



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

ООП/ОПОП Аналитический контроль в химической промышленности

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
<i>Электрохимическое определение карбаматных пестицидов с использованием восстановленного лазером оксида графена</i>

УДК 543.55:661.16:547.495.1

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Сакиб Мухаммад	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Михеева Елена Валентиновна	к.х.н.		

Томск – 2023 г.



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП
«Аналитический контроль в химической промышленности»

Код компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в практической деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способность и готовность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности
ОПК(У)-2	Готовность использовать знания о современной физической картине мира, пространственно-временных закономерностях, строении вещества для понимания окружающего мира и явлений природы
ОПК(У)-3	Готовность использовать знания о строении вещества, природе химической связи в различных классах химических соединений для понимания свойств материалов и механизма химических процессов, протекающих в окружающем мире
ОПК(У)-4	Владение пониманием сущности и значения информации в развитии современного информационного общества, осознания опасности и угрозы, возникающих в этом процессе, способностью соблюдать основные

	требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОПК(У)-5	Владение основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, навыками работы с компьютером как средством управления информацией
ОПК(У)-6	Владение основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность и готовность осуществлять технологический процесс в соответствии с регламентом и использовать технические средства для измерения основных параметров технологического процесса, свойств сырья и продукции
ПК(У)-2	Готовность применять аналитические и численные методы решения поставленных задач, использовать современные информационные технологии, проводить обработку информации с использованием прикладных программных средств сферы профессиональной деятельности, использовать сетевые компьютерные технологии и базы данных в своей профессиональной области, пакеты прикладных программ для расчета технологических параметров оборудования
ПК(У)-3	Готовность использовать нормативные документы по качеству, стандартизации и сертификации продуктов и изделий, элементы экономического анализа в практической деятельности
ПК(У)-4	Способность принимать конкретные технические решения при разработке технологических процессов, выбирать технические средства и технологии с учетом экологических последствий их применения
ПК(У)-5	Способность использовать правила техники безопасности, производственной санитарии, пожарной безопасности и нормы охраны труда, измерять и оценивать параметры производственного микроклимата, уровня запыленности и загазованности, шума, и вибрации, освещенности рабочих мест
ПК(У)-6	Способность налаживать, настраивать и осуществлять проверку оборудования и программных средств
ПК(У)-7	Способность проверять техническое состояние, организовывать профилактические осмотры и текущий ремонт оборудования, готовить оборудование к ремонту и принимать оборудование из ремонта
ПК(У)-8	Готовность к освоению и эксплуатации вновь вводимого оборудования
ПК(У)-9	Способность анализировать техническую документацию, подбирать оборудование, готовить заявки на приобретение и ремонт оборудования
ПК(У)-10	Способность проводить анализ сырья, материалов и готовой продукции, осуществлять оценку результатов анализа
ПК(У)-11	Способность выявлять и устранять отклонения от режимов работы технологического оборудования и параметров технологического процесса
ДПК(У)-1	Способность планировать и проводить химические эксперименты, проводить обработку результатов эксперимента, оценивать погрешности, применять методы математического моделирования и анализа при исследовании химико-технологических процессов
ДПК(У)-2	Готовность изучать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов
Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»
ООП/ОПОП Аналитический контроль в химической промышленности
Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП/ОПОП

(Подпись) (Дата) (ФИО)

ЗАДАНИЕ на выполнение выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович

Тема работы:

<i>Электрохимическое определение карбаматных пестицидов с использованием восстановленного лазером оксида графена</i>	
<i>Утверждена приказом директора (дата, номер)</i>	

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(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 функционированию (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.)</i></p>	<p>Объект исследования: образцы соков яблок и апельсинов Предмет исследования: определение карбарила с использованием электрода из восстановленного лазером оксида графена</p>
<p>Перечень разделов пояснительной записки подлежащих исследованию, проектированию и разработке <i>(аналитический обзор литературных источников с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе)</i></p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проведение литературного обзора по теме работы; 2. Описание материалов и методов исследования; 3. Анализ, обобщение и оценка полученных экспериментальных данных выполненной работы; 4. Оценка финансовой части проекта, его ресурсоэффективности и ресурсосбережения; 5. Рассмотрение рисков и опасностей проведения проекта, составление перечня нормативных требований для их регулирования;

	6. Формулировка выводов и заключения по работе;
Перечень графического материала <i>(с точным указанием обязательных чертежей)</i>	Графическое представление полученных результатов.
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы <i>(с указанием разделов)</i>	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна
Социальная ответственность	Гуляев Милий Всеволодович

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

Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Сакиб Мухаммад	—		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович		



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Школа Инженерная школа природных ресурсов

Направление подготовки 18.03.01 «Химическая технология»

ООП/ОПОП Аналитический контроль в химической промышленности

Отделение школы (НОЦ) Отделение химической инженерии

Период выполнения _____ (осенний / весенний семестр 2022/2023 учебного года)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Обучающийся:

Группа	ФИО
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович

Тема работы:

<i>Электрохимическое определение карбаматных пестицидов с использованием восстановленного лазером оксида графена</i>
--

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
10.02.2022г.	Литературный обзор по теме исследования	10
05.03.2022г.	Проведение эксперимента	10
26.03.2022г.	Обсуждение результатов эксперимента	10
02.04.2022г.	Составление заключения по полученным результатам исследования	10
30.05.2022г.	Разработка разделов «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение», «Социальная ответственность»	10
01.06.2022г.	Оформление ВКР	10
15.06.2022г.	Представление ВКР	40

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент ОХИ ИШПР	Сакиб Мухаммад	—		

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОХИ ИШПР	Михеева Елена Валентиновна	К.Х.Н.		

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович		

**ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСООБЪЕКТИВНОСТЬ
И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Обучающемуся:

Группа	ФИО
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович

Школа	ИШПР	Отделение школы (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	18.03.01 Химическая технология

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Стоимость выполняемых работ, материальных ресурсов в соответствии с применяемой техникой, технологиями и рыночными ценами. Оклады в соответствии с окладами сотрудников организации.
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	Районный коэффициент – 1,3 Коэффициент накладных расходов – 0,16
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Отчисления во внебюджетные фонды – 27,1%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Провести предпроектный анализ
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Разработать Устав научного проекта бакалаврской работы
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Составить план работ. Определение бюджета НТИ
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Провести оценки сравнительной эффективности проекта

Перечень графического материала:

1. Матрица SWOT
2. Иерархическая структура работ проекта
3. График проведения НТИ
4. Организационная структура проекта
5. Группировка затрат по статьям
6. Сравнительная эффективность разработки

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	13.04.2023
--	------------

Задание выдал консультант по разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к.ф.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
2Д93	Митупов Бато Цыренсодномович		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа		ФИО	
2Д93		Митупов Бато Цыренсодномович	
Школа	Инженерная школа природных ресурсов	Отделение (НОЦ)	Отделение химической инженерии
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	18.03.01 Химическая технология

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>Введение</p> <ul style="list-style-type: none"> – Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика) и области его применения. – Описание рабочей зоны (рабочего места) при разработке проектного решения/при эксплуатации 	<p><i>Объект исследования: Электрохимическое определение карбаматных пестицидов с использованием восстановленного лазером оксида графена</i></p> <p><i>Область применения: экология</i></p> <p><i>Рабочая зона: лаборатория, г. Томск, пр-кт. Ленина, д.43-А</i></p> <p><i>Размеры помещения: 10*3 м, кабинет 223</i></p> <p><i>Количество и наименование оборудования рабочей зоны: аналитические весы(1), электроплита(1), штатив(1), химическая посуда, вольтамперметрический комплекс СТА(1), холодильник(1)</i></p>
--	--

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<p>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; – организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны. 	<ul style="list-style-type: none"> – ГОСТ 12.2. 032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования; – ГОСТ 12.2. 033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования; – РД 34.03. 277-93. Типовая инструкция по охране труда для лаборанта химического анализа; – Федеральный закон от 28 декабря 2013 г. N 426-ФЗ "О специальной оценке условий труда. – ПНД Ф 12.13.1-03 Методические рекомендации. Техника безопасности при работе в аналитических лабораториях (общие положения)
<p>2. Производственная безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации:</p> <ul style="list-style-type: none"> – Анализ потенциальных вредных и опасных производственных факторов – Обоснование мероприятий по снижению воздействия опасных и вредных 	<p>Опасные факторы:</p> <ul style="list-style-type: none"> – производственные факторы, связанные с электрическим током. – химические вещества, используемые в производственной деятельности для преднамеренных технологически обусловленных химических реакций, вызывающих возникновение новых веществ с иными химическими свойствами;

<p>производственных факторов</p>	<p>– факторы физической природы действия химических веществ, обусловленные свойствами этих веществ воспламеняться. Вредные факторы: – отсутствие или недостаток необходимого освещения; – повышенный уровень вибрации; – повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума; – производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды; Требуемые средства коллективной и индивидуальной защиты от выявленных факторов: халат хлопчатобумажный, перчатки</p>
<p>3. Экологическая безопасность при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Воздействие на селитебную зону: химическое заражение территории при аварии Воздействие на литосферу: твердые отходы и загрязнение почвы пестицидами при утилизации Воздействие на гидросферу: слив воды с растворенными в ней химическими веществами Воздействие на атмосферу: увеличение количества паров токсичных веществ</p>
<p>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях при разработке проектного решения/при эксплуатации</p>	<p>Возможные ЧС: Природные катастрофы (наводнения, цунами, ураган и т.д.); Геологические воздействия (землетрясения, оползни, обвалы, провалы территории и т.д.); Техногенные аварии (отказ систем безопасности, нарушение целостности емкостей с токсичными веществами, пожар) Наиболее типичная ЧС: нарушение целостности емкостей, пожар</p>
<p>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику 1.02.2023</p>	

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Старший преподаватель ООД ШБИП</p>	<p>Гуляев Милий Всеволодович</p>	<p>–</p>		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>2Д93</p>	<p>Митупов Бато Цыренсодномович</p>		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 89 с., 9 рис., 23 табл., 48 источников.

Ключевые слова: восстановленный лазером оксид графена; оксид графена; пестициды; карбарил

Объектом исследования разработки являются образцы яблочных и апельсиновых соков.

Цель работы – вольтамперометрическое определение карбарила с использованием электродов из восстановленного лазером оксида графена.

В ходе работы проводились исследование свойств электродов из восстановленного лазером оксида графена и определение содержания карбарила в образцах соков методами вольтамперометрии.

В результате исследований:

1) Из восстановленного лазером оксида графена (LRGO) были получены электроды с различными характеристиками и изучены их электрохимические свойства;

2) Электроды из восстановленного лазером оксида графена были охарактеризованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ);

3) Были выбраны рабочие условия для вольтамперометрического определения карбарила в модельных растворах;

4) Было проведено определение карбарила в свежих фруктовых соках разработанным вольтамперометрическим методом. Сетчатый электрод rGO может использоваться для обнаружения карбарила во фруктовых соках в линейном диапазоне концентраций от 0,25 до 128 мг/л; предел обнаружения составил 0,1 мг/л.

Область применения: использованная методика может быть использована для определения количества карбарила в сельскохозяйственной продукции, а также для дальнейшего изучения свойств графена и его производных в качестве электрохимических датчиков.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	14
1 Литературный обзор	16
1.1 Физико-химические свойства графена и его производных	16
1.2 Электроды на основе графена.....	20
1.3 Методы определения карбаматных пестицидов на электродах из графена	31
2 Материалы и методы исследования.....	35
2.1 Объект исследования, реактивы, материалы и приборы	35
2.2 Методика изготовления индикаторного (рабочего) электрода.....	36
3 Обсуждение результатов	38
3.1 Характеристика восстановленного лазером оксида графена	38
3.2 Электрохимические характеристики карбарила на электроде из восстановленного лазером оксида графена.....	41
3.3 Влияние времени адсорбции на реакцию карбарила на электроде LRGO	44
3.4 Определение карбарила в образцах фруктов	46
4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение... 51	
4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.	51
4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования	51
4.1.2 Анализ конкурентных технических решений.....	52
4.1.3 SWOT-анализ	54
4.2 Планирование научно-исследовательских работ	57
4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования.....	57
4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ.....	59
4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования.....	60
4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)	64
4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ.....	64
4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ.....	64

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей.....	65
4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей	67
4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды.....	68
4.3.6 Накладные расходы	68
4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта.....	69
4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования..	69
5 Социальная ответственность	71
5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	72
5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства	72
5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	73
5.2 Производственная безопасность	75
5.3 Экологическая безопасность.....	79
5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях	80
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	83
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	84

ВВЕДЕНИЕ

Карбарил, также 1-нафтилметилкарбамат – органическое соединение, относящееся к группе карбаматных, или уретановых эфиров, которые являются производными карбаминовой кислоты. Применяется как инсектицид контактно-кишечного действия. Данное вещество активно против широкого ряда видов насекомых: различных вредителей хлопчатника, например хлопковая совка, карадина, мальвовая моль, а также вредителей плодовых культур, например яблонная плодожорка. Наибольшую важность представляет как заменитель запрещенного к использованию во многих странах пестицида ДДТ (трихлорметилди(*n*-хлорфенил)метан) в силу очень высокой токсичности и способности значительно накапливаться в организме домашних животных и человека [1].

В связи с широким применением пестицидов на различных производствах, в садах, в личных хозяйствах возникает опасность нежелательного загрязнения окружающей среды, в частности, водных ресурсов. Карбарил также классифицируется как возможный канцероген. Предельная допустимая концентрация согласно ГОСТ 12.1.007-76: 1 мг/м³. Остаточное содержание в растительной продукции и продукции животноводства не допускается [2]. Исходя из вышеперечисленного возникает необходимость использования наиболее точного и экономически выгодного метода количественного определения данного вещества.

Среди методов количественного определения карбарила выделяют хроматографические методы. Однако данные методы обычно занимают большое количество времени, требуют использование дорогостоящего оборудования и сложны в исполнении. Поэтому электрохимические методы, в частности, вольтамперометрия привлекают все больше внимания своей простотой приборного обеспечения, экономичностью и высокой селективностью.

Целью исследования является определение карбарила с использованием электрода из восстановленного лазером оксида графена.

Для достижения поставленной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Получить и оптимизировать электроды из восстановленного лазером оксида графена;
- 2) Исследовать рабочую поверхность электрода с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ);
- 3) Выбрать рабочие условия для вольтамперометрического определения карбарила в рабочих растворах;
- 4) Определить содержание карбарила в образцах фруктовых соков, используя разработанный вольтамперометрический метод.

Научная новизна работы состоит в использовании ранее не применявшегося электрода для определения карбарила.

Практическая значимость заключается в проверке эффективности недорогой, простой в исполнении и быстрой методики определения содержания карбарила в плодовой продукции.

1 Литературный обзор

1.1 Физико-химические свойства графена и его производных

Графен – двумерный наноматериал, состоящий из слоя атомов углерода толщиной в один атом. Атомы углерода объединены в характерную двумерную гексагональную кристаллическую решетку, имеющую визуальное сходство с пчелиными сотами, посредством ковалентных связей обусловленных sp^2 гибридизацией атомов.

Ученые из Университета Манчестера, Великобритания российского происхождения К. С. Новоселов и А. К. Гейм были удостоены Нобелевской Премии по физике в 2010 году за открытие, синтезирование и идентификацию графена. Их исследование положило начало стремительному росту интереса научного сообщества к данному материалу [3].

В последнее время графен и его производные и их свойства активно исследуются, на данный момент ведется разработка различных способов применения данных материалов в различных отраслях, исследовательских лабораториях. Было обнаружено, что графен обладает рядом уникальных характеристик.

Графен в форме двумерных листов обладает толщиной в менее чем 5 нм, что делает его самым тонким материалом известным человечеству на данный момент. Вследствие чего фотоны могут свободно проходить через графен, который независимо от длин волн падающих лучей будет поглощать только 2,3% всего света, попавшего на его поверхность. При добавлении очередного слоя графена уровень поглощенного света повышается примерно на такое же значение в 2,3% [3].

Графен является одним из самых прочных материалов, который когда-либо исследовался. Согласно исследованию, значение модуля Юнга, который характеризует степень сопротивления материала деформации, для графена составило 1000 ГПа, что значительно превышает значение для большинства

прочных металлов таких как железо (180 ГПа), вольфрам (350 ГПа), иридий (520 ГПа). Плотность графена составляет 0,77 мг/м² поэтому масса пласта из графена с площадью равной 1 м² будет равна всего лишь 0,77 мг. Изобретатели графена привели следующий теоретический пример прочностных характеристик графена: гипотетически пласт из графена площадью 1 м² в форме некоего гамака способен выдержать массу в 4 кг, например массу взрослой кошки. Было отмечено, что если бы существовал «гамак» из стальных материалов такой же толщины в 1 атом, то масса, которая могла бы привести к разрыву составляла бы чуть более 40 г. Поэтому справедливо судить, что графен прочнее стали примерно в две сотни раз [4].

Электрические характеристики графена также достойны внимания. Графен обладает очень высокими значениями электропроводности. Атомы углерода обладают 4 валентными электронами. В графене три валентных электрона углерода образуют одинарные (σ) связи с тремя другими атомами благодаря sp^2 гибридизации орбиталей. Вследствие этого остается один свободный электрон необходимый для электронной проводимости.

Теплопроводность графена, согласно исследованиям, составляет 5000 Вт/м·К, что превышает значение для алюминия и меди в примерно 10 раз [5].

Графен может образовывать многослойные структуры от 1 до 5 и более слоев. Когда количество слоев достигает неопределенного количества, то имеет место говорить о графите, из которого возможно получение оксида графита, который, в свою очередь, может быть использован для синтеза других производных. Графен имеет два наиболее известных и изученных производных: оксид графена (сокращенно GO) и восстановленный оксид графена (rGO). Оксид графена может быть получен окислением графита, а rGO соответственно может быть синтезирован восстановлением оксида графена. GO включает в себя гидроксильные, карбоксильные и другие функциональные группы, которые позволяют данному веществу образовывать связи с различными видами молекул, в особенности выделяется способность GO

взаимодействовать с молекулами биологического происхождения. По сравнению с обычным графеном оксид графена гораздо лучше растворяется в воде и других растворителях благодаря кислородным функциональным группам. Поэтому в последнее время увеличивается интерес к оксиду графена как биосовместимому материалу [6].

Восстановленный оксид графена rGO может быть получен различными методами из GO: микроволновые методами, термическим восстановлением, фотохимическими методами и химическим восстановлением. По своим свойствам rGO близок к обычному графену. Главным отличием между GO и rGO являются преобладание карбоксильных групп, множество дефектов и более низкое содержание кислорода в восстановленной форме.

Существует два основных подхода к производству графена: сверху-вниз и снизу-вверх. При проведении методов сверху-вниз используется предшественник продукта, например графит, который затем разрушается или расслаивается для получения конечного продукта, тогда как в методах снизу-вверх получаемый графен образуется из меньших частиц.

Рассмотрим наиболее известные способы синтеза графена: механическое отщепление, химические методы (например метод Хаммера), химическое газофазное осаждение (CVD) и эпитаксиальное выращивание [7].

Графит состоит из многочисленных отдельных слоев графена, связанных между собой силами Ван-дер-Ваальса, однако эти силы значительно слабы, поэтому для разделения этих слоев возможно использование механического отщепления. В одном из самых первых методов исполнения использовалась клейкая лента, однако на сегодняшний день были разработаны более совершенные методы, например жидко фазное отщепление.

Химические методы отличаются наибольшей продуктивностью. Наиболее известным методом является метод Хаммера. Графит в данном

методе подвергается окислению с использованием перманганата калия в концентрированной серной кислоте. Затем полученный промежуточный оксид графита подвергается расслоению с использованием воды и пероксида водорода. Для очищения от остатков марганца используют соляную кислоту, а для достижения требуемого уровня рН используют дополнительное количество воды. Преимуществом данного метода является его низкая стоимость и возможность масштабирования производства.

В методе химического газофазного осаждения (CVD) графен может быть получен с помощью графитовой мишени или каталитического разложения углеводородов на поверхности металлического катализатора. В этом способе обычно используются пленки из никеля с метаном. Одним из важных преимуществ данного метода является высокое качество однослойного графена. Эпитаксиальное выращивание является методом с аналогичным принципом синтеза. Графен в данном методе получают при высокотемпературном восстановлении карбида кремния. Кремний десорбируется в вакууме, оставляя графеновые домены большой площади.

Графен очень разнообразен в практическом применении. В последнее время данный материал нашел широкое применение в науке, медицине, инженерии, микроэлектронике и так далее. Однако более корректно говорить о применении углеродных наноматериалов и производных графена.

Приведем несколько примеров промышленного использования материалов из графена:

1. Функциональные покрытия. Антикоррозийные покрытия могут применяться для защиты металлических деталей механизмов, частей зданий. Такой эффект достигается при проведении электрических зарядов, ответственных за образование коррозии на металле.
2. Фильтрация и опреснение воды. Тонкие мембраны из оксида графена могут быть использованы для фильтрации воды и других жидкостей, и

газов, так как нежелательные частицы и газы задерживаются при прохождении через мембрану. Считается, что в будущем данный метод позволит заменить метод обратного осмоса для опреснения морской воды ввиду своей относительной дешевизны.

3. Накопление энергии в суперконденсаторах. Ввиду поверхностных характеристик графена повышается удельная емкость накопителей и улучшается электропроводность.
4. Композитные материалы. Благодаря свойствам оксида графена диспергироваться в воде и других растворителях.
5. Биологически совместимые материалы. Материалы из графена имеют антибактериальные свойства, поэтому они могут применяться для производства упаковок для продуктов питания и для лекарственных средств.

1.2 Электроды на основе графена

Как отмечалось в предыдущем разделе материалы из графена обладают уникальными свойствами такими как высокие значения подвижности электронов, наивысшая электропроводность при комнатной температуре и высокой оптической прозрачностью. В совокупности данные свойства позволяют сказать, что материалы из графена могут быть использованы для создания электродов для применения в различных отраслях: в полевых транзисторах, батареях, ионисторах или суперконденсаторах, светодиодах LED, солнечных батареях, сенсорных экранах и в электрохимических сенсорах.

В настоящее время популярным сырьем для производства электродов в электронике и оптоэлектронике являются легированные оксиды металлов, в частности, оксид индия-олова (с англ. ИТО – iridium tin oxide) благодаря таким свойствам высокая прозрачность и проводимость. Однако, ввиду ограниченности ресурсов индия и высоких затрат на его обработку, а также значительных недостатков, таких как нестабильность в кислых средах,

относительно высокий показатель преломления ($n \approx 2,0$), низкая прозрачность в ближней инфракрасной области, склонность к деформации, необходимо более экономичное и эффективное сырье. Поэтому электроды на основе графена являются потенциальной заменой ИТО в электроприборах в будущем благодаря своим свойствам. Сырьем для производства электродов для электрохимического определения веществ долгое время являются углеродные нанотрубки и нановолокна, фуллерены, активированный уголь ввиду высокой электрокаталитической активности в окислительно-восстановительных реакциях и электропроводности. Графен, как основа многих углеродных структур, имеет схожие свойства, однако его преимущество заключается в большей теоретической удельной площади поверхности и возможностью в более дешевом производстве в больших количествах.

Электроды на основе графена могут быть разделены на 4 группы в зависимости от используемых материалов: электрод из изначального графена, химически модифицированный графеновый электрод, электрод с графеном выращенным методом CVD и композитный графеновый электрод [9].

Электрод из чистого или изначального графена получают методом механического расщепления. Однако применение данного вида электрода узконаправленное и заключается в применении при проведении различных научных исследований из-за низкого показателя выхода продукта. Лучших результатов может достигнуть метод CVD благодаря производству больших площадей графеновых пленок [9]. В данной методике на никелевой подложке происходит выращивание графена, затем производится перенос участка пленки с катализатора на подложку произвольного размера с использованием «штампа» из полимера. Полученный таким образом электрод имеет коэффициент пропускания более 75% и относительно низкое листовое сопротивление в 280 Ом/квadrat. Впоследствии данная методика была несколько улучшена: графен был выращен на медной фольге длиной не менее 70 см, затем фольга прикреплялась к пленке из полимера с использованием

двух валов. Полимер с пленкой графена очищается от фольги с помощью раствора пероксодисульфата аммония 0,1 М и происходит перенос продукта до конечной подложки. Монослой, полученный таким образом, имеет свойства с лучшими примерно в 1,7 раз показателями, когда как четырехслойный электрод имеет показатели в 5,3 раз лучше. Однако из-за использования металлической фольги данный метод не является экономным. Поэтому было предложено использовать фольгу из платины и подложку из органического стекла (полиметилметакрилат или ПММА). Полиметилметакрилат и платина играли роль катода в электрохимической ячейке, слой фольги отделяется от подложки подачей тока, что позволяло повторно использовать платину для выращивания графена.

Для применения в светодиодах и полевых транзисторах также применяются графеновые пленки с рисунком, нанесенным посредством фотолитографии, которая используется для определения слоя катализатора до проведения CVD или для нанесения рисунка после переноса слоя графена на подложку. Также был разработан метод, не включающий в себя этап фотолитографии. Вместо этого рисунок образуется при движении вала с определенной скоростью с использованием слоя ПММА на подложке с целью упрощения получения паттерна из полос графена, при этом образовавшиеся участки с графеном были использованы как электроды в полевых транзисторах [9].

Создание химически модифицированных электродов, например из оксида графена, обычно не подразумевает использования комплексного оборудования и является менее затратным. Электроды GO и rGO могут быть получены с использованием следующих методик: метод Ленгмюра-Блоджетт, центрифугирование (спин-коатинг), метод «drop casting», метод вакуумной фильтрации и метод самосборки. Во многих экспериментах по электрохимическому анализу водный раствор GO изготавливается с использованием модифицированного метода Хаммера, модифицированный

GO электрод затем может быть получен прямым нанесением дисперсной системы GO на различные электроды: металлические или стеклоуглеродные [10]. Для улучшения свойств GO электрода возможно применение буферного раствора, содержащего гидрохлорид 1-этил-3-(3-диметиламинопропил) карбодиимида (EDC) и N-гидроксисукцинимид (NHS) для активации карбоксильных групп оксида графена, что позволяет образовываться ковалентным связям между электродом и определяемым веществом. Для этой же цели применяют гидроксид натрия и хлоруксусную кислоту. Благодаря тому, что оксид графена содержит множество кислородосодержащих функциональных групп возможно применение наночастиц, металлоорганических и полимерных соединений для стабилизации электрода. С этой целью были успешно использованы модифицированный хитозан и частицы серебра [11].

Полученные пленки из GO могут быть впоследствии восстановлены различными методами: с использованием гидразина, термический метод, химическое восстановление и лазерные методы [12]. Для применения в аккумуляторах и ионисторах необходимо большое количество материалов из графена, поэтому для этой цели используют сухой порошок восстановленного оксида графена rGO и, смешивая его со связующим веществом, отливают на никелевый токосъемник или медную фольгу. Например, для использования в ионисторах графеновый порошок смешивают с политетрафторэтиленом в воде до получения пасты, которая затем скатывается в листы, из которых получают электроды диаметром примерно в 1 см [13]. Для изготовления электродов rGO с рисунком может быть использован метод кислородно-плазменного травления.

Графеновые композитные электроды применяются для электрохимического определения веществ и в энергетических накопителях. К примеру, гибридные электроды из графена с наночастицами металлов могут быть получены *in situ* восстановлением предшествующего металла с

использованием вещества восстановителя или электрохимическим восстановлением. Возможно получение гибридов с неорганическими структурами с использованием электростатических взаимодействий. Также существуют гибриды электродов из графена с другими аллотропными модификациями углерода: гибриды графена-фуллерена, гибриды графена и углеродных нанотрубок и гибриды с полианилином. Так, электроды, совмещающие графен и углеродные нанотрубки были изготовлены методом *in situ* выращивания трубок на листе из графена с использованием метода химического газофазного осаждения. Данные электроды затем использовались в литий-ионных аккумуляторах сенсibilизированных красителем солнечных батареях (ячейках Гретцеля).

Электроды на основе графена нашли свое применение в следующих областях:

Солнечные батареи. Как отмечалось ранее оксид индия-олова является доминирующим на рынке и используется в полимерных солнечных батареях и в ячейках Гретцеля благодаря своим физико-химическим свойствам. Однако в связи с значительными недостатками данного материала электроды из графена рассматривались как потенциальная замена и принимались усилия по внедрению данного материала в действие. Для этой цели использовались разработанные rGO электроды и выращенные CVD методом электроды из графена [9]. В обычном процессе изготовления rGO электрода для полимерных солнечных батарей раствор оксид графена проходит центрифугирование на кварцевой подложке с последующим восстановлением парами гидразина и дальнейшей термической обработкой. Однако несмотря на простоту производства и низкую стоимость полученных батарей, их КПД все еще уступал аналогам из оксида индия-олова или даже графену выращенному по методу CVD ввиду высокого показателя сопротивления. Ситуация может улучшиться при добавлении углеродных нанотрубок для получения композита. Полученный гибриды проходит центрифугирование и

термическую обработку при 150 °С, таким образом достигается высокий показатель коэффициента пропускания в 86% и низкое листовое сопротивление 240 Ом/квadrat. По сравнению с электродами из rGO пленка из графена выращенного методом CVD обладает более оптимальными свойствами для использования в солнечных батареях в целом.

Светодиоды. Неорганические полупроводники такие как арсенид галлия и нитрид галлия широко используются для производства светодиодов благодаря высокой скорости радиационной рекомбинации, высокой подвижности носителей заряда и стабильности. Однако при производстве полупроводников возникает проблема разделения высококачественного материала от его эпитаксиальной опоры и переноса на соответствующую подложку. Графен благодаря своей кристаллической структуре в виде пчелиных сот способен взять на себя роль эпитаксиальной опоры для выращивания материала полупроводников посредством сил Ван-дер-Ваальса. Так был разработан метод подготовки пленки эпитаксиального арсенида галлия на слоях графена с использованием структур из оксида цинка в качестве промежуточного слоя [14]. Полученный светодиод на основе арсенида галлия с графеном в качестве электрода может быть перенесен на любую подходящую подложку из стекла, металла или пластика. Кроме производства единственного светодиода на пленке из графена, пленки из графена с рисунком могут быть использованы для создания светодиодных матриц с дополнительной гибкостью и механической прочностью. Была разработана гибкая матрица неорганических светодиодов, в которой матрицы графена играют роль прозрачных электродов и гибких межсоединений посредством использования ламинации [15]. Полученная таким образом матрица светодиодов может выдерживать огромные нагрузки. По сравнению с обычными неорганическими светодиодами органические светодиоды (OLED) производятся с использованием покрытых оксидом индия-олова подложек из полиэтилентерефталата и имеют более привлекательные свойства

и дешевое производство. Однако используемые альтернативные подложки, например углеродные нанотрубки и токопроводящие полимеры, обычно проявляют высокие значения листового сопротивления в 10 раз превышающие результаты, полученные от электродов с использованием ИТО. Выращенный методом CVD графен может быть использован как потенциальная замена материалов с ИТО, однако не без дополнительных модификаций, так как он имеет низкое значение работы выхода в 4.4 эВ. Благодаря использованию легирования с помощью азотной кислоты или хлорида золота (III) и добавлению специального органического слоя можно достичь снижения листового сопротивления пленки из графена CVD до 30 Ом/квадрат и улучшения значения работы выхода. Полученные таким образом органические светодиоды смогли превзойти светодиоды с использованием ИТО [16].

Полевые транзисторы. Такие металлы как платина и золото используются как электроды истока/стока в таких устройствах как полупроводниковые полевые транзисторы, полевые транзисторы на основе углеродных нанотрубок и органические полевые транзисторы. В органических транзисторах электроды с золотом имеют хорошие показатели работы выхода, однако существует значительное сопротивление, которое находится между полупроводником и электродами истока/стока. Поэтому были разработаны гибридные электроды из графена на пленке с матрицей серебра или меди [17]. Сниженная работа выхода и уменьшенное контактное сопротивление между электродами и полупроводником привели к повышенному значению подвижности носителей заряда в $0,53 \text{ см}^2/(\text{В}*\text{с})$, которое превышает аналогичные характеристики чистых электродов из меди или серебра примерно в 10 раз. Также был разработан транзистор, состоящий целиком из углеродных материалов: электроды истока/стока были произведены с использованием пленки из графена, полупроводниковая составляющая из одностенных углеродных нанотрубок [18]. Обе части были произведены

методом CVD и интегрированы в полевой транзистор посредством литографии и трансферной печати. Полученное устройство демонстрировало хорошие показатели коэффициента пропускания в 75% при 550 нм и повышению уровня тока в 10% по сравнению с палладиевыми электродами.

Литий-ионные аккумуляторы (LIB, Li-ion). Данный вид аккумуляторов является очень распространённым, имеет высокий показатель плотности энергии и высокие значения абсолютного потенциала по сравнению со стандартным водородным электродом. Графит широко применяется в электродах для Li-ion аккумуляторов благодаря большой удельной емкости в 372 мАч/г и высокой кулоновской эффективности [19]. Исходя из этого можно предположить, что при использовании отдельных слоев графена (примерно 6-15 слоев) можно получить еще большую удельную емкость в 540 мАч/г за счет того, что адсорбция ионов может происходить по обе стороны одного слоя графена. Электроды, состоящие из нескольких слоев rGO, благодаря значительному преимуществу в площади поверхности по сравнению с графитом показали результаты в 1,5 раза превышающие предыдущие. При добавлении дополнительно углеродных нанотрубок и фуллеренов можно добиться значений удельной емкости почти в 2 раза превышающие изначальные за счет увеличения расстояния между слоями графена и создания дополнительных пустот [20]. Увеличение плотности энергии ионистора или мощности аккумуляторов является ключевым направлением в разработке высокопроизводительных устройств накопления энергии. Были предложены следующие возможные подходы: увеличение электропроводности электродного материала для более быстрой передачи носителей заряда, а также создание пористых материалов для упрощения диффузии ионов лития.

Электрохимические сенсоры/датчики. Как было отмечено ранее графен и его производные имеют большой потенциал в качестве замены или дополнения к другим углеродным материалам, таким как углеродные нанотрубки, фуллерен и графит для электрохимического определения.

Различные электроды на основе графена и композитов из графена были разработаны для определения большого ряда химических и биохимических веществ: пероксид водорода, глюкоза, дофамин, холестерин, аскорбиновая кислота, бисфенол, биомаркеры рака, ионы тяжелых металлов и так далее [11]. Рассмотрим последние разработки электродов из графена для электрохимического определения различных веществ.

Дофамин, аскорбиновая кислота и мочевая кислота

Дофамин является важным нейромедиатором, аскорбиновая кислота играет роль антиоксиданта, и мочевая кислота является конечным продуктом метаболизма пурина. Все три вещества играют важную роль в метаболизме человека, поэтому их количественное определение является важной частью диагностики и лечения различных заболеваний, связанных с аномальными количествами данных веществ, например подагра [11]. Несколько модифицированных графеновых электродов были успешно разработаны и применены для отдельного или совместного определения этих трех веществ. Например, оксид графена с нанопорами был дополнен наночастицами золота, затем был получен 3D композит после самосборки электрода на стеклоуглеродном электроде. Результаты показали большие значения площади и электропроводности электрода в одновременном определении дофамина, аскорбиновой кислоты и мочевой кислоты, также были получены очень низкие показатели предела обнаружения и высокая чувствительность электрода [21]. Другая разработка заключалась в производстве нанокompозита из сульфида молибдена, полианилина и восстановленного оксида графена. Результаты показали существование синергии между тремя компонентами, данный композит показал хорошую электрохимическую активность, высокую биосовместимость и сильное каталитическое действие на окисление биомолекул. Электрод был применен для одновременного определения трех веществ, результаты дифференциальной импульсной вольтамперометрии показали три отчетливых пика, линейно зависящих от концентраций в

широком диапазоне от 50 мкм до 8,0 мм, от 5,0 до 500 мкм и от 1,0 до 500 мкм. Такой датчик имеет хорошую селективность, воспроизводимость и стабильность [22]. Таким образом электроды на основе графена могут быть применены и могут иметь высокую точность при индивидуальном или одновременном определении дофамина, аскорбиновой кислоты и мочевой кислоты. Однако данные разработки все еще не применяются повсеместно и находятся только на экспериментальной стадии.

Электрохимические датчики для определения ионов тяжелых металлов

Превышение определенных предельно допустимых концентраций ионов тяжелых металлов в воде и почве является причиной многих заболеваний живых организмов и загрязнений почти всех слоев биосферы. Поэтому, учитывая деятельность всего человечества, многотоннажные химические производства и выброс отходов, практически необходимо уметь определять их количество, используя наиболее эффективные и экономичные методы. По сравнению с широко применимыми методами электроды на основе графена имеют преимущество в виде высокой чувствительности, селективности, быстрого обнаружения и стабильности. Среди тяжелых металлов ионы кадмия и свинца представляют собой серьезную опасность для репродуктивной системы человека, иммунной системы, могут стать причиной респираторных заболеваний и имеют общий негативный эффект на метаболизм. В последние годы был разработан чувствительный и селективный флуоресцентный датчик для определения ионов свинца с использованием квантовых точек из графена с наночастицами золота. Новый нанокompозит, состоящий из графена и хитозана, легированных азотом, был разработан и применен для модифицирования электрода из стеклоуглерода для определения катионов свинца в водных растворах [23]. Также был разработан модифицированный стеклоуглеродный электрод с применением восстановленного оксида графена, карбоксиметилцеллюлозы и глутатиона для определения ионов кадмия. Такой

электрод показал линейный диапазон измерений в 2-20 мкМ, довольно низкий предел обнаружения в 0,05 мкМ и хорошую чувствительность в 4,5 мкА/мкМ [24]. Данные исследования показывают, что наноконпозиты с использованием материалов из графена являются благоприятным сырьем для создания датчиков ионов кадмия или свинца. Также было реализовано одновременное определение ионов кадмия и свинца с использованием гибрида оксида графена и квантовых точек, легированных азотом, модифицированного активированным углем графенового электрода, оксидом графена, микроструктурным восстановленным оксидом графена с подложкой из золота и композита с углеродными нанотрубками. Был доказан потенциал эпитаксиального графена в определении ионов палладия в совокупности с одноразовым микрожидкостным чипом на карбиде кремния. Такой метод показал хорошую стабильность и воспроизводимость и способствовал снижению расхода реагентов [11]. Оксид марганца (IV) является экологичным и недорогим материалом для производства электродов. Был разработан наноконпозитный материал, состоящий из легированного азотом восстановленного оксида графена с добавлением оксида марганца, который был использован для модифицирования стеклоуглеродного электрода для определения ионов ртути с низким пределом обнаружения 0,0414 мкМ и высокой чувствительностью 72,16 мА/мМ. Для одновременного определения ионов свинца и ртути был разработан стеклоуглеродный электрод с электрохимически восстановленным оксидом графена. Предел обнаружения для ионов свинца и ртути соответственно составил 0,2 нг/мл и 1 нг/мл в линейном диапазоне до 1000 нг/мл. Такой электрод может быть применен как для качественного, так и для количественного определения ионов тяжелых металлов. Рассмотренные электроды имеют благоприятные свойства для использования, однако их не совсем удобное производство и большие затраты на ресурсы могут ограничить их будущее применение.

Электроды для определения онкомаркеров

Согласно Всемирной Организации Здравоохранения рак на протяжении многих лет занимает второе место по смертности среди заболеваний. Для успешного лечения во многих случаях необходима максимально ранняя диагностика. Биодатчики в последнее время являются одним из ключевых устройств, позволяющим диагностировать онкологические заболевания на ранней стадии. Также за последние несколько лет велась разработка биодатчиков на основе графена. Эффективным подходом к определению онкомаркеров является использование модифицированных электродов с наночастицами металлов и графеном. Так, были проведены исследования различных электродов из графена с частицами золота. Трехмерный композит из графена с наночастицами золота применялся для определения антигена к фрагменту цитокератина 19 (CYFRA 21-1), сульфид кобальта и графен с наночастицами золота были использованы для модифицирования графитового электрода для определения белкового онкомаркера (CA15-3), оксид графена с наночастицами золота для определения андрогена, выделяемого клетками предстательной железы. Данные электроды имели предел обнаружения не ниже 0,5 нг/мл и линейный диапазон 0-110 нг/мл [11].

1.3 Методы определения карбаматных пестицидов на электродах из графена

Другим не менее важным применением электродов с материалами из графена является определение токсических веществ в сельскохозяйственной продукции. При выращивании различных культур в промышленных масштабах и в личных хозяйствах используются различные пестициды для борьбы с вредителями культур и возбудителями заболеваний. Карбаматные пестициды включают в себя группы тиоэфиров и эфиров, получаемых из карбаминовой кислоты. Их действие заключается в ингибировании ферментативной активности необходимой для гидролиза ацетилхолина, играющего роль нейромедиатора в организмах млекопитающих и насекомых, посредством карбамилрования ацетилхолинэстеразы в синапсах и нервно-

мышечных соединениях. Невозможность гидролиза ацетилхолина приводит к его накоплению, а следовательно, к судорогам мышц и быстрому истощению организма вредителя [25].

На данный момент известно об электродах из графена, разработанных для определения некоторых веществ из группы карбаматов: карбарила, карбофурана и карбендазима. В одном из исследований было проведено одновременное определение методом квадратно-волновой вольтамперометрии (КВВ) карбендазима и изопротурона на модифицированных графеном электродах из углеродной пасты (СРЕ). Авторами были проанализированы образцы, полученные из овощей, воды из рек и рисовых полей. В оптимальных условиях линейный диапазон составил от 2,61 до 52,3 мкМ с пределом обнаружения равным 0,58 мкМ [26]. Точность значений, полученных данным электродом, была подтверждена другим методом обнаружения – высокоэффективной жидкостной хроматографией с использованием ультрафиолетовых лучей. При этом не было обнаружено значительных погрешностей методики. Нанокompозит на основе трехмерного графена с добавлением функциональных групп с серой и азотом и с наночастицами золота был использован для обнаружения карбарила в различных фруктах и овощах, а также в воде. Такой метод имел линейный диапазон от 0,004 до 0,3 мкМ, предел обнаружения равный 0,0012 мкМ и с точностью близкой к 100% [27]. Также была разработана модификация для электрода из пластика в виде поли(3,4-этилендиокситиофен) полистиролсульфоната (PEDOT:PSS) с добавлением оксида графена для определения карбофурана. Линейный диапазон для такого электрода составил от 1 до 90 мкМ, а предел обнаружения был равен 1 мкМ для образцов из томатов и вина [28]. Был разработан метод одновременного определения карбендазима и карбофурана с использованием химически восстановленного оксида графена и цетилтриметиламмония бромидом (СТАВ) в качестве модификации для screen-printed углеродного электрода (SPE) посредством

КВВ. Линейный диапазон от 0,2 до 104 мкМ, предел обнаружения 0,02 мкМ [29]. Достигнутый при этом процент извлечения составлял для карбендазима 97,0-105% и карбофурана 95,7-103% в образцах риса, томатов и сои. Также был разработан стеклоуглеродный электрод модифицированный наноккомпозитом из восстановленного оксида графена, меди, оксида меди и серебра для определения карбарила. С помощью дифференциально-импульсной вольтамперометрии (ДИВА) был получен линейный диапазон от 0,05 до 20 мкМ при пределе обнаружения 5,5 мкМ на образцах винограда, апельсинов, капусты и томатов [30]. Краткая характеристика описанных электродов представлена в таблице 1.1

Таблица 1.1 – Методы определения карбаматных пестицидов с использованием электродов из графена

Метод	Электрод	Линейный диапазон, мкМ	Предел обнаружения, мкМ	Объект исследования	Определяемое вещество	Источник
КВВ	Модифицированный графеном СРЕ	2,61-52,3	0,58	Вода из рек и рисовых полей, помидор, капуста	Карбендазим	26
ДИВА	S/N функционализированный 3D графен и наночастицы золота (3DG-Au)	0,004-0,3	0,0012	Персик, яблоко, виноград, огурец, томат	Карбарил	27
ВЛР	PEDOT:PSS с пленками графена/пластика	1-90	1	Томаты и вино	Карбофуран	28

КВВ	rGO/СТАВ/SPE	0,2-104	0,02	Соя, рис, томаты	Карбендази м, карбофура н	29
ДИВ А	GCE модифицированный rGO-Cu/CuO-Ag нанокомпозитом	0,05-20	5,5	Виноград, апельсин, томаты, капуста	Карбарил	30

На основании представленных данных можно судить о хорошей производительности электродов на основе графена для определения карбаматных пестицидов, однако стоит отметить, что не было обнаружено прямой зависимости между используемым в электроде производным графена и реактивности конкретного карбаматного пестицида, то есть для наиболее точного определения какого-либо отдельного карбаматного пестицида необходимо дальнейшее изучение каждой методики и соответствующее её оптимизирование.

2 Материалы и методы исследования

2.1 Объект исследования, реактивы, материалы и приборы

Объекты исследования в данной работе – образцы соков яблок и апельсинов с содержанием карбарила.

Для проведения всех электрохимических измерений был использован анализатор PalmSens4 с использованием электрохимической ячейки, состоящей из следующих электродов: электрод из восстановленного лазером оксида графена LRGO – индикаторный электрод; насыщенный хлоридсеребряный электрод в 1 М растворе хлорида калия – электрод сравнения; платиновый провод в качестве вспомогательного электрода.

Для изучения поверхности полученного электрода применялся метод электронной микроскопии, соответствующий прибор – растровый или сканирующий электронный микроскоп (СЭМ).

Раствор стандартного образца карбарила был приготовлен растворением 4 мг вещества в 1 мл смеси деионизированной воды и этанола с массовой концентрацией 96% в соотношении 1:1. Буферный раствор Бриттона-Робинсона (БР) с концентрацией 0,1 моль/л был получен при перемешивании фосфорной, борной, безводной уксусной кислоты и раствора гидроксида натрия с концентрацией 1 моль/л.

Для определения карбарила были использованы следующие методы: циклическая вольтамперометрия (ЦВ) и вольтамперометрия с линейной разверткой (ВЛР) в диапазоне потенциалов от -1,0 до 1,6 В в 0,1 моль/л фосфатного буферного раствора (PBS) со значением pH равным 6,86. Регистрация вольтамперограмм велась при скорости развертки равной 300 мВ/с.

Апельсины и яблоки были выжаты для получения концентрированного сока. Затем были получены растворы, содержащие 250 мкл сока апельсина и

яблок и 250 мкл стандартного раствора карбарила в требуемых концентрациях. Далее 100 мкл специально подготовленной пробы сока и стандартный раствор карбарила были нанесены на поверхность электрода методом капельного литья в течении 10 минут в лабораторных условиях.

LRGO электрод был обработан фосфатным буферным раствором затем помещен в электрохимическую ячейку, содержащую 8 мл раствора PBS. Для регистрации сигнала окисления карбарила была использована ВЛР. Предел обнаружения LOD рассчитывался при отношении сигнал/шум равном 3 по формуле:

$$LOD = \frac{3s}{b}, \quad (2.1)$$

где s – стандартное отклонение аналитического сигнала;

b – тангенс угла наклона градуировочной зависимости.

2.2 Методика изготовления индикаторного (рабочего) электрода

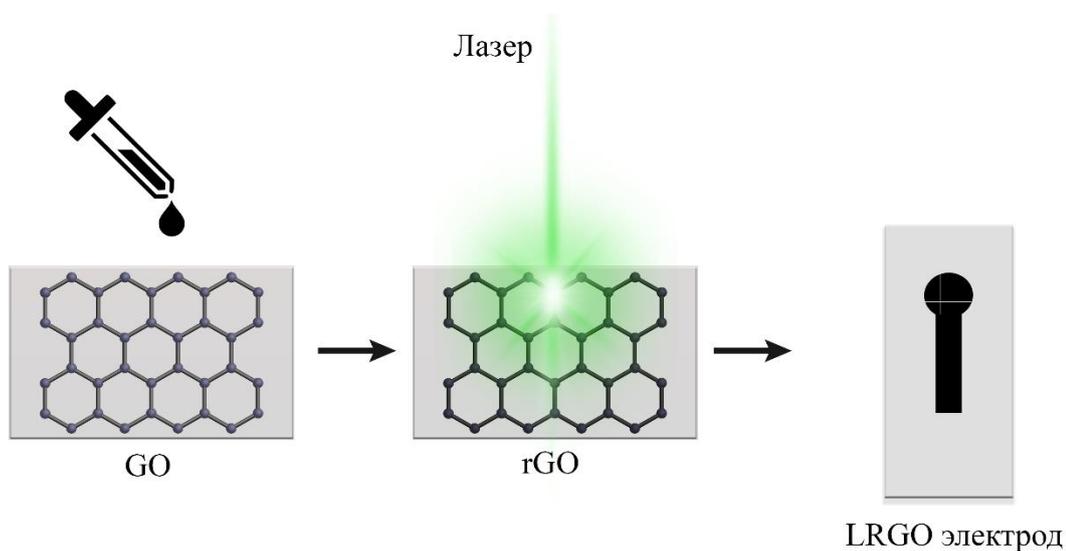


Рисунок 1 – Схематическая иллюстрация процесса изготовления рабочего электрода из восстановленного лазером оксида графена.

Для создания подложки для электрода был использован лист полиэтилентерефталата (ПЭТ) шириной 5 мм и длиной 25 мм. На слой ПЭТ наносят оксид графена GO методом drop casting для получения пленки, при

этом каких-либо других мер по обработке оксида графена на данной стадии не предпринимается. При высушивании GO образуется гомогенная поверхность электрода. Объем использованного GO, растворитель и концентрация были оптимизированы для получения наибольшей чувствительности и воспроизводимости.

Так, 100 мкл оксида графена с концентрацией 2 мг/мл было нанесено на подложку из ПЭТ и высушено в течение 2 часов при комнатной температуре. Переход GO в восстановленную форму rGO был произведен с помощью лазерной установки при наиболее оптимальной мощности лазера в 600 мВт при длине волны в 405 нм. Во избежание возгораний расстояние между головкой лазера и подложкой составляло не менее 5 мм. При этом был получен электрод сетчатого типа, так как такой вид электрода в разы увеличивает чувствительность всего устройства. Общая площадь итоговой рабочей зоны электрода 12,5 мм².

4 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

Введение

Перспективность научного исследования во многом определяется коммерческой ценностью разработки. Оценка коммерческой ценности разработки - необходимое условие при поиске источников финансирования для проведения научного исследования и коммерциализации его результатов.

Таким образом, целью данного раздела является определение перспективности и успешности научно-исследовательского проекта, разработка механизма управления и сопровождения конкретных проектных решений на этапе реализации.

Задачи раздела:

- провести технико-экономическое обоснование научно-исследовательской работы;
- выявить потенциальных потребителей результатов исследования, провести SWOT-анализ НИИ;
- выполнить оценку заинтересованных сторон проекта, обосновать цели и результаты проекта;
- сформировать рабочую группу проекта;
- выявить ограничения проекта;
- составить структуру работ и календарный план проекта;
- определить бюджет НИИ;
- провести оценку сравнительной эффективности проекта.

4.1 Оценка коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

4.1.1 Потенциальные потребители результатов исследования

В рамках исследовательской работы изучался метод вольтамперометрического определения пестицида карбарила с использованием восстановленного лазером оксида графена. Данный метод определения карбарила может быть использован:

- агропромышленными производствами, для точного контроля количества пестицида в готовом продукте;
- исследовательскими центрами, для совершения независимых экспертиз;
- владельцами личных хозяйств, ввиду простоты метода.

4.1.2 Анализ конкурентных технических решений

В настоящее время карбарил определяют, используя различные вольтамперометрические, хроматографические, колориметрические, флуориметрические и другие методы с использованием модифицированных электродов. В данной работе рассматривается вольтамперометрический метод с использованием восстановленного лазером оксида графена. По сравнению с перечисленными методами исследуемый метод имеет ряд преимуществ в виде использования модифицированного графена – инновационного материала с уникальными физико-химическими свойствами, низкой стоимости производства электродов, высокой чувствительности и простоты оборудования. Однако такие методы как высокоэффективная жидкостная хроматография (ВЭЖХ) и вольтамперометрия с использованием наночастиц из золота, серебра или кобальта дают высокоточные результаты, достаточно хорошо изучены и применяются по сей день, что делает их довольно сильными конкурентами. В качестве конкурента в анализе конкурентоспособности рассмотрим метод ВЭЖХ ввиду того, что данный метод является наиболее распространенным.

Конкурентоспособность способов определения пестицида карбарила оценивается по формуле 4.1:

$$K = \sum B_i \cdot B_i; \quad (1)$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл показателя (по 5-ти балльной шкале).

Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок приведена в таблице 4.1. Поэтому сравнение проводилось между используемым методом определения пестицида (K_ϕ) и конкурентным методом определения, в данном случае ВЭЖХ (K_k).

$$K_\phi = \sum B_i \cdot B_i = (0,1 * 5) + (0,2 * 5) + (0,2 * 5) + (0,1 * 4) + (0,2 * 5) + (0,1 * 5) + (0,1 * 3) = 4,9$$

$$K_k = \sum B_i \cdot B_i = (0,1 * 2) + (0,2 * 2) + (0,2 * 5) + (0,1 * 4) + (0,2 * 1) + (0,1 * 3) + (0,1 * 5) = 3,3$$

Таблица 4.1 – Оценочная карта для сравнения конкурентных технических разработок

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы		Конкурентоспособность	
		B_ϕ	B_k	K_ϕ	K_k
Технические критерии оценки ресурсоэффективности					
Селективность	0,1	5	2	0,6	0,8
Простота метода	0,2	5	2	1	0,4
Экспрессность	0,2	5	5	0,5	0,1
Экологичность	0,1	4	4	0,5	0,3
Экономические критерии оценки эффективности					
Стоимость оборудования	0,2	5	1	1	0,6
Стоимость реагентов	0,1	5	3	1	0,6
Уровень проникновения на рынок	0,1	3	5	0,3	0,5

Итого	1	32	22	4,9	3,3
--------------	----------	-----------	-----------	------------	------------

По результатам выявлено, что как уязвимостью конкурентов, так и преимуществом используемого метода является его простота и экологичность, в силу в разы меньших требований в использовании высокоточного оборудования, экспрессности, а также невысокой стоимости затрат на его исполнение.

4.1.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ рассматривает научно-исследовательский проект с точки зрения его сильных сторон, слабых сторон, возможностей и потенциальных угроз. Он состоит из следующих этапов:

- 1) Описание сильных и слабых сторон проекта, а также выявление возможностей и угроз во внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Матрица SWOT по результатам первого этапа анализа

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>С1. Простота исполнения метода</p> <p>С2. Экспрессность</p> <p>С3. Более низкие затраты на исполнение метода по сравнению с альтернативами</p>	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <p>Сл1. Специфичные условия использования</p> <p>Сл2. Необходимость создания модифицированного электрода</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующий, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на новый продукт</p>		

В2. Повышение стоимости конкурентных разработок		
В3. Дальнейшее совершенствование методики анализа		
Угрозы: У1. Развитие конкурентных методов анализа У2. Ограничения на экспорт технологии, импорт сырья У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства		

2) Выявление соответствия сильных и слабых сторон проекта внешним условиям окружающей среды. Для этого в матрицах помечается знаком «+» сильное соответствие сторон соотносимых сторон, слабое – знаком «-», а сомнение – «0». Интерактивные матрицы представлены в таблицах 4.3 – 4.6.

Таблица 4.3 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и возможности проекта»

Сильные стороны проекта				
		С1	С2	С3
Возможности проекта	В1	+	+	+
	В2	-	-	-
	В3	+	+	+

Таблица 4.4 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и возможности проекта»

Слабые стороны проекта				
Возможности проекта		Сл1	Сл2	Сл3
	B1	+	+	-
	B2	-	-	-
	B3	0	+	-

Таблица 4.5 – Интерактивная матрица проекта «Сильные стороны и угрозы»

Сильные стороны проекта				
Угрозы		С1	С2	С3
	У1	+	+	+
	У2	-	-	+
	У3	+	-	-

Таблица 4.6 – Интерактивная матрица проекта «Слабые стороны и угрозы»

Слабые стороны проекта				
Угрозы		Сл1	Сл2	Сл3
	У1	-	-	-
	У2	+	+	-
	У3	-	+	+

3) Составление итоговой матрицы SWOT-анализа по результатам интерактивных матриц. Итоговая матрица представлена в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны научно-исследовательского проекта:	Слабые стороны научно-исследовательского проекта: Сл1. Специфичные условия использования
--	---	---

	<p>С1. Простота исполнения метода</p> <p>С2. Экспрессность</p> <p>С3. Более низкие затраты на исполнение метода по сравнению с альтернативами</p>	<p>Сл2. Необходимость создания модифицированного электрода</p> <p>Сл3. Большой срок поставок материалов и комплектующих, используемые при проведении научного исследования</p>
<p>Возможности:</p> <p>В1. Появление дополнительного спроса на методику</p> <p>В2. Повышение стоимости конкурентных разработок</p> <p>В3. Дальнейшее совершенствование методики анализа</p>	<p>При появлении дополнительного спроса и повышении стоимости конкурентных разработок данная разработка имеет достаточно весомых преимуществ, чтобы заинтересовать потребителей</p>	<p>Специфические условия использования и необходимость в модифицированном электроде сказаться на спросе, в то время как повышение стоимости конкурентных разработок не зависит от слабых сторон проекта</p>
<p>Угрозы:</p> <p>У1. Развитие конкурентных методов анализа</p> <p>У2. Ограничения на экспорт технологии, импорт сырья</p> <p>У3. Несвоевременное финансовое обеспечение научного исследования со стороны государства</p>	<p>Простота исполнения метода и его экспрессность позволят ему остаться конкурентоспособным, в то время как возможное ограничение на ввоз сырья и недостаточное финансирование могут оказать влияние на эффективность и затратность метода</p>	<p>Возможное ограничение на ввоз сырья и недостаточное финансирование могут дополнительно отразиться на результатах анализа, из-за чего потребители могут потерять интерес к разработке, а развитие конкурентных методов может подчеркнуть этот недостаток</p>

В результате SWOT-анализа были выявлены сильные и слабые стороны разработки, а также их стабильность в условиях развития дополнительных возможностей и внешних угроз.

4.2 Планирование научно-исследовательских работ

4.2.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

- определение структуры работ в рамках научного исследования;
- определение участников каждой работы;
- установление продолжительности работ;
- построение графика проведения научных исследований.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность групп может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Для выполнения научных исследований формируется рабочая группа, в состав которой входят: бакалавр – Митупов Б. Ц., научный руководитель ВКР – Сакиб М.

Составим перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и проведем распределение исполнителей по видам работ.

Таблица 4.8 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, бакалавр
Выбор направления исследований	2	Подбор и изучение материалов по теме	Бакалавр
	3	Проведение анализа литературных источников	Бакалавр
	4	Выбор направления исследований	Научный руководитель, бакалавр
	5	Календарное планирование работ по теме	Научный руководитель, бакалавр
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр
	7	Проведение экспериментов и запись результатов	Бакалавр
	8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Научный руководитель, бакалавр

Обобщение и оценка результатов	9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, бакалавр
	10	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, бакалавр
<i>Проведение ВКР</i>			
Разработка технической документации и проектирование	11	Оценка эффективности производства и применения проектируемого изделия	Бакалавр
	12	Разработка раздела по социальной ответственности	Бакалавр
Оформление отчета по НИР (комплекта документации по ОКР)	13	Составление пояснительной записки	Бакалавр

4.2.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудоемкость выполнения научного исследования оценивается экспертным путем в человеко-днях и носит вероятностный характер, т.к. зависит от множества трудно учитываемых факторов. Для определения ожидаемого (среднего) значения трудоемкости $t_{ожi}$ используется следующая формула:

$$t_{ожi} = \frac{3t_{мини} + 2t_{маxi}}{5}, \quad (2)$$

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

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

$t_{маxi}$ – 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 %.

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i}, \quad (3)$$

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

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

$Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел (1-2 чел).

4.2.3 Разработка графика проведения научного исследования

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:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{кал}, \quad (4)$$

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

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

$k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{кал} = \frac{T_{кал}}{T_{кал} - T_{вых} - T_{пр}} = \frac{365}{365 - 52 - 14} = 1,223, \quad (5)$$

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году = 365 дней;

$T_{вых}$ – количество выходных дней в году = 52 дней;

$T_{пр}$ – количество праздничных дней в году = 14 дней.

Таблица 4.9 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Название работы	Исполнители	Трудоемкость работ			Длительность работ в рабочих условиях T_{pi}	Длительность работ в календарных днях, T_{ki}
			t_{min} , чел-дни	t_{max} , чел-дни	$t_{ож}$, чел-дни		
1	Составление и утверждение технического задания	НР	1	2	1,4	0,7	0,86
		Б	1	2	1,4	0,7	0,86
2	Подбор и изучение материалов по теме	Б	5	10	7	7	8,6
3	Проведение анализа литературных источников	Б	10	15	12	12	14,7
4	Выбор направления исследований	НР	1	2	1,4	0,7	0,86
		Б	1	2	1,4	0,7	0,86
5	Календарное планирование работ по теме	НР	1	2	1,4	0,7	0,86
		Б	1	2	1,4	0,7	0,86
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Б	17	22	19	19	23,2
7	Проведение экспериментов и запись результатов	Б	6	8	6,8	6,8	8,3
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	НР	2	3	2,4	1,2	1,5
		Б	2	5	3,2	1,6	2,0
9	Оценка эффективности полученных результатов	НР	2	4	2,8	1,4	1,7
		Б	4	6	4,8	2,4	2,9
10	Определение целесообразности проведения ВКР	НР	5	7	5,8	2,9	3,5
		Б	5	7	5,8	2,9	3,5
11	Оценка экономической эффективности исследования	Б	7	10	8,2	8,2	10
12	Разработка раздела по социальной ответственности	Б	5	10	7	7	8,6

13	Составление пояснительной записки	Б	15	30	21	21	25,6
----	-----------------------------------	---	----	----	----	----	------

В таблице 4.9: НР – научный руководитель; Б – бакалавр.

Общая длительность работ в рабочих условиях $T_{pi} = 97,6$ раб.дн;
длительность работ в календарных днях $T_{ki} = 119,26$ кал.дн

Продолжительность работ, выполняемых исполнителями:

- научный руководитель – 7,6 раб.дн.;

- бакалавр – 90 раб.дн.;

На основании полученных данных, в таблице 4.10 приведен календарный план-график исследования.

Таблица 4.10 – Календарный план-график проведения НИОКР

№	Вид работ	Исполнители	Т _{кi} , кал,д н.	Продолжительность выполнения работ												
				февраль			март			апрель			май			
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
1	Составление технического задания	Научный Руководитель, бакалавр	0,86 0,86	■												
2	Изучение материалов по теме	Бакалавр	8,6	■												
3	Проведение анализа литературных источников	Бакалавр	14,7		■											
4	Выбор направлений исследования	Научный руководитель, бакалавр	0,86 0,86			■										
5	Календарное планирование работ	Научный руководитель, бакалавр	0,86 0,86			■										
6	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Бакалавр	23,2				■									
7	Проведение экспериментов и запись результатов	Бакалавр	8,3						■							
8	Сопоставление результатов экспериментов с теоретическими исследованиями	Научный руководитель, бакалавр	1,5 2,0							■						
9	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, бакалавр	1,7 2,9							■						
10	Определение целесообразности проведения ВКР	Научный руководитель, бакалавр	3,5 5,5								■					
11	Оценка экономической эффективности исследования	Бакалавр	10									■				
12	Разработка раздела по социальной ответственности	Бакалавр	8,6										■			
13	Составление пояснительной записки	Бакалавр	25,6											■		

Научный руководитель	Бакалавр
■	■

4.3 Бюджет научно-технического исследования (НТИ)

4.3.1 Расчет материальных затрат НТИ

Материальные затраты включают стоимость всех материалов, используемых в рамках научно-технического исследования. В стоимость материальных затрат включили транспортно-заготовительные расходы в размере 20% от цены.

В таблице 4.11 представлены все расходные материалы, использовавшиеся в работе

Таблица 4.11 – Материальные затраты

№	Наименование	Ед.изм.	N _{расх}	Ц, руб	З _м , руб
1	Карбарил стандартный раствор 99%	мл	1	5327	6392
2	Этанол	кг	1	2531	3037
3	Мерные цилиндры 100 мл	шт.	4	615	2952
4	Оксид графена	шт	1	4500	5400
5	Хлорсеребряный электрод	шт	2	1200	2880
6	Стакан химический на 50 см ³	шт	2	82	197
7	Конические колбы 250 мл	шт.	3	178	641
8	Стеклянные воронки	шт.	3	126	454
9	Наконечники для дозаторов	уп	1	989	1187
11	Фрукты и овощи	уп	1	467	560
12	Полиэтилентерефталат	шт	1	650	780
13	Метол	шт	1	967	1160
14	Дозатор 1-канальный, переменного объема 1-40 мкл	шт	1	6390	7668
	Итого				33308

4.3.2 Расчет затрат на специальное оборудование для научных работ

В данную статью включают все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стенов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ по конкретной теме.

Стоимость оборудования, используемого при выполнении конкретного НТИ и имеющегося в данной научно-технической организации, учитывается в калькуляции в виде амортизационных отчислений.

Амортизация начисляется на оборудование стоимостью от 40000 рублей.

Норма амортизации (H_A) в процентах рассчитывается по формуле:

$$H_A = \frac{1}{T} \cdot 100\%; \quad (6)$$

где T – срок полезного использования, лет.

Амортизация оборудования рассчитывается по формуле:

$$A = \frac{H_A \cdot C_{\text{перв}}}{100\% \cdot 12} \cdot m \quad (7)$$

Где A – ежегодная сумма амортизационных отчислений, руб;

$C_{\text{перв}}$ – первоначальная стоимость объекта, руб;

H_A – норма амортизации, %;

m – время использования, мес. (23,2 раб.дней согласно графику проведения НТИ или 0,77 месяцев)

Таблица 4.12 – Расчет бюджета затрат на приобретение спецоборудования для научных работ

Наименование оборудования	Количество, шт	$C_{\text{нач}}$, руб	T , лет	A , руб
1. Анализатор «PalmSens 4»	1	100 000	10	642
2. Весы аналитические	1	56 000	10	359
Итого		156 000		1001

4.3.3. Основная заработная плата исполнителей

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

$$Z_{\text{зп}} = Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}} \quad (8)$$

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

$Z_{\text{доп}}$ – дополнительная заработная плата (12-20 % от $Z_{\text{осн}}$).

Основная заработная плата ($Z_{\text{осн}}$) руководителя (лаборанта, инженера) от **предприятия** (при наличии руководителя от предприятия) рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_p \quad (9)$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн. (табл. 8);

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d} \quad (10)$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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. 4.13).

Таблица 4.13 – Баланс рабочего времени в 2023 году

Показатели рабочего времени	Научный Руководитель	Бакалавр
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней		
- выходные дни	52	52
- праздничные дни	14	14
Потери рабочего времени		
- отпуск	48	48
- невыходы по болезни	-	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	251

Месячный должностной оклад работника:

$$Z_m = Z_{\text{тс}} \cdot (1 + k_{\text{пр}} + k_d) \cdot k_p \quad (11)$$

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

$k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3 (т.е. 30% от $Z_{тс}$);

$k_{д}$ – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в НИИ и на промышленных предприятиях – за расширение сфер обслуживания, за профессиональное мастерство, за вредные условия: 15-20 % от $Z_{тс}$);

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

Таблица 4.14 – 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	25460	-	-	1,3	33098	1371	7,6	10420
Бакалавр	20064	-	-	1,3	26083	1081	90	97290
Итого	45524	-	-	1,3	59181	2452	97,6	107710

4.3.4 Дополнительная заработная плата исполнителей

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 и компенсаций (при исполнении государственных и общественных обязанностей, при совмещении работы с обучением, при предоставлении ежегодного оплачиваемого отпуска и т.д.).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн} \quad (12)$$

где $k_{доп}$ – коэффициент дополнительной заработной платы (на стадии проектирования принимается равным 0,12 – 0,15, в данном случае 0,13).

$Z_{осн}$ – основная заработная плата, руб.

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата, руб.

В таблице 4.15 приведена форма расчета основной и дополнительной заработной платы, при $K_{доп} = 0,13$.

Таблица 4.15 – Заработная плата исполнителей исследования

Заработная плата	Научный руководитель	Бакалавр
Основная зарплата	10420	97290
Дополнительная зарплата	1355	12648
Итого	11775	109938

4.3.5 Отчисления во внебюджетные фонды

Данная статья включает в себя отчисления во внебюджетные фонды, рассчитываемые по формуле:

$$Z_{\text{внеб}} = k_{\text{внеб}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}); \quad (13)$$

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

На 2014 г. в соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для учреждений, осуществляющих образовательную и научную деятельность в 2014 году, вводится пониженная ставка – 27, 1%

Таблица 4.16 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	$Z_{\text{зн}}$, руб	$K_{\text{внеб}}$, %	$Z_{\text{внеб}}$, руб.
Научный руководитель	11775	27,1	3191
Бакалавр	109938	27,1	29793
Итого			32984

4.3.6 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:

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{нр}} \cdot (\text{сумма статей } 1 \div 5); \quad (14)$$

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

Величина коэффициента накладных расходов = 16%.

$$Z_{\text{накл}} = 0,16 \cdot (33308 + 1001 + 107710 + 14003 + 32984) = 30241 \text{ руб.}$$

4.3.7 Формирование бюджета затрат исследовательского проекта

Рассчитанная величина затрат научно-исследовательской работы (темы) является основой для формирования бюджета затрат проекта, который при формировании договора с заказчиком защищается научной организацией в качестве нижнего предела затрат на разработку научно-технической продукции.

Определение бюджета затрат на научно-исследовательский проект по каждому варианту исполнения приведен в табл. 4.17

Таблица 4.17 – Расчет бюджета затрат НИИ

№	Наименование статьи	Сумма, руб	Примечания
1	Материальные затраты	33308	Пункт 4.3.1
2	Затраты на специальное оборудование	1001	Пункт 4.3.2
3	Основная заработная плата исполнителей	107710	Пункт 4.3.3
4	Дополнительная заработная плата исполнителей	14003	Пункт 4.3.4
5	Отчисления во внебюджетные фонды	32984	Пункт 4.3.5
6	Накладные расходы	30241	Пункт 4.3.6
7	Бюджет затрат исследования	219247	Сумма ст 1-6

4.4 Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Интегральный показатель ресурсоэффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i \quad (15)$$

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.

При исполнении методики возможно использование двух типов поверхностей электродов: планарный (гладкий) и сетчатый (специальные вкрапления). Данные электроды отличаются по физико-химическим характеристикам, однако оба электрода могут быть использованы для определения веществ, поэтому в таблицу 4.18 представлено сравнение этих двух вариантов.

Таблица 4.18 – Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

№	Критерии	Весовой коэффициент параметра	Исп.1	Исп.2
1	Точность определения	0,2	4	3
2	Экспрессность	0,2	5	5
3	Простота эксплуатации	0,1	5	5
4	Простота пробоподготовки	0,1	5	4
5	Простота оборудования	0,1	5	5
6	Цена анализа	0,2	5	4
7	Стоимость оборудования	0,1	5	5
8	Итого	1	4,8	4,4

В таблице 4.18: Исп.1 – вольтамперометрическая методика с электродом планарного типа, Исп.2 – вольтамперометрическая методика с электродом сетчатого типа.

5 Социальная ответственность

Аннотация ВКР: Разработка и исследование электродных материалов на основе восстановленного лазером оксида графена для определения пестицидов карбаматной природы. В данном разделе ВКР рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности, вопросы, связанные с производственной безопасностью, экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях.

Сущность проекта выпускной квалификационной работы заключается в разработке модифицированных электродов из восстановленного лазером оксида графена для вольтамперметрического анализа карбарила. Севин, также карбарил — органическое соединение, карбамат, α -нафтиловый эфир N-метилкарбаминовой кислоты, высокоэффективный инсектицид, обладающий широким спектром действия, не обладает свойством кумуляции в организмах теплокровных животных и человека. Данное вещество используется при производстве пестицидов. Карбарил и родственные ему вещества определяются методами высокоэффективной жидкостной хроматографией (ВЭЖХ). Данные методы имеют ряд недостатков, такие как низкая скорость анализа, дороговизна оборудования и самого анализа. Взамен этих методов используется вольтамперметрический анализ, однако чувствительность обычных графитовых электродов недостаточна, для определения этих веществ. Для решения этой проблемы требуется разработать модифицированный электрод. Это позволит более точно проводить качественный и количественный анализ исследуемых веществ.

Представленное исследование проводилось лаборатории № 223 второго корпуса ТПУ площадью 30,5 м², по адресу: Проспект Ленина, 43а. При работе осуществлялся контакт с химическими реактивами различного класса опасности. Кроме того, работник данной лаборатории может подвергаться воздействию опасных и вредных факторов, обусловленных работой оборудования.

В данном разделе обсуждаются вопросы безопасных условий труда, экологии, а также рассматриваются потенциально вредные факторы при выполнении экспериментальных и аналитических работ.

5.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

В данном подразделе рассматриваются специальные правовые нормы трудового законодательства. Основой законодательного обеспечения безопасности является Конституция Российской Федерации, в которой базовой статьей является статья 37 о свободном труде и о труде в условиях, отвечающих требованиям безопасности и гигиены.

На основании Трудового кодекса Российской Федерации указываются следующие особенности: установленные права и обязанности работодателей и работников в отношении охраны труда, исполнение которых контролируется специальными государственными органами и инспекциями [38].

5.1.1 Специальные правовые нормы трудового законодательства

В соответствии с Федеральным законом от 28.12.2013 N 426-ФЗ (ред. от 30.12.2020) «О специальной оценке условий труда» работники фармацевтических и биотехнологических компаний по степени вредности относятся к 2-ой (допустимой) и 3-ей (вредной) категории подкатегории 1, в которых подразумевается:

- в первом случае уровень воздействия опасных производственных факторов не превышает установленных гигиеническими нормативами норм, а состояние организма восстанавливается во время отдыха или к началу следующего рабочего дня;
- во втором случае условия труда имеют завышающие уровни опасных факторов, установленных нормативами, и относятся к 1-ой степени

вредности, которая подразумевает, что после воздействия опасных производственных факторов измененное состояние организма восстанавливается при более длительном, чем в первом случае, времени, а риск повреждения здоровья увеличивается.

Согласно специальной оценке условий труда для третьего класса вредности первого подкласса предусматриваются [39-42]:

- компенсационные выплаты;
- сокращение числа рабочих часов в неделю до 36;
- добавочные выплаты за негативные факторы в размере 4 % от оклада работника;
- возможность выхода на пенсию, ранее установленного федеральным законом N 350-ФЗ от 3 октября 2018 года возраста при условии, если контакт с опасным фактором составляет 80 % времени трудящегося, а стаж на месте более 12 лет;
- медицинские осмотры в соответствии с приказом Минздравсоцразвития России от 12.04.2011 N 302н (ред. от 18.05.2020);
- предоставление молока и/или молочной продукции;
- страхование жизни и здоровья в соответствии с Федеральным законом «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» от 24.07.1998;
- средства индивидуальной защиты (СИЗ): спецодежда, обувь, перчатки, респираторы, средства дезинфекции.

Поскольку первый подкласс третьего класса опасности относится к вредным, законодательством запрещено привлечение к труду несовершеннолетних лиц, беременных сотрудников и инвалидов I и II группы.

5.1.2 Организационные мероприятия при компоновке рабочей

зоны

Место проведения исследований должно соответствовать требованиям ГОСТ 12.2.032-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ 12.2.033-78 «Система стандартов безопасности труда. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования», так как часть работ проводится в положении сидя и стоя. В качестве примера рассмотрим работу на спектрофотометре и рН метре.

Конструкция рабочего места должна обеспечивать выполнение необходимых в работе операций в пределах зоны досягаемости моторного поля человека, а также учитывать его антропометрические данные, физиологические и психологические требования.

При работе с вольтамперметром и его элементами необходимо учитывать: рабочую позу оператора, размещение документации и материалов, необходимых для удовлетворительного выполнения операционных процедур.

Расположение кресла, пульта, органов управления и средств отображения информации должно соответствовать антропометрическими, психофизиологическими и биомеханическими показателям [43]. Органы управления, связанные с четкой последовательностью действий работника, должны быть единообразными и расположенными близко друг к другу, а функционал осуществляться слева направо и сверху вниз. Зоны зрительного наблюдения в вертикальной плоскости оператора, находящегося в рабочей позе, должны находиться в оптимальной зоне информационного поля под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и в горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости. Высота рабочей поверхности при организации рабочего места должна быть 655 мм, а сиденья около 420 мм.

При работе с оптическими приборами и его элементами необходимо учитывать: рабочую позу оператора, размещение документации и материалов, необходимых для удовлетворительного выполнения операционных процедур.

Конструкция, взаимное расположение элементов рабочего места должны соответствовать антропометрическим, физиологическим и

психологическим требованиям, а также характеру работы [44]. Рабочее место должно обеспечивать выполнение трудовых операций в пределах зоны досягаемости моторного поля. Организация рабочего места и конструкция оборудования должны обеспечивать прямое и свободное положение корпуса тела, работающего или наклон его вперед не более чем на 15° . Конструкцией производственного оборудования и организацией рабочего места должно быть обеспечено оптимальное положение работающего, которое достигается регулированием высоты рабочей поверхности. Высота рабочей поверхности при организации рабочего места должна быть 1025 мм, а средств отображения информации 1365 мм. Для обеспечения удобного, возможно близкого подхода к столу, станку или машине должно быть предусмотрено пространство для стоп размером не менее 150 мм по глубине, 150 мм по высоте и 530 мм по ширине. Очень часто используемые средства отображения информации, требующие точного и быстрого считывания показаний, следует располагать в вертикальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от нормальной линии взгляда и горизонтальной плоскости под углом $\pm 15^\circ$ от сагиттальной плоскости.

Помимо вышеперечисленных требований по организации рабочего места, должны быть предусмотрены необходимые средства защиты работника от воздействия вредных производственных факторов в соответствии с системой стандартов безопасности труда по ГОСТ 12.0.003-2015 «Опасные и вредные производственные факторы», а также условия для экстренной эвакуации сотрудника с рабочего места.

К самостоятельной работе допускаются работники не моложе 18 лет, прошедшие предварительный медицинский осмотр, вводный инструктаж по охране труда и пожарной безопасности, инструктаж по электробезопасности, первичный инструктаж на рабочем месте, обучение безопасным приемам и методам труда по основной профессии, стажировку под руководством опытного работника и проверку знаний требований охраны труда.

5.2 Производственная безопасность

Во время проведения научно-исследовательских работ работник может подвергаться воздействию комплекса неблагоприятных факторов, установленных в соответствии с ГОСТ 12.0.003-2015. К этим факторам относятся вредные и легковоспламеняющиеся вещества, психические перегрузки и др. Полный список опасных и вредных факторов с соответствующими нормативными документами приведен в таблице 1.

Таблица 5.1 – Опасные и вредные факторы

№	Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
1	Производственные факторы, связанные с аномальными микроклиматическими параметрами воздушной среды	СанПиН 2.2.4.548–96; ГОСТ 12.1.005-88
2	Повышенный уровень и другие неблагоприятные характеристики шума	ГОСТ 12.1.003-83
3	Производственные факторы, связанные с электрическим током	ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ; ГОСТ 12.1.038-82 ССБ
4	Производственные факторы химической природы действия	ГОСТ 12.1.007-76 ССБТ; ГОСТ 12.1.044-89

Такие факторы, как аномальные микроклиматические параметры, шум и электрический ток, создаются физическими свойствами и характеристиками состояния материальных объектов производственной среды, в то время как органические вещества и растворители разного класса опасности относятся к группе, порождаемой химическими и физико-химическими свойствами находящихся в рабочей зоне веществ и материалов. Рассмотрим более подробно каждый из них.

Микроклимат производственных лабораторий – это климат внутренней среды, которая определяется действующими на организм человека сочетаниями таких параметров, как температура, влажность, скорость движения воздуха, а также в некоторых случаях интенсивность теплового

излучения от нагреваемых поверхностей. Несоответствие этих факторов оптимальным микроклиматическим условиям в долговременной перспективе может привести к профессиональным заболеваниям.

Нормальная жизнедеятельность и высокая работоспособность человека являются возможно только при наличии баланса между производством тепла и его выделением в окружающую среду. Высокая влажность воздуха (более 70%) отрицательно влияет на теплообмен. Если температура воздуха высокая (более 30 °С), то повышенная влажность, затрудняющая испарение пота, приводит к перегреву. При низких температурах повышенная влажность воздуха способствует более сильному охлаждению. Очень сухой воздух также действует неблагоприятно. Поэтому оптимальная влажность находится в пределах 40–60% (таблица 2).

Таблица 5.2 – Оптимальные показатели микроклимата лаборатории

Период года	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	19-21	18-22	60-40	0,2
Теплый	20-22	19-23	60-40	0,2

Перепады температуры воздуха по высоте и по горизонтали при обеспечении оптимальных величин микроклимата на рабочих местах не должны превышать 2 °С и выходить за пределы величин, указанных в таблице 2.

Поскольку большинство машин и инструментов производят шум, рабочий, подвергающийся воздействию вибрации, одновременно подвергается и воздействию шума.

В соответствии с ГОСТ 12.1.003-83 допустимым уровнем шума на местах, где проводится высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, измерительных и аналитических работ, уровень звука

должен составлять не более 60 дБ. Для установления предельно допустимых шумовых характеристик машин в соответствии с допустимым уровнем шума на рабочем месте используют ГОСТ 12.1.023-80, в котором описаны методы, порядок внесения и контроль шумовых характеристик.

В учебной лаборатории эксплуатируется большое количество электрического оборудования, представляющие потенциальную опасность из-за возможности поражения электрическим током, пожаров. Электробезопасность должна обеспечиваться выполнением мероприятий по соблюдению безопасного расстояния до токоведущих частей, их изоляции, по применению блокировки аппаратов, ограждающих устройств и предупреждающей сигнализации (включая надписи и плакаты).

К защитным средствам, используемым в лаборатории при работе с электрооборудованием напряжением до 1000 В, согласно ГОСТ 12.1.019-2017 относятся [47]:

1. устройства защитного заземления и зануления;
2. устройства защитного отключения;
3. защитные оболочки, ограждения и барьеры;
4. предупредительная световая, звуковая сигнализации, блокировки безопасности, знаки безопасности;
5. основные изолирующие средства: диэлектрические перчатки; инструменты с изолированными рукоятками; указатели напряжения.
6. дополнительные изолирующие средства: диэлектрические резиновые ковры; изолирующие подставки.

Работа в лаборатории подразумевает частый контакт с токсичными и легковоспламеняющимися химическими реактивами разных классов опасности, значения предельно допустимых концентраций в воздухе рабочей зоны (ПДКр.з) которых регламентируются определяются по ГН 2.2.5.3532–18 и ГОСТ 32419-2013. Список используемых в научно-исследовательской работе веществ приведен в таблице 3.

Таблица 5.3 – Перечень вредных и легковоспламеняющиеся веществ

Вещество	Характеристика	Класс опасности	ПДКр.з мг/м ³	Влияние на организм
Карбарил	Белое кристаллическое вещество	2	0,05	Определяющую роль в токсикодинамике играет нарушение функции нервной системы, обмена нуклеиновых кислот, угнетение окислительных процессов, поражение желез внутренней секреции, печени и других паренхиматозных органов.
Оксид графена	Черное порошкообразное вещество	2	0,1	Вещество может спонтанно воспламениться при контакте с воздухом. При сгорании образует угарный газ при недостаточной вентиляции.

Для снижения рисков, связанных с вредными и легковоспламеняющимися химическими веществами, лаборатория должна быть снабжена приточно-вытяжной вентиляцией и вытяжным шкафом для защиты органов дыхания и зрения. Помимо этого, необходимо обеспечить каждого работника средствами индивидуальной защиты (противогазы, респираторы, ватно-марлевые повязки).

5.3 Экологическая безопасность

Лаборатории при несоблюдении норм и правил по утилизации производственных отходов способны оказывать сильное негативное влияние на состояние литосферы и гидросферы, поскольку большой ряд отходов устойчив к естественному разрушению и способен изменять свою активность с образованием физико-химических трансформантов, представляющих потенциальную опасность для живых организмов и человека.

Органические растворители, используемые во многих лабораторных процессах, могут попадать в поверхностные и грунтовые воды в результате

неправильной утилизации. Хотя растворители органической природы обычно относительно быстро улетучиваются и разлагаются в поверхностных водах, но в зависимости от климатических условия они способны сохраняться повышенный уровень концентрации [45]. Оценку оказываемого влияния проводят в соответствии с ГОСТ 17.1.3.06-82 и ГОСТ 17.1.3.13-86.

Для предотвращения загрязнения водных систем органическими отходами необходимо осуществлять их сбор в соответствующие сосуды из темного инертного стекла с обязательной подписью компонентов, содержащихся в сливе, или, в случае твердых отходов, в герметично закрытые контейнеры и мешки черного цвета с указанием класса опасности и описанием содержимого. Емкости хранят в специальном здании или изолированном помещении с отдельным входом. Они должны соответствовать всем требованиям санитарно-пожарных норм. При вывозе больших объемов составляют паспорт и оформляют номенклатурный список, а после утилизации – предоставляют соответствующий акт.

При проведении опытно-исследовательских работ в лаборатории образуется большое количество пластиковых отходов, за счет использования большого количества расходного материала: пробирки, планшеты, наконечники для пипеток и многое другое. Пластик вызывает загрязнение земли, за счет медленного выброса токсичных химических веществ в почву и воду. Полихлорированные бифенилы, обнаруженные в пластмассах, угрожают воздуху и естественной растительности, а также всем видам жизни, подверженным воздействию почвы. Оптимальным решением данной проблемы является сортировка разных видов пластика, используемого в лаборатории, и его дальнейшая переработка.

5.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Несчастные случаи или чрезвычайные ситуации могут возникнуть в результате несоблюдения правил техники безопасности персоналом лаборатории, а также вследствие внешних антропогенных и неантропогенных факторов [46], к которым относятся: пожары и взрывы; внезапное обрушение зданий; землетрясения; метеорологические и агрометеорологические явления.

Для химической лаборатории самыми распространенными являются проливы и выбросы опасных химических веществ. Работы по ликвидации разливов следует проводить в средствах индивидуальной защиты (СИЗ), таких как фартук прорезиненный, очки защитные, кислотно-щелочные перчатки, маска полнолицевая, специальная обувь.

Если пролита концентрированная кислота/щелочь, то необходимо засыпать место пролива сорбентом, или сорбирующим материалом (впитывающие салфетки, рулоны, боны, подушки), затем удалить пропитанный сорбент пластиковым совком и смёткой, после чего промыть место пролива большим количеством воды, промыть перчатки под струей проточной воды, просушить. При ликвидации разливов неизвестного объема, последовательно засыпать участок разлива слоем сорбента не менее 5-7 см превышающим уровень жидкости. Время контакта сорбента с концентрированной кислотой/щелочью должно быть не менее 1 часа. Отработанный сорбент следует собрать, закрыть плотной крышкой и вынести в ближайшее место накопления отходов. После необходимо промыть место пролива водой и вытереть насухо склизями.

При проливе ЛВЖ и горючих жидкостей (ГЖ) необходимо немедленно обесточить все приборы и принять меры, обеспечивающие индивидуальную защиту. Место пролива ЛВЖ и ГЖ следует засыпать сорбентом или промыть водой. При ликвидации разливов необходимо действовать так же, как и в случае пролива кислот/щелочей.

При обнаружении первых признаков пожара (запах дыма, отблески пламени, искры) работник по возможности должен принять меры по тушению пожара в начальной стадии первичными средствами пожаротушения с соблюдением мер предосторожности.

По пожарной и взрывопожарной опасности помещение лаборатории относится к категории В1–В4 (пожароопасность), поскольку в данном помещении находятся горючие и трудногорючие вещества и материалы (древесина, фанера, картон, бумага, пластмассы и так далее). Ввиду наличия данных веществ и материалов пожароопасные зоны относятся к классу П-Па и требуют применения пожарозащищенного электрооборудования согласно ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» [48].

Для возможных чрезвычайных ситуаций не антропогенного характера, обусловленных географическим расположением региона нахождения фармацевтического предприятия, предусматривается определенная защита сооружения и разработка план эвакуации.

Таким образом, в разделе были рассмотрены правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности при выполнении работ в учебной лаборатории, выявлены вредные и опасные факторы, такие как шум, ЛВЖ и ядовитые вещества. Помимо этого, описаны возможные неблагоприятные воздействия на окружающую среду отходов при проведении научно-исследовательской работы и способы минимизации их воздействия. Также был проведен анализ возможных чрезвычайных ситуаций и план мероприятий для их ликвидации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, на результате выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1) Из восстановленного лазером оксида графена (LRGO) были получены электроды с различными характеристиками и изучены их электрохимические свойства;

2) Электроды из восстановленного лазером оксида графена были охарактеризованы методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ);

3) Были выбраны рабочие условия для вольтамперометрического определения карбарила в модельных растворах;

4) Было проведено определение карбарила в свежих фруктовых соках разработанным вольтамперометрическим методом. Сетчатый электрод rGO может использоваться для обнаружения карбарила во фруктовых соках в линейном диапазоне концентраций от 0,25 до 128 мг/л; предел обнаружения составил 0,1 мг/л.

В дальнейшем методика может быть использована для определения количества карбарила в сельскохозяйственной продукции, а также для дальнейшего изучения свойств графена и его производных в качестве электрохимических датчиков и в целом для изучения вольтамперометрических методов определения химических веществ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чиликина М. И. Применение химических веществ для регулирования плодоношения яблони / М. И. Чиликина – Москва: Колос, 1965. – 135 с.
2. ГОСТ 12.1.007-76 Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности: дата введения 1977-01-01. – URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/1048/> (дата обращения: 4.05.2023). – Текст: электронный.
3. Sahu D. et al. Graphene, Graphene-Derivatives and Composites: Fundamentals, Synthesis Approaches to Applications //Journal of Composites Science. – 2021. – Vol. 5, № 7. – P. 181.
4. Нобелевская премия по физике — 2010 [Электронный ресурс] – Режим доступа:
https://elementy.ru/novosti_nauki/431427/Nobelevskaya_premiya_po_fizike_2010, свободный. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 3.05.2023)
5. Bharech S., Kumar R. A Review on the Properties and Applications of Graphene// Journal of Material Science and Mechanical Engineering. – 2015. – Vol. 2, № 10. – P. 70-73.
6. Magne T.M., de Oliveira Vieira, T., Alencar L.M.R. et al. Graphene and its derivatives: understanding the main chemical and medicinal chemistry roles for biomedical applications // J Nanostruct Chem. – 2022. – Vol. 12. – P. 693-727. – DOI: 10.1007/s40097-021-00444-3
7. Методы получения графена [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://www.rusgraphene.ru/metodyi-polucheniya-grafena>, свободный. – Заглавие с экрана. – (Дата обращения 4.05.2023)
8. Liu J, Bao S, Wang X. Applications of Graphene-Based Materials in Sensors: A Review. //Micromachines (Basel). – 2022. – Vol. 13, № 2. – P. 184. – DOI: 10.3390/mi13020184

9. Xiao H., Zhiyuan Z., Zhanxi F. et al Graphene-Based Electrodes //Advanced Materials. – 2012. – Vol. 24, № 45. – P. 5979-6004. – DOI: 10.1002/adma.201201587
10. Wu S., He Q., Tan C., Wang Y., Zhang H. Graphene-based electrochemical sensors //Small. – 2013. – Vol. 9, № 8. – P. 1160-1172. – DOI: 10.1002/smll.201202896
11. Coroş M. et al. Review—Recent Progress in the Graphene-Based Electrochemical Sensors and Biosensors //Journal of The Electrochemical Society. – 2020. – Vol. 167, № 3. – DOI: 10.1149/2.0282003JES
12. Razaq A. et al. Review on Graphene-, Graphene Oxide-, Reduced Graphene Oxide-Based Flexible Composites: From Fabrication to Applications // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 3. – P. 1012. – DOI: 10.3390/ma15031012
13. Zhu Y. et al. Carbon-based supercapacitors produced by activation of graphene // Science. – 2011. – Vol. 332, № 6037. – P. 1537-1541. – DOI: 10.1126/science.1200770
14. Chung K. et al. Transferable GaN layers grown on ZnO-coated graphene layers for optoelectronic devices // Science. – 2010. – Vol. 330, № 6004. – P. 655-657. – DOI: 10.1126/science.1195403
15. Kim R. H. et al. Stretchable, transparent graphene interconnects for arrays of microscale inorganic light emitting diodes on rubber substrates // Nano letters. – 2011. – Vol. 11, № 9. – P. 3881-3886. – DOI: 10.1021/nl202000u
16. Han T. H. et al. Extremely efficient flexible organic light-emitting diodes with modified graphene anode // Nature Photonics. – 2012. – Vol 6, № 2. – P. 105-110. – DOI: 10.1038/nphoton.2011.318
17. Chong-an D. et al. Patterned Graphene as Source/Drain Electrodes for Bottom-Contact Organic Field-Effect Transistors // Advanced Materials. – 2008. – Vol. 20, № 17. – P. 3289-3293. – DOI: 10.1002/adma.200800150
18. Hong S. W. et al. Monolithic Integration of Arrays of SingleWalled Carbon Nanotubes and Sheets of Graphene // Advanced Materials. – 2011. – Vol. 23, № 33. – P. 3821 -3826. – DOI: 10.1002/adma.201101955

19. Winter M. et al. Insertion Electrode Materials for Rechargeable Lithium Batteries // *Advanced Materials*. – 1998. – Vol. 10, № 10. – P. 725-763. – DOI: 10.1002/(SICI)1521-4095(199807)10:10<725::AID-ADMA725>3.0.CO;2-Z
20. EunJoo Y. et al. Large Reversible Li Storage of Graphene Nanosheet Families for Use in Rechargeable Lithium Ion Batteries // *Nano Letters*. – 2008. – Vol. 8, № 8. – P. 2277-2282. – DOI: 10.1021/nl800957b
21. Jing A. et al. Three-Dimensional Au/Holey-Graphene as Efficient Electrochemical Interface for Simultaneous Determination of Ascorbic Acid, Dopamine and Uric Acid // *Micromachines*. – 2019. – Vol. 10., № 2. – P. 84. – DOI: 10.3390/mi10020084
22. Shuaihui L. et al. Electrochemical sensor based on a three dimensional nanostructured MoS₂ nanosphere-PANI/reduced graphene oxide composite for simultaneous detection of ascorbic acid, dopamine, and uric acid // *RSC Advances (RSC Publishing)*. – 2019. – Vol. 9, № 6. – P. 2997-3003. – DOI: 10.1039/C8RA09511F
23. Xiaofang N. A et al. A “turn-on” fluorescence sensor for Pb²⁺ detection based on graphene quantum dots and gold nanoparticles // *Sensors and Actuators B: Chemical*. – 2018. – Vol. 255, № 2. – P. 1577-1581. – DOI: 10.1016/j.snb.2017.08.167
24. Priya T. et al. Ultra sensitive detection of Cd (II) using reduced graphene oxide/carboxymethyl cellulose/glutathione modified electrode // *Carbohydrate Polymers*. – 2018. – Vol. 197. – P. 366-374. – DOI: 10.1016/j.carbpol.2018.06.024
25. Oliveira T.M.B.F. et al. Current overview and perspectives on carbon-based (bio)sensors for carbamate pesticides electroanalysis // *Trends in Analytical Chemistry*. – 2020. – Vol. 124. – P. 115779. – DOI: 10.1016/j.trac.2019.115779.
26. Noyrod P. et al. The simultaneous determination of isoproturon and carbendazim pesticides by single drop analysis using a graphene-based

- electrochemical sensor // *Journal of Electroanalytical Chemistry*. – 2014. – Vol. 719. – P. 54–59. – DOI:10.1016/j.jelechem.2014.02.001.
27. Rahmani T. et al. Modified 3D graphene-Au as a novel sensing layer for direct and sensitive electrochemical determination of carbaryl pesticide in fruit, vegetable, and water samples // *Food Analytical Methods*. – 2018. – Vol. 11. – 3005–3014. – DOI:10.1007/s12161-018-1280-4.
28. Chekol F. et al. Roll-to-Roll printed PEDOT/PSS/GO plastic film for electrochemical determination of carbofuran // *Electroanalysis*. – 2019. – Vol. 31, № 6. – P. 1104–1111. – DOI:10.1002/elan.201800883.
29. Akkarachanchainon N. et al. Hydrophilic graphene surface prepared by electrochemically reduced micellar graphene oxide as a platform for electrochemical sensor // *Talanta*. – 2017. – Vol. 165. – P. 692–701. DOI: 10.1016/j.talanta.2016.12.092.
30. Hashemi P. et al. Reduced graphene oxide decorated on Cu/CuO-Ag nanocomposite as a high-performance material for the construction of a non-enzymatic sensor: Application to the determination of carbaryl and fenamiphos pesticides // *Materials Science and Engineering: C*. – 2019. – Vol. 102. – P. 764–772. – DOI: 10.1016/j.msec.2019.05.010.
31. Al-Gaashani R. et al. XPS and structural studies of high quality graphene oxide and reduced graphene oxide prepared by different chemical oxidation methods // *Ceramics International*. – 2019. – Vol. 45, № 11. – P. 14439-14448. – ISSN 0272-8842. – DOI: 10.1016/j.ceramint.2019.04.165.
32. Dobrota A.S. et al. A general view on the reactivity of the oxygen-functionalized graphene basal plane // *Physical Chemistry Chemical Physics*. – 2016. – Vol. 18. – P. 6580–6586. – DOI: 10.1039/C5CP07612A
33. Compton R.G. *Understanding Voltammetry* 3rd ed./ R.G Compton, C.E. Banks. – London, UK: WSPC, 2018. – 456 c
34. Moraes F.C. et al. Direct electrochemical determination of carbaryl using a multi-walled carbon nanotube/cobalt phthalocyanine modified electrode //

- Talanta. – 2009. – Vol. 79, № 5. – P. 1406–1411. – DOI: 10.1016/j.talanta.2009.06.013
35. Maliyekkal S.M. et al Graphene: A reusable substrate for unprecedented adsorption of pesticides // Small. – 2013. – Vol. 9, № 2. – P. 273–283. – DOI: 10.1002/smll.201201125
36. Zhang, C. et al. Development of fluorescence sensing material based on CdSe/ZnS quantum dots and molecularly imprinted polymer for the detection of carbaryl in rice and Chinese cabbage // Journal of Agricultural and Food Chemistry. – 2015. – Vol. 63, № 20. – P. 4966–4972. – DOI: 10.1021/acs.jafc.5b01072
37. Della Pelle F. et al. Nano carbon black-based screen printed sensor for carbofuran, isoprocarb, carbaryl and fenobucarb detection: Application to grain samples // Talanta. – 2018. – Vol. 186. – P. 389–396. – DOI: 10.1016/j.talanta.2018.04.082
38. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 N 197-ФЗ (редакция от 25.02.2022)
39. Майстренко Г. А., Майстренко А. Г. Источники правового регулирования защиты персональных данных работника в России //Legal Bulletin. – 2020. – Т. 5. – №. 1. – С. 24-29.
40. Постановление Правительства РФ от 19.06.2012 N 608 «Об утверждении Положения о Министерстве здравоохранения Российской Федерации»
41. Приказ Минтруда России от 10.12.2018 N 778н «Об утверждении Типовых норм бесплатной выдачи специальной одежды, специальной обуви и других средств индивидуальной защиты работникам организаций легкой промышленности, занятым на работах с вредными и (или) опасными условиями труда, а также на работах, выполняемых в особых температурных условиях или связанных с загрязнением»
42. Федеральный закон "О специальной оценке условий труда" от 28.12.2013 N 426-ФЗ

43. ГОСТ 22269-76 Система "Человек-машина". Рабочее место оператора. Взаимное расположение элементов рабочего места. Общие эргономические требования.
44. ГОСТ 12.2.033-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ стоя. Общие эргономические требования.
45. Echols K. R., Meadows J. C., Orazio C. E. Pollution of aquatic ecosystems II: hydrocarbons, synthetic organics, radionuclides, heavy metals, acids, and thermal pollution. – 2009. – С. 120-128.
46. Федеральный закон от 21 декабря 1994 г. № 68-ФЗ. О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера.
47. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты (с Поправкой) - М.: Стандартинформ, 2019 г.
48. Федеральный закон «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» (с изменениями на 14 июля 2022 года) (редакция, действующая с 1 марта 2023 года) // Российская газета, N 163, 01.08.2008.