;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{аналог 1}} = \frac{2588000}{12500000} = 0,207;$$

$$I_{\text{финр}}^{\text{аналог 2}} = \frac{12500000}{12500000} = 1.$$

Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (7.14)$$

где I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности для i -го варианта исполнения разработки;

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

b_i^a, b_i^p – бальная оценка i -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;

n – число параметров сравнения.

Таблица 18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Объект исследования Критерии	Весовой коэффициент параметра	Проект	Аналог 1	Аналог 2
1. Безопасность	0,15	4	5	4
2. Удобство в эксплуатации	0,15	3	5	3
3. Долговечность	0,25	3	5	5
4. Наглядность	0,2	4	3	4
5. Надежность	0,25	4	5	5
Итого	1	3,6	4,6	4,35

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{\text{вари}}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{вари}} = \frac{I_{p-\text{вар } 1}}{I_{\text{финр}}} \quad (7.15)$$

$$I_{\text{проект}} = \frac{3,8}{0,008} = 475;$$

$$I_{\text{аналог } 1} = \frac{4,6}{0,207} = 22,22;$$

$$I_{\text{аналог } 2} = \frac{4,35}{1} = 4,35.;$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных. Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{вар } 1}}{I_{\text{вар } 2}}; \quad (7.16)$$

Таблица 19 – Сравнительная эффективность разработки

№ п/п	Показатели	Проект	Аналог 1	Аналог 2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,008	0,207	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	3,6	4,6	4,35
3	Интегральный показатель эффективности	475	22,22	4,35
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	110,47	5,17	1

Вывод

В ходе выполнения раздела «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение» был произведен анализ конкурентных технических решений, который показал, что предложенный проект является наиболее конкурентоспособной разработкой. Был построен календарный план график. Общая продолжительность работ составила 94 календарных дня. Проведен расчет материально-технических затрат НТИ, затрат на специальное оборудование, основной и дополнительной заработной платы исполнителей проекта, отчислений во внебюджетные фонды и накладных расходов. Общий бюджет научно-исследовательского проекта составил 431247,23 руб.

По результатам оценки сравнительной эффективности исследования сравнительная эффективность проекта оказалась наибольшей в сравнении с другими конкурентными проектами.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенный проект прибора для определения наночастиц в водной среде является перспективным и успешным.

8 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Научно-исследовательская работа направлена на разработку прибора для мониторинга коллоидных частиц в водных объектах.

В настоящее время постоянно увеличивающаяся доля использования наноматериалов в производственной и бытовой сфере приводит к возникновению серьезных рисков для человека. Поэтому требует срочного решения возможность получения характеристик наночастиц для разработки критериев по оценке возникающих рисков. Представленный в данной работе прибор - потенциостат, основан на использовании электрохимического метода, и обладает низкими пределами обнаружения наночастиц при этом, имея достаточно низкую стоимость по сравнению с другими приборами.

Представленная разработка может использоваться как в медицинской сфере с целью определения состояния организма на клеточном уровне, так и в научно-исследовательской сфере, где ведется активное изучение свойств наночастиц, их кинетики и реакций в наномасштабе. Важной задачей в сфере охраны окружающей среды является возможность обнаружения и измерения количественных параметров наночастиц для проведения успешного мониторинга. Полученные данные позволят провести нормирование воздействия наночастиц.

В данном разделе будет изучено рабочее место лаборанта в аналитической лаборатории №223 второго корпуса НИ ТПУ.

8.1 Правовые и организационные вопросы проведения

8.1.1 Специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства

Правоотношения между работником и работодателем регулируются Трудовым кодексом № 197-ФЗ «Трудовой кодекс Российской Федерации», где определяются основные обязанности, права и ответственность нанимателей и работников, устанавливает гарантии права работников на охрану труда, регламентирует деятельность службы охраны труда, устанавливает функции государства в этой области, предусматривает систему государственного надзора и контроля за соблюдением законодательства об охране труда и общественный контроль в этой области.

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 «Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях» на работу в химико-аналитические лаборатории принимаются лица не моложе 18 лет, прошедшие медицинское освидетельствование для решения вопроса о возможности работы в лаборатории. Прохождение инструктажа обязательно для всех принимаемых на работу независимо от их образования, стажа работы и должности, а также для проходящих практику или производственное обучение.

Согласно результатам специальной оценки труда, рабочее место лаборанта химического анализа соответствует 2 (допустимому) классу условий труда, т.е. воздействие вредных и (или) опасных производственных факторов не превышает уровни, установленные нормативами ст.14 ФЗ №426-ФЗ «О специальной оценке условий труда. При таком классе условий труда компенсации не предусмотрены [23].

8.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны

Лаборатория должна быть оснащена современной лабораторной мебелью, вытяжными шкавами. Для реактивов выделяют отдельные полки и шкафы. Лабораторный стол следует содержать в порядке и чистоте. Рабочее

место должно быть хорошо освещено: недалеко от окон и иметь осветительные лампы. Рабочий стол лаборатории должен быть приспособлен к условиям работы, оборудован водопроводными кранами и водостоком.

Каждый работающий в лаборатории должен иметь халат; он предохраняет от порчи и загрязнения одежду. Там, где работа связана с возможностью загрязнения, лучше иметь темные халаты, а где работа чистая, например, в аналитических лабораториях, рекомендуется иметь белые халаты.

Около рабочих столов и водопроводных раковин обязательно должны быть глиняные банки ёмкостью 10—15 л для сливания ненужных растворов, реактивов и т. д., а также корзины для битого стекла, бумаги и прочего сухого мусора.

8.2 Производственная безопасность

Во время разработки потенциостата и проведения экспериментов с наночастицами подразумевается, как работа с оборудованием, работающим под электрическим напряжением, так и работа с химическими реактивами.

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые могут возникать при проведении исследований в лаборатории, при разработке или эксплуатации потенциостата.

Для идентификации потенциальных факторов используется ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы. Классификация». Перечень опасных и вредных факторов, характерных для проектируемой производственной среды представлен в таблице 20.

Таблица 20 – Опасные и вредные факторы, возникающие при выполнении работ по разработке и эксплуатации потенциостата

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Этапы работ			Нормативные документы
	Разрабо тка	Изготов ление	Эксплуа тация	
1.Поражение электрическим током		+	+	ГОСТ Р 12.1.019-2009 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты
2.Отклонение показателей микроклимата	+	+	+	СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
3. Воздействие химических веществ раздражающего, токсического и sensibilizing характера		+	+	ГОСТ 12.1.007-76 "Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности"
4.Недостаточная освещенность рабочей зоны	+	+	+	СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 [].

8.2.1 Электробезопасность

Потенциостат подключен в электрическую сеть переменного тока 50 Гц, 220В. Согласно разделу 1.1.13 правил устройства электроустановок (ПУЭ) [24] помещение аудитории 223, предназначенное для исследования и использования результатов исследования, относится к третьей категории. В данную категорию входят помещения, характеризующиеся пониженной влажностью воздуха (до 75%), температура воздуха должна быть менее 35 градусов, отсутствуют токопроводящие полы, токопроводящая пыль.

Согласно ПНД Ф 12.13.1-03 все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям электробезопасности при работе с электроустановками по ГОСТ 12.1.019-79.

Все электрооборудование с напряжением свыше 36 В, а также оборудование и механизмы, которые могут оказаться под напряжением, должны быть надежно заземлены.

Для отключения электросетей на вводах должны быть рубильники или другие доступные устройства. Отключение всей сети, за исключением дежурного освещения, производится общим рубильником.

В целях предотвращения электротравматизма запрещается:

- работать на неисправных электрических приборах и установках;
- перегружать электросеть;
- переносить и оставлять без надзора включенные электроприборы;
- работать вблизи открытых частей электроустановок, прикасаться к ним;
- загромождать подходы к электрическим устройствам.

О всех обнаруженных дефектах в изоляции проводов, неисправности рубильников, штепсельных вилок, розеток, а также заземления и ограждений следует немедленно сообщить электрику.

В случае перерыва в подаче электроэнергии электроприборы должны быть немедленно выключены.

Запрещается использование в пределах одного рабочего места электроприборов класса "0" и заземленного электрооборудования.

Категорически запрещается прикасаться к корпусу поврежденного прибора или токоведущим частям с нарушенной изоляцией и одновременно к заземленному оборудованию (другой прибор с исправным заземлением, водопроводные трубы, отопительные батареи), либо прикасаться к поврежденному прибору, стоя на влажном полу.

При поражении электрическим током необходимо как можно быстрее освободить пострадавшего от действия электрического тока, отключив электроприбор, которого касается пострадавший. Отключение производится с помощью отключателя или рубильника.

При невозможности быстрого отключения электроприбора необходимо освободить пострадавшего от токоведущих частей деревянным или другим не проводящим ток предметом источник поражения.

8.2.2 Освещение рабочей зоны

Согласно ГОСТ 12.0.003-15 недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, который может вызвать ослепленность или привести к быстрому утомлению и снижению работоспособности [25].

Свет влияет на физиологическое состояние человека, правильно организованное освещение стимулирует протекание процессов высшей нервной деятельности и повышает работоспособность. При недостаточном освещении человек работает менее продуктивно, быстро устает, растет вероятность ошибочных действий, что может привести к травматизму. В зависимости от длины волны, свет может оказывать возбуждающее (оранжево-красный) или успокаивающее (желто-зеленый) действие.

Согласно СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 общие требования освещенности лабораторных помещений приведены в таблице 23 [26].

Таблица 21 – Нормы освещения учреждений общего образования, начального, среднего и высшего специального образования, нормы освещения помещений административных зданий.

Освещаемый объект	Средняя освещенность $E_{ср}$, лк, не менее
Лаборатории: органической и неорганической химии, термические, физические, спектрографические, стилометрические, фотометрические, микроскопные, рентгеноструктурного анализа, механические и радиоизмерительные, электронных устройств, препаратные (на столах, Г-0.8)	400
Аналитические лаборатории (на столах, Г-0.8)	500
Аудитории, учебные кабинеты, лаборатории техникумов и высших учебных заведений (на столах, Г-0.8)	400

Согласно СНиП 23-05-95 работы по разработке и эксплуатации потенциостата относятся к разряду зрительной работы I_v и нормируется показателями, представленными в таблице 24.

Таблица 22 – Нормируемые показатели искусственного освещения

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение	
					Освещенность, лк	Коэф. пульсации, %
Наивысшей точности	Менее 0,15	I_v	Малый	Светлый	750	10
			Большой	Темный	600	10

По результатам проведенной оценки условий труда освещение в аудитории 223 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам [27].

8.2.3 Показатели микроклимата

Согласно СанПиН 2.2.4.548-96 устанавливают гигиенические требования к показателям микроклимата рабочих мест производственных помещений с учетом интенсивности энерготрат работающих, времени выполнения работы, периодов года и содержат требования к методам измерения и контроля микроклиматических условий

Работа в лаборатории относится к категории работ Ia – работы с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), производимые сидя и сопровождающиеся незначительным физическим напряжением. Далее в таблице 5 приводятся оптимальные показатели микроклимата [28].

Таблица 23 – Оптимальные величины показателей микроклимата для категории работ Ia

Период года	Категория работы по уровню энергозатрат, Вт	Темп. воздуха, °С	Температура поверхности, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia	22-24	21-25	40-60	0,1
Теплый	Ia	23-25	22-26	40-60	0,1

По результатам проведенной оценки условий труда показатели микроклимата в аудитории 223 2 корпуса ТПУ соответствует допустимым нормам [29].

8.2.4 Химические опасные и вредные производственные факторы

Химические вредные и опасные производственные факторы (в том числе производственные яды) по характеру воздействия на организм человека подразделяются на общетоксичные, раздражающие, sensibilizing, канцерогенные, мутагенные, влияющие на репродуктивную функцию.

При изготовлении электродов для потенциостата используются такие вредные и опасные химические вещества как ртуть и ее соединения (класс

опасности 1), а также различные кислоты и щелочи, такие как серная кислота (класс опасности 2) и азотная кислота (класс опасности 3).

Большой токсичностью обладают ртуть и ее органические соединения. Раздражающим действием обладают кислоты, щелочи, а также хлор-, фтор-, серо-, и азотосодержащие соединения и др. Все эти вещества объединяет то, что при контакте с биологическими тканями они вызывают воспалительную реакцию, причем в первую очередь страдают органы дыхания, кожа и слизистые оболочки глаз.

К сенсibiliзирующим относятся вещества, которые после относительно непродолжительного действия на организм вызывают в нем повышенную чувствительность к этому веществу. При последующем даже кратковременном контакте с этим веществом у человека возникают бурные реакции, чаще всего приводящие к кожным изменениям, астматическим явлениям, заболеваниям крови. Такими свойствами обладают соединения ртути.

Класс опасности вредных веществ устанавливают в зависимости от норм и показателей, указанных в таблице 26 [30].

Таблица 24 – Нормы и показатели по классам опасности химических веществ

Наименование показателя	Нормы для класса опасности			
	1-го	2-го	3-го	4-го
ПДК вредных веществ в воздухе рабочей зоны, мг/м ³	Менее 0,1	0,1-1,0	1,1-10,0	Более 10,0
Средняя смертельная доза при введении в желудок, мг/кг	Менее 15	15-150	151-5000	Более 5000
Средняя смертельная доза при нанесении на кожу, мг/кг	Менее 100	100-500	501-2500	Более 2500
Средняя смертельная концентрация в воздухе, мг/м	Менее 500	500-5000	5001-50000	Более 50000
Коэффициент возможности ингаляционного отравления (КВИО)	Более 300	300-30	29-3	Менее 3
Зона острого действия	Менее 6,0	6,0-18,0	18,1-54,0	Более 54,0
Зона хронического действия	Более 10,0	10,0-5,0	4,9-2,5	Менее 2,5

По результатам проведенной оценки условий труда концентрация опасных веществ в воздухе соответствует допустимым нормам [31].

8.3 Обоснование мероприятий по защите исследователя от действия опасных и вредных факторов

При разработке потенциостата и использовании оборудования в аудитории 223 2 корпуса ТПУ, основным источником потенциально опасных факторов являются воздействие опасных химических веществ и поражение электрическим током.

Для исключения воздействия опасных и вредных факторов на лаборанта, следует придерживаться рекомендаций по технике безопасности при работе в аналитических лабораториях (ПНД Ф 12.13.1-03).

8.3.1 Снижение воздействия опасных химических веществ

Для предотвращения негативного воздействия опасных химических веществ лаборант должен следовать правилам безопасной работы с

химическими веществами, согласно ГОСТ 12.1.007-76 "Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности", а также гигиеническим требованиям к работам со ртутью в условиях лаборатории (СанПиН 4607-88), правилам техники безопасности при работе с кислотами и щелочами (ПНД Ф 12.13.1-03).

К основным правилам безопасной работы можно отнести следующие:

- При работе с химическими реактивами в лаборатории должно находиться не менее двух сотрудников.
- Приступая к работе, сотрудники обязаны осмотреть и привести в порядок свое рабочее место, освободить его от ненужных для работы предметов.
- Работа с едкими и ядовитыми веществами, а также с органическими растворителями проводится только в вытяжных шкафах.
- Запрещается набирать реактивы в пипетки ртом, для этой цели следует использовать резиновую грушу или другие устройства.
- При определении запаха химических веществ следует нюхать осторожно, направляя к себе пары или газы движением руки.
- Работы, при которых возможно повышение давления, перегрев стеклянного прибора или его поломка с разбрызгиванием горячих или едких продуктов, также выполняются в вытяжных шкафах. Работающий должен надеть защитные очки (маску), перчатки и фартук.
- При работе с химическими реактивами необходимо включать и выключать вытяжную вентиляцию не менее чем за 30 минут до начала, и после окончания работ.
- Смешивание или разбавление химических веществ, сопровождающееся выделением тепла, следует проводить в термостойкой или фарфоровой посуде.
- Во избежание ожогов, поражений от брызг и выбросов нельзя наклоняться над посудой, в которой кипит какая-либо жидкость.
- При нагревании жидкости в пробирке держать ее следует отверстием в сторону от себя и от остальных сотрудников.

- Ни при каких обстоятельствах нельзя допускать нагревание жидкостей в колбах или приборах, не сообщающихся с атмосферой.
- Нагретый сосуд нельзя закрывать притертой пробкой до тех пор, пока он не охладится до температуры окружающей среды.

При работе в химической лаборатории необходимо постоянно использовать СИЗ:

- При работе в химической лаборатории необходимо надевать халат из хлопчатобумажной ткани.
- При выполнении работ, связанных с выделением ядовитых газов и пыли, для защиты органов дыхания следует применять респираторы или противогазы и другие средства защиты.
- При работе с едкими и ядовитыми веществами дополнительно применяют фартуки, средства индивидуальной защиты глаз и рук.
- Для защиты рук от действия кислот, щелочей, солей, растворителей применяют резиновые перчатки.
- На перчатках не должно быть порезов, проколов и других повреждений. Надевая перчатки, следует посыпать их изнутри тальком.
- Для защиты глаз применяют очки различных типов, щитки, маски.

8.4 Экологическая безопасность

При изготовлении электродов для потенциостата используется ртуть и ее соединения.

Ртуть - серебристая жидкость, химический элемент естественного происхождения, который чрезвычайно вреден для окружающей среды и здоровья человека.

Ртуть относится к первой группе чрезвычайно токсичных веществ. В атмосферу она поступает из гидросферы при испарении. Так как пары ртути в 7 раз тяжелее воздуха, часть газообразной ртути переходит в твердую фазу и удаляется из воздушной среды. Выпавшая вместе с атмосферными осадками ртуть поглощается почвенными растворами и глинистыми породами, а также

различными предметами, окружающими нас - цементными, деревянными конструкциями, штукатуркой, текстильными изделиями и т. д.

Согласно СанПиН № 4607-88 очистка загрязненного парами ртути и аэрозолей ее соединений воздуха и условия выброса его в атмосферу должны обеспечить соблюдение предельно допустимой концентрации паров ртути и паров аэрозолей ее неорганических соединений в атмосферном воздухе населенных пунктов ($0,0003 \text{ мг/м}^3$).

Сточные воды, загрязненные ртутью, подлежат очистке. Для улавливания из сточных вод металлической ртути в производственных, лабораторных и бытовых помещениях должны устанавливаться ловушки в затворах раковин. Ловушки должны также устанавливаться по ходу канализационной сети. Загрязненные ртутью сточные воды перед поступлением в коллектор общезаводской канализации промышленных стоков подлежат очистке на локальных очистных сооружениях.

Не, подлежащие повторному использованию изделия и бой вместе с другими ртутьсодержащими отходами, не соответствующими требованиям ГОСТ 1639-78, должны складироваться на специальных площадках в соответствии с нормативным документом "Предельное количество накопления токсических промышленных отходов на территории предприятия (организации)" № 3090-85 от 01.02.85 г. и подвергаться захоронению согласно санитарным правилам "Порядок накопления, транспортировки, обезвреживания и захоронения токсичных промышленных отходов" № 3193-84 от 29.12.84 г.

Контроль за содержанием ртути в объектах окружающей среды осуществляется в соответствии с "Методическими указаниями по определению массовой концентрации ртути в воде водоемов для культурно-бытового и хозяйственно-питьевого назначения в сточных водах, в атмосферном воздухе, в воздухе рабочей зоны, в почве" № 4242-87 от 08.01.87г.

8.5 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

8.5.1 Анализ вероятных ЧС, которые может инициировать объект исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

Согласно ГОСТ Р 22.0.02-94 ЧС - это нарушение нормальных условий жизни и деятельности людей на объекте или определенной территории (акватории), вызванное аварией, катастрофой, стихийным или экологическим бедствием, эпидемией, эпизоотией (болезнь животных), эпифитотией (поражение растений), применением возможным противником современных средств поражения и приведшее или могущее привести к людским или материальным потерям".

С точки зрения выполнения проекта характерны следующие виды ЧС:

- 1) Пожары, взрывы;
- 2) Внезапное обрушение зданий, сооружений;
- 3) Геофизические опасные явления (землетрясения);
- 4) Метеорологические и агрометеорологические опасные явления.

При проведении экспериментов на потенциостате существует вероятность появления пожара. Пожароопасная ситуация может стать следствием короткого замыкания, произошедшего в результате намокания токопроводящих элементов и систем из-за неаккуратных действий лаборанта. Также, пожар может возникнуть в результате возникновением короткого замыкания в электропроводке, вследствие неисправности самой проводки или электросоединений и электрораспределительных щитов.

Для предотвращения возможного развития ЧС все помещения лаборатории должны соответствовать требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 и иметь средства пожаротушения по ГОСТ 12.4.009-83.

Лаборатория должна быть оснащена пожарными кранами (не менее одного на этаж) с пожарными рукавами. В каждом рабочем помещении должны быть в наличии огнетушители и песок, а в помещениях с огнеопасными и легковоспламеняющимися веществами - дополнительные средства пожаротушения.

В помещении лаборатории на видном месте должен быть вывешен план эвакуации сотрудников в случае возникновения пожара.

Все сотрудники лаборатории должны быть обучены правилам обращения с огне- и взрывоопасными веществами, газовыми приборами, а также должны уметь обращаться с противогазом, огнетушителем и другими средствами пожаротушения, имеющимися в лаборатории.

8.5.2 Анализ вероятных ЧС, которые могут возникнуть при проведении исследований и обоснование мероприятий по предотвращению ЧС

При проведении исследований наиболее вероятной ЧС является возникновение пожара в помещении. Пожарная безопасность должна обеспечиваться системами предотвращения пожара и противопожарной защиты, в том числе организационно-техническими мероприятиями.

Под пожарной профилактикой понимается обучение пожарной технике безопасности и комплекс мероприятий, направленных на предупреждение пожаров [19].

Задачи пожарной профилактики можно разделить на три комплекса мероприятий:

1. обучение, в т.ч. распространение знаний о пожаробезопасном поведении (о необходимости установки домашних индикаторов задымленности и хранения зажигалок и спичек в местах, недоступных детям);
2. пожарный надзор, предусматривающий разработку государственных норм пожарной безопасности и строительных норм, а также проверку их выполнения;
3. обеспечение оборудованием и технические разработки (установка переносных огнетушителей и изготовление зажигалок безопасного пользования).

В соответствии с ТР «О требованиях пожарной безопасности» для административного жилого здания требуется устройство внутреннего противопожарного водопровода.

Согласно НПБ 104-03 "Проектирование систем оповещения людей о пожаре в зданиях и сооружениях" для оповещения о возникновении пожара в каждом помещении должны быть установлены дымовые оптико-электронные автономные пожарные извещатели, а оповещение о пожаре должно осуществляться подачей звуковых и световых сигналов во все помещения с постоянным или временным пребыванием людей.

Также помещения должны быть оснащены средствами пожаротушения, а именно огнетушителями типа ОУ-2, ОУ-5 или ОП-5 (предназначены для тушения любых материалов, предметов и веществ, применяется для тушения ПК и оргтехники).

Согласно НПБ 105-03 помещение, предназначенное для проектирования и использования результатов проекта, относится к типу В1 – пожароопасное:

Таблица 25 – Категория помещения по взрывопожарной и пожарной опасности

Категория помещения	Характеристика веществ и материалов, находящихся (обращающихся) в помещении
В1 пожароопасные	Горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б

Вывод

При написании раздела «Социальная ответственность» объектом анализа являлось рабочее место лаборанта в аналитической химической лаборатории. Проведен анализ на соответствие рабочего места требованиям государственных нормативно- правовых актов, гигиеническим требованиям, предъявляемым в соответствии с ГОСТ к параметрам микроклимата, состоянию освещения на рабочем месте, воздействию опасных химических веществ. Согласно результатам специальной оценки труда, рабочее место лаборанта химического анализа соответствует 2 (допустимому) классу условий труда, т.е. воздействие вредных и (или) опасных производственных факторов не превышает уровни, установленные нормативами. Проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций и представлены меры для предотвращения возможного развития ЧС.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения представленной работы были изучены методы определения размера и количества наночастиц в водной растворе, а также методы экологического мониторинга частиц в наносостоянии в водных средах.

Представлена усовершенствованная трехэлектродная ячейка потенциостата, конструкция которой позволяет полностью экранировать фемтоамперметр, исследуемый раствор и электроды от внешних источников помех, что позволило повысить чувствительность и точность измерений прибора.

В ходе проведения апробации разработанного прибора были проведены эксперименты с использованием буферного раствора цитрата натрия с добавлением наночастиц серебра. Получены данные хронопикоамперограмм, согласно которым потенциостат показал достаточно низкий уровень шума около 0,82 пА. На хронопикоамперограмме наблюдались скачки токи от 30 до 100 пА, что свидетельствует о попадании наночастиц на электрод.

Разработана и предложена методика определения концентрации наночастиц в водной среде, которая учитывает все особенно протекания электрохимических процессов между рабочим электродом и исследуемыми наночастицами.

По результатам проведенных исследований можно утверждать, что предложенная конструкция соответствует требованиям для проведения экспериментов по определению размеров и концентрации наночастиц в водных растворах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. N.V. Rees, Y.G. Zhou, R.G. Compton, Making contact: charge transfer during particle-electrode collisions // RSC. – 2012. – №2. – P. 379–384.
2. Wei Cheng, Richard G. Compton, Electrochemical detection of nanoparticles by ‘nano-impact’ methods // Trends in analytical chemistry. –2014. – №58. – P.79–89.
3. Christopher Batchelor-McAuley, Joanna Ellison, Kristina Tschulik, Philip L. Hurst, Regine Boldt and Richard G. Compton In situ nanoparticle sizing with zeptomole sensitivity // Analyst. – 2015. – №140. – P. 5048–5054.
4. Серебренникова, Н. В. Вольтамперометрия: учеб. пособие. – Кемерово: Кузбассвузиздат, 2007. – 81 с.
5. Бонд, А. М. Полярографические методы в аналитической химии: пер. с англ. / А. М. Бонд. — М.: Химия, 1983. — 328 с.
6. F. W. Campbell and R. G. Compton The use of nanoparticles in electroanalysis // Anal. Bioanal. Chem. – 2010. – №396. – P. 241–249.
7. S. V. Sokolov Electrode-particle Impacts: – University of Oxford, 2017.
8. P. Croot Voltammetry in environmental chemistry // Environmental Chemistry. – 2014. – №11. – P. 98–101.
9. Аронбаев С.Д. Инверсионная вольтамперометрия. – Самарканд: СамГУ, 2015. – 42 с.
10. M. Marguš, I Ciglenecki, N. Batina The development of electrochemical methods for determining nanoparticles in the environment. // Environmental Chemistry. - 2014. - №11.- /P. 741-749.
11. Дж. Плэмбек Электрохимические методы анализа. Основы теории и применение. Пер. с англ. - М.: Мир, 1985. – 496с.
12. Elins [Электронный ресурс] / Что такое потенциостат и как им пользоваться; – Режим доступа: [https:// elins.su/download?edmc=505](https://elins.su/download?edmc=505), свободный, – Яз. Рус.

13. Zpostbox [Электронный ресурс] / Операционные усилители; ↵ Режим доступа: [https:// http://zpostbox.ru/operatsionny_usitel.html](https://http://zpostbox.ru/operatsionny_usitel.html), свободный, ↵ Яз. Рус
14. Joanna Ellison, Christopher Batchelor-McAuley, Kristina Tschulik, Richard G. Compton, The use of cylindrical micro-wire electrodes for nano-impact experiments; facilitating the sub-picomolar detection of single nanoparticles // Sensors and actuators B. – 2014. – №200. P. 47–52.
15. Texas Instruments [Электронный ресурс] / LMP7721 3-Femtoampere Input Bias Current Precision Amplifier; ↵ Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp7721.pdf>, свободный, ↵ Яз. Англ.
16. Texas Instruments [Электронный ресурс] / OPAx277 High Precision Operational Amplifiers; ↵ Режим доступа: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lmp7721.pdf>, свободный, ↵ Яз. Англ.
17. Костенко М. П., Пиотровский Л. М. Электрические машины. – 3 изд. – Ленинград: Энергия, 1972. – 648 с.
18. Р.Г. Комптон, К.Э. Бэнкс Постигая вольтамперометрию. Пер. с англ. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 480 с.
19. Emma J. E. Stuart, Yi-Ge Zhou, Neil V. Rees and Richard G. Compton Determining unknown concentrations of nanoparticles: the particle-impact electrochemistry of nickel and silver // RSC advances. – 2012. - №2. – P. 6879-6884.
20. Yu Wan, Zhirui Guo, Xiaoli Jiang, Kun Fang, Xiang Lu, Yu Zhang, Ning Gu, Quasi-spherical silver nanoparticles: Aqueous synthesis and size control by the seedmediated Lee-Meisel method // Journal of Colloid and Interface Science. – 2013. – №394. – P. 263–268.
21. Ю.А. Крутяков, А.А. Кудринский, А.Ю. Оленин Синтез и свойства наночастиц серебра // Успехи химии. - 2008. – №77. – С. 242-265.
22. Juhan M. Kahka, Neil V. Rees, Jeseelan Pillay, Robert Tshikhudo, Sibulelo Vilakazi, Richard G. Compton, Electron transfer kinetics at single nanoparticles // Nanotoday. – 2012. – №7. – P.174–179.

23. Закон Российской Федерации "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 № 426.
24. ПУЭ Правила устройства электроустановок. Издание 7.
25. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
26. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03 Гигиенические требования к естественному искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
27. Результаты специальной оценки условий труда в НИ ТПУ 2018.
28. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
29. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
30. ГОСТ 12.1.004-91 Пожарная безопасность. Общие требования.
31. Bard, A. J.; Faulkner, L. R Electrochemical Methods. Fundamentals and Applications. – New York: Wiley, 2001. – 850 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Authentic literature review on the research topic

Раздел магистерской диссертации,
выполненный на иностранном языке

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
1ЕМ71	Вилесов Максим Вадимович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ларионова Екатерина Владимировна	К.Х.Н		

Консультант – лингвист отделения ОИЯ ШБИП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Ажель Юлия Петровна			

Introduction

With the rapid development of nanoindustry, new data on the properties of substances in the nanostate and their effect on the human body and ecosystem appear.

The work is devoted to the improvement of electrochemical methods and instruments for monitoring the properties of nanoparticles, as well as the development of methods for determining the concentration of nanoparticles in aqueous media.

The device presented in this work is a potentiostat, based on the use of the electrochemical method, and has several advantages over optical devices such as high sensitivity, low detection limits of nanoparticles, lower cost as compared with optical devices.

This scientific development can be used both in the medical field in order to determine the state of the body at the cellular level, and in the research field, where an active study of the properties of nanoparticles, their kinetics and reactions at the nanoscale is conducted. An important task in the field of environmental protection is the ability to detect and measure concentration of nanoparticle therefore; the work is aimed to developing a method that will allow getting a quantitative and qualitative assessment of nanoparticles in the aqueous media.

Chronoamperometry

Chronoamperometry is an electrochemical technique in which the potential of the working electrode is stepped and the resulting current from faradaic processes occurring at the electrode (caused by the potential step) is monitored as a function of time. The functional relationship between current response and time is measured after applying single or double potential step to the working electrode of the electrochemical system. Limited information about the identity of the electrolyzed species can be obtained from the ratio of the peak oxidation current versus the peak reduction current. [31].

If the term “chronoamperometry” is used without special clarifications, it means that on the fixed electrode in non-mixed solution, the dependence of the current change over time is determined. Mass-transfer to the electrode ensure only by

diffusion, and the resulting curve shows a decrease of the current strength in time by the exponential law.

Chronoamperometry, with a step in potential from set point

In this variant of chronoamperometry, the potential of the indicator electrode abruptly changes from one given level to another, and the current observed as a function of time. The excitation signal and the shape of the observed signal for a simple one-stage value of the reversible process are shown in figure 14. Usually these measurements are carried out with a fixed electrode in a non-mixed solution.

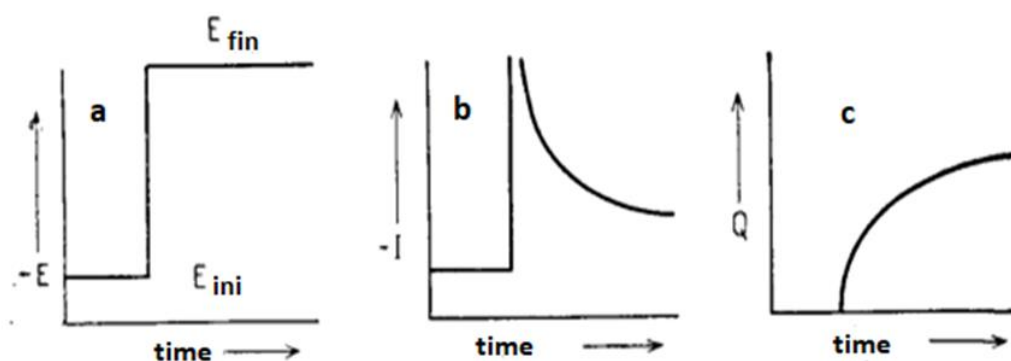


Figure 14 - Chronoamperometry and chronocoulometry: a - superimposed potential jump; b – received chronoamperometric curve; c - obtained chronocoulometric curve

In chronoamperometry based on potential step from set point, there are two potentials are independent variables: the initial potential of the electrode E_{ini} and the final potential of the electrode E_{fin} .

Other independent variables are related to the properties of the solution, such as its concentration and pH. The dependent variables or the measured parameters include the shape of the curve, its amplitude and the dependence of its curvature on the value of E_{fin} (figure 14). On the obtained curve is observed a current reduction from the initial value of current by exponential law. And the most useful section is the section that follows after stage of rapid current reduction.

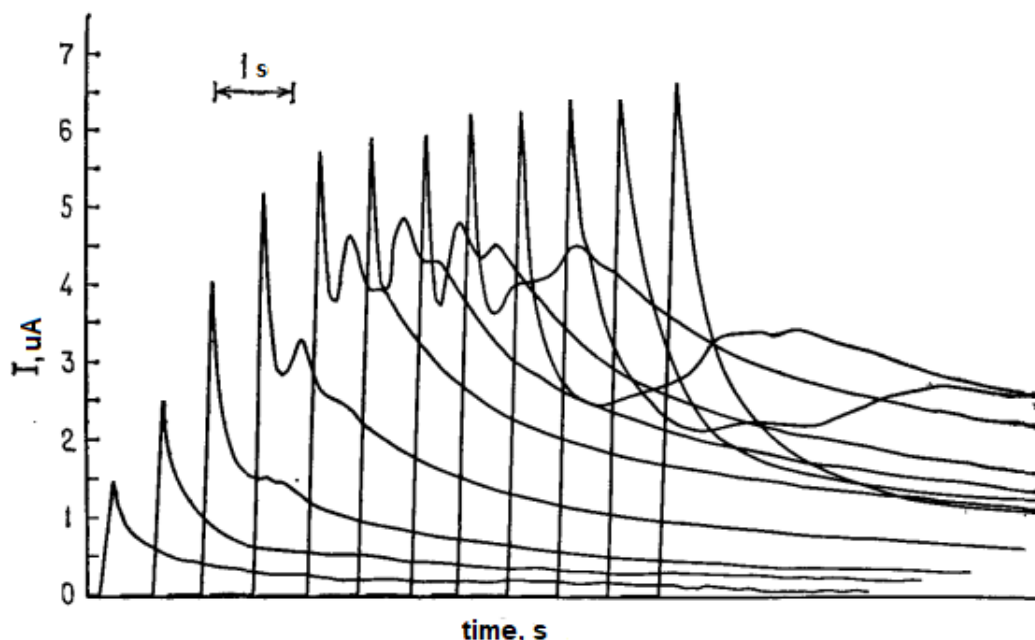


Figure 15 – Chronoamperometry, with a step in potential from set point

1.2 Cottrell equation

In electrochemistry, the Cottrell equation describes the change in electric current with respect to time in a controlled potential experiment, such as chronoamperometry. [20].

$$I = nFAj, \quad (1)$$

where n – number of electrons involved in the electrode reaction, F – Faraday constant, 96485 C/mol, A – area of the (planar) electrode in cm^2 , j – flow determined by the 1st Fick's law.

$$j = D \frac{\partial c}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{D}{2\sqrt{D^*t}} \frac{\partial c}{\partial \Gamma} \Big|_{\Gamma=0}, \quad (2)$$

where $\Gamma = \frac{x}{2\sqrt{Dt}}$.

it follows that

$$I = \frac{nFa\sqrt{Dc}}{\sqrt{\pi t}}, \quad (3)$$

known as the Cottrell equation - the basic equation of chronoamperometry, where D – diffusion coefficient for species in cm^2/s , c – initial concentration of the reducible analyte in mol/cm^3 , t – measurement time in s.

It shows that the current arising from the imposition of a potential, drops to zero as a function inversely proportional to the square root of time.

Application of electrochemical methods for environmental monitoring of colloidal particles

2.1 Nano-impact method

Recently, the methods for electrochemical detection (“nano-impacts” or “single nanoparticle collisions”) show great prospects for studying the thermodynamics or kinetics of nanoparticles.

The method is based on the random collision of nanoparticles with the surface of the microelectrode. For specified values of potential, the nanoparticles can be reduce (1), the process of electron transfer occurs (2), or it is oxidized (3) (Figure 16), allowing to detect individual nanoparticles when they collide with the electrode.

By measuring the Faraday charge transfer, we can obtain quantitative information on a nanoparticle, such as size, concentration, aggregation, and catalytic reactivity.

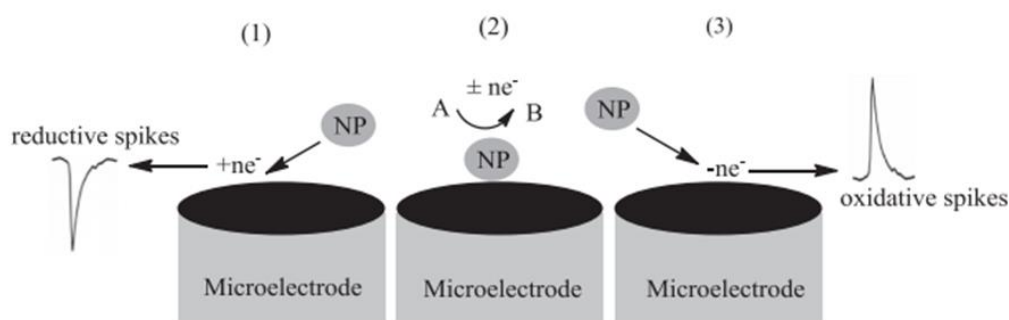


Figure 16 “Nano-impact” method

Compton et al. demonstrated the use of direct Faradaic impacts for quantitative sizing of individual silver nanoparticles.

For detection nanoparticles with lower size limit, an experiment were performed in a system with a low-noise potentiostat using citrate with silver nanoparticles. For this, sodium citrate solution was used as a background electrolyte to minimize the aggregation of silver particles. Pre-scattered silver nanoparticles are added to obtain a certain concentration in solution. Chronoamperogram was running

for a few seconds at a certain potential; a positive potential is enough as to allow complete oxidation of the impacting nanoparticles.

The following electrochemical reaction occurs by direct impact:



At the initial stage, chronoamperograms were running in a pure citrate solution without silver nanoparticles. For this system, no nanoparticle spikes were observed during the chronoamperogram. When nanoparticles were added to the solution, current charge began to change, oxidative spikes are observed due to the introduction of silver nanoparticles into the solution and their subsequent oxidation. The observed spikes were included in analysis if their spike height was determined to be a minimum of three times the root mean square noise. Integrating the area of each spike gives the value of the charge transmitted by the particle and we get such a distribution of charges, as in Figure 17.

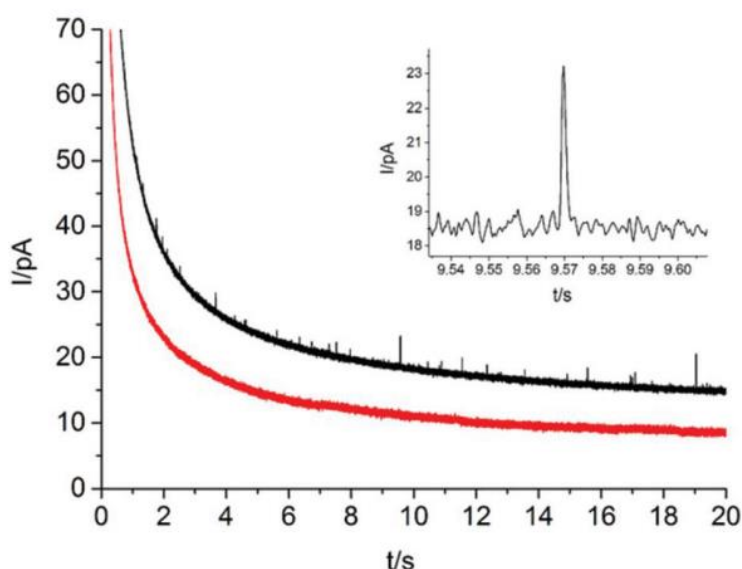


Figure 17 – Chronoamperograms of the coated wire micro-electrode in the presence of 20 mM trisodium citrate. The red line shows a scan without nanoparticles and the black line demonstrates faradaic spikes in the presence of nanoparticles

The smallest measured charge is 1.22×10^{-15} C corresponding oxidation of 7620 silver atoms. The charge transferred to each surge can be converted to the number of moles of silver, applying the Faraday law may also be calculated radius of

the nanoparticles, if we assume that they have spherical shape. Histogram of nanoparticle radius distribution obtained and presented in Figure 18.

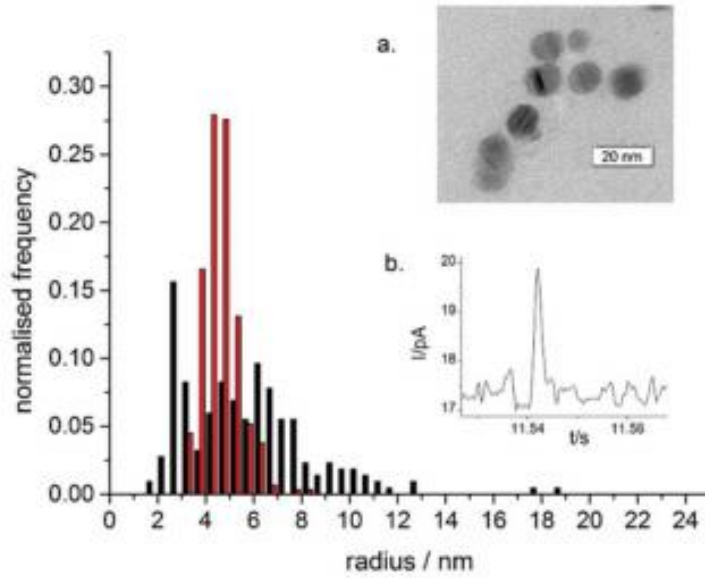


Figure 18 A histogram showing the size distribution for silver nanoparticles

The average radius of silver nanoparticles is determined and equals 4.7 nm with standard deviation of 0.8 nm. Additional sizing nanoparticles was performed using dynamic dispersion light (DRS) and transmission electron microscope. (TEM). DRS analysis showed the size distribution of nanoparticles in the same area as the data from chronoamperogram. Further TEM analysis confirms the data. chronoamperometric method, giving a radius of 5.7 ± 2.7 nm with a good. compliance with this method.

In chronoamperometry the measured parameter is a charge. Since the charge is related to the number of atoms nanoparticles, it depends on the total volume of the nanoparticles and does not depend on the shape.

In accordance with the Faraday law, the charge transmitted in a collision is given by:

$$Q = \int_{t_1}^{t_2} I dt \quad (5)$$

Where t_1 and t_2 correspond to the duration of the spike. Under the condition of a spherical shape, a known density and the number of transferred electrons, the size of the colliding particle can be deduced:

$$r_{np} = \sqrt[3]{\frac{3A_rQ}{4\pi nF\rho}} \quad (6)$$

where A_r is the atomic mass, ρ is the density of the metal.

Excellent agreement is observed between the size distribution of this method and the size obtained with a scanning electron microscope and a transmission electron microscope. The direct Faradaic method has been extended to a wide range of systems, such as: copper, nickel, gold, iron oxide and indigo nanoparticles in the aqueous environment. The method can be used not only in the aqueous environment, for example, in an ionic liquid. The process takes place on the surface of the electrode and is schematically shown in Figure 16.1.

Consequently, spherical and flattened nanoparticles with the same total volume will give the same result, resulting in less standard deviation. However, it is clear, that chronoamperometric method closely matches the results and provides an accurate method determine the size of nanoparticles in solution. Indeed, silver nanoparticles with a radius of less than 3.1 nm (7000-8000 electrons) were detected, characterized and measured by this method .

Stripping voltammetry

Voltammetry is an electrochemical analysis method based on the study of the dependence of the current in an electrolytic cell on the potential immersed in the analyzed solution of the indicator microelectrode, on which the electrochemically active (electroactive) substance under investigation reacts.

The indicator electrode is designed to concentrate the analyte, the reference electrode serves to apply voltage to the indicator electrode.

In the inversion methods, the electrode potential is initially maintained for a relatively long time (accumulation stage) at such a value that the substances move from solution to the electrolyte; no measurements during the accumulation stage are taken.

Further, the substance on the electrode can be brought into equilibrium, maintaining the electrode at another potential (equilibration stage). During this

period, measurements are also not carried out. At the subsequent measurement stage, the determination of the substance on the electrode surface is carried out. When this is achieved a significant increase in the sensitivity of the method, since the current at the measurement stage is no longer limited by the rate of diffusion of the substance to the electrode surface.

At the stage of deposition, the analyte, coming from the solution, is reduced or oxidized, accumulating on the electrode. At the stage of equilibration, another substance may precipitate on the electrode, so that the analyte can pass into a new or in an equilibrium state. At the analysis stage, the precipitated substance is oxidized or reduced, again going into solution during a certain electroanalytical procedure, usually a voltammetric procedure, and thus is determined.

Electrodes used in stripping voltammetry can be made from solid inert materials such as gold, platinum, or carbon. In the latter case, either graphite rods are used, or, more commonly, glassy carbon or paraffin-impregnated graphite.

The advantage of inverse voltammetry is the ability to determine very weak concentrations of substances (up to 10^{-9} mol / dm³).

Typically, anodic inversion voltammetry is used to determine only the ions of the metals Cd, Cu, Pb, Tl, Sn and Zn. Analysis of compounds requires the development of special conditions and methods of analysis.

Stripping voltammetry has been traditionally used to study adsorbed particles. The peak current for a macroelectrode is predicted by:

$$i_p = \frac{(nF)^2}{4RT} v A \Gamma c \quad (7)$$

where Γ is the surface coverage of the adsorbate. The peak current is directly proportional to the scan rate, due to the fact that the species are at the electrode surface and no diffusion takes place.

For electroactive particles, stripping voltammetry is an effective method to determine the identity of particles based on their redox potential. A simple modification procedure involving the dripping of a nanoparticle solution onto an electrode and the subsequent evaporation of the solvent. The working electrode is

then immersed in the electrolyte containing the solution and perform inversion voltammetry. This allow eliminating the stage of accumulation, since the particles are already adsorbed on the surface of the electrode. The resulting value of the peaks on the voltamperogram can be summarized to determine the total charge transferred in accordance with the equation:

$$Q = \frac{\int_{E_1}^{E_2} IdV}{v} \quad (8)$$

where E_1 and E_2 are the initial and final potential, v is the frequency of scanning.

As a result, we can determine the total amount of oxidized or reduced substances. This method does not allow to determine the particle's size, however, if the particle size is known from alternative methods, the number of particles deposited on the electrode can be determined by assuming full oxidation or reduction takes place.

The observed signal will depend on the size of the particles, the state of aggregation and / or agglomeration of the particles, the distance between the particles and the surface coverage. For an irreversible system, the peak potential does not depend on the size of the adsorbed nanoparticles

. The change in potential depending on the particle size of relatively simple metals can be determined according to the Plieth equation:

$$\Delta_{E_D} = - \frac{2\gamma v_M}{zF} \frac{1}{r} \quad (9)$$

where Δ_{E_D} is the difference in equilibrium oxidation potential, γ is the surface tension, v_m is the molar volume, z is the number of electrons transferred, r is the radius of a particle.

The observed response if electrochemically reversible is dependent on the concentration of the solution phase ions in accordance with the Nernst equation and the surface coverage of the particles.