

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

---

Физико-технический институт  
Направление подготовки - физика  
Кафедра общей физики

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

Тема работы
<b>Деградационные изменения в Газовых Электронных Умножителях под воздействием плотных потоков рентгеновского излучения</b>

УДК 621.385.83:539.1.074:537.531

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Завазиева Дарина Тимуровна		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Науч.сотрудник СЕА Saclay (г. Париж, Франция)	Титов Максим Петрович	PhD, почетный профессор ТПУ		

**КОНСУЛЬТАНТЫ:**

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

**ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:**

Зав. кафедрой	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Зав. кафедрой общей физики	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Томск – 2017 г.

## Запланированные результаты обучения

Код результата	Результат обучения (компетенции выпускника)	Требования ФГОС, критериев и/или заинтересованных сторон
<i>Общекультурные (универсальные) компетенции</i>		
P1	Способен самостоятельно приобретать новые знания, использовать современные образовательные и информационные технологии, совершенствовать и развивать свой профессиональный уровень, поддерживать здоровый образ жизни	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-2, ОК-7, ОК-8, ОК-11, ОК-19) [2], Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P2	Способен к поиску, обработке и интерпретации с использованием современных информационных технологий данных, необходимых для формирования суждений по соответствующим социальным, научным и этическим проблемам как в коллективе, так и индивидуально (на родном и иностранном языке)	Требования ФГОС (ОК-3, ОК-4, ОК-8, ОК-14, ОК-15, ПК-10, ПК-12, ПК-13, ), Критерий 5 АИОР (пп. 2.1, 2.2, 2.3), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P3	Способен критически переосмысливать свой накопленный социальный и профессиональный опыт, изменять при необходимости профиль своей профессиональной деятельности, следовать этическим и правовым нормам и нести ответственность за последствия своей инженерной деятельности	Требования ФГОС (ОК-5, ОК-6, ОК-7, ОК-9, ОК-10, ПК-5, ПК-18), Критерий 5 АИОР (пп. 2.4, 2.5), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
<i>Профессиональные компетенции</i>		
P4	Способен к овладению и применению базовых знаний в области естественных наук и математики для решения профессиональных задач, к усвоению основных педагогических моделей, форм и приемов педагогического воздействия на личность; закономерностей педагогического мастерства	Требования ФГОС (ОК-1, ОК-9, ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-10), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P5	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, экспериментальные методы исследования конденсированного состояния вещества, методы анализа поверхности твердых тел и тонких пленок	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P6	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, современную электронику в электрофизических и плазменных установках, а также учесть взаимодействие излучения и плазмы с веществом, современные достижения водородной энергетики и плазменных технологий	Требования ФГОС (ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P7	Способен применить в проектах по тематике, заданной заинтересованными организациями, базовые естественнонаучные и математические знания при получении и исследовании наноматериалов	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-14) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P8	Способен понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, к применению на практике полученных знаний при обработке, анализе и синтезе полученных физических данных в соответствии с профилем профессиональной деятельности	Требования ФГОС (ОК-12, ОК-16, ОК-21, ПК-1, ПК-2, , ПК-5, ПК-6, ПК-7), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

P9	Способен понимать и использовать на практике теоретические основы планирования и организации физических исследований, представлять результаты и применять на практике методы управления в сфере природопользования	Требования ФГОС (ОК-12, ПК-3, ПК-4, ПК-6, ПК-7, ПК-8, ПК-9, ПК-14) , Критерий 5 АИОР (п. 1.1, 1.4, 2.2, 2.6), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>
P10	Способен формировать суждения о значении и последствиях своей профессиональной деятельности с учетом социальных, правовых, этических и природоохранных аспектов, при необходимости применить ресурсо- и энергосберегающие технологии	Требования ФГОС ( <i>ОК-10, ОК-11, ПК-1, ПК-2, ПК-7, ПК-9</i> ), Критерий 5 АИОР (п. 1.1), согласованный с требованиями международных стандартов <i>EUR-ACE</i> и <i>FEANI</i>

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

---

Физико-Технический институт  
Направление подготовки - Физика  
Кафедра Общей физики

УТВЕРЖДАЮ:  
Зав. кафедрой

\_\_\_\_\_  
(Подпись)    (Дата)    (Ф.И.О.)

**ЗАДАНИЕ**  
**на выполнение выпускной квалификационной работы**

В форме:

Бакалаврской работы
---------------------

(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группы	ФИО
ОБ31	Завазиевой Дарине Тимуровне

Тема работы:

Деградационные изменения в Газовых Электронных Умножителях под воздействием плотных потоков рентгеновского излучения
Утверждена приказом директора (дата, номер)

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
------------------------------------------	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	Рассмотреть характеристики прототипа детектора на основе Газовых Электронных Умножителей, подверженных воздействию плотных потоков рентгеновского в газовой среде инертного газа в смеси с газом-«гасителем»
<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Обзор литературных источников;</li><li>- Сборка трехкаскадного прототипа детектора заряженных частиц на основе ГЭУ;</li><li>- Подготовка системы, включая аппаратное и программное обеспечение, для проведения ряда продолжительных, систематических измерений; характеристик детектора;</li><li>- Сбор данных по измерениям характеристик детектора;</li></ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Анализ полученных данных;</li> <li>- Оценка эффективности финансового менеджмента, ресурсоэффективности и ресурсосбережения;</li> <li>- Оценка социальной ответственности;</li> <li>- Заключение по проделанной работе.</li> </ul>
--	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы:**

Раздел	Консультант
Социальная ответственность	Федорчук Юрий Митрофанович, профессор ЭБЖ ИНК
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Меньшикова Екатерина Валентиновна, доцент МЕН ИСГТ
Иностранный язык	Кабрышева Оксана Павловна, старший преподаватель ИЯ ФТИ

**Названия разделов, которые должны быть написаны на иностранном языке:**

Глава 1. Введение
Глава 2. Измерения по старению ГЭУ под воздействием рентгеновского излучения
Глава 3. Результаты измерений по старению ГЭУ
Глава 4. Заключение

<b>Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал руководитель:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник CEA Saclay	Титов Максим Петрович	PhD, почетный профессор ТПУ		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группы	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Завазиева Дарина Тимуровна		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА  
«ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И  
РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»**

Студенту:

<b>Группы</b>	<b>ФИО</b>
ОБ31	Завазиевой Дарине Тимуровне

<b>Институт</b>	<b>Физико-технический</b>	<b>Кафедра</b>	<b>Общей физики</b>
<b>Уровень образования</b>	<b>Бакалавр</b>	<b>Направление/специальность</b>	<b>03.03.02 Физика</b>

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>Амортизационные отчисления – 34407 руб., затраты на научные и производственные командировки – 64388 руб., контрагентские расходы – 1700 руб.</i>
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>Нормы амортизации – от 10 до 33%, затраты на научные и производственные командировки с учетом тарифов транспортных компаний, контрагентские расходы в соответствии с прайсом типовых услуг ТРЦКП</i>

**Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:**

1. <i>Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>Потенциальные потребители результатов исследования. Выполнение SWOT и FAST-анализа проекта.</i>
2. <i>Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>Составление календарного плана проекта. Определение бюджета НИИ</i>
3. <i>Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования</i>	<i>Проведение оценки ресурсной и финансовой эффективности исследования.</i>

**Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):**

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Функционально-стоимостная зависимость</i></li> <li>2. <i>Матрица SWOT</i></li> <li>3. <i>График проведения и бюджет НИ</i></li> <li>4. <i>Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ</i></li> </ol>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	
-------------------------------------------------------------	--

**Задание выдал консультант:**

<b>Должность</b>	<b>ФИО</b>	<b>Ученая степень, звание</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	Кандидат философских наук		

**Задание принял к исполнению студент:**

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>	<b>Подпись</b>	<b>Дата</b>
ОБ31	Завазиева Дарина Тимуровна		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группы	ФИО
ОБЗ1	Завазиевой Дарине Тимуровне

Институт	Физико-технический	Кафедра	Общей физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	03.03.02 Физика

### Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

<p>1. <i>Описание рабочего места (рабочей зоны, технологического процесса, механического оборудования) на предмет возникновения:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– вредных проявлений факторов производственной среды (метеоусловия, вредные вещества, освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)</li> <li>– чрезвычайных ситуаций (техногенного, стихийного, экологического и социального характера)</li> </ul>	<p>При выполнении работ по анализу данных для выявления деградационных изменений характеристик Газовых электронных умножителей на исполнителей возможны вредные проявления следующих факторов:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Освещение;</li> <li>- Шум;</li> <li>- Микроклимат;</li> <li>- Психофизические факторы</li> </ul> <p>Возможно возникновение ЧС техногенного и экологического характера</p>
<p>2. <i>Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме</i></p>	<p>По данной теме рассматриваются следующие документы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- инструкция № 2-08 по охране труда при работе с ПЭВМ и ВДТ;</li> <li>- СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организация работы;</li> <li>- ГОСТ Р 50948-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Общие эргономические требования и требования безопасности;</li> <li>- ГОСТ Р 50949-01. Средства отображения информации индивидуального пользования. Методы измерений и оценки эргономических параметров и параметров безопасности;</li> <li>- ГОСТ Р 50923-96. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.</li> <li>- ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные помещения. Параметры микроклимата в помещении;</li> </ul>

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ГОСТ 12.1.005 Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны;</li> <li>- СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений</li> </ul>
<b>Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:</b>	
<p>1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физико-химическая природа вредности, её связь с разрабатываемой темой;</li> <li>- действие фактора на организм человека;</li> <li>- приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);</li> <li>- предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)</li> </ul>	<p>1. Характеристика факторов изучаемой рабочей среды, описывающих процесс взаимодействия человека с окружающей производственной средой:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Воздействие микроклиматических условий на организм человека;</li> <li>- Воздействие электромагнитного поля на организм человека;</li> <li>- Психофизические факторы</li> </ul>
<p>2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- механические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- термические опасности (источники, средства защиты);</li> <li>- электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, молниезащита – источники, средства защиты);</li> <li>- пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, первичные средства пожаротушения)</li> </ul>	<p>2. Анализ опасных факторов проектируемой производственной среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- электробезопасность (непосредственное питание аппаратуры; средства защиты, предусмотренные конструкцией, соблюдение правил и инструкций по электробезопасности при работе);</li> <li>- пожарная безопасность (соблюдение правил безопасности и профилактические инструктирующие мероприятия).</li> </ul>
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- защита селитебной зоны</li> <li>- анализ воздействия объекта на атмосферу (выбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на гидросферу (сбросы);</li> <li>- анализ воздействия объекта на литосферу (отходы);</li> <li>- разработать решения по обеспечению экологической безопасности со ссылками на НТД по охране окружающей среды.</li> </ul>	<p>3. Факторы рабочего места, влияющие на окружающую среду:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Утилизация люминесцентных ламп;</li> <li>- Переработка бытового мусора.</li> </ul>
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- перечень возможных ЧС на объекте;</li> <li>- выбор наиболее типичной ЧС;</li> <li>- разработка превентивных мер по предупреждению ЧС;</li> <li>- разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС;</li> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий</li> </ul>	<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий.</li> </ul>
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> </ul>	<p>5. Правовые вопросы обеспечения безопасности</p>

– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны	
<b>Перечень графического материала:</b>	
При необходимости представить эскизные графические материалы к расчётному заданию (обязательно для специалистов и магистров)	1.Схема расположения рабочих мест; 2. План размещения светильников на потолке рабочего помещения.

<b>Дата выдачи задания для раздела по линейному графику</b>	10.03.2017
-------------------------------------------------------------	------------

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	д.т.н.		

**Задание принял к исполнению студент:**

Группы	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Завазиева Дарина Тимуровна		

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 80 страниц, 27 рисунков, 20 таблиц, 35 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: Газовый Электронный Умножитель, ГЭУ, полиимид, Gaseous Electron multiplier, GEM, Kapton etching, GEM ageing, старение ГЭУ, травление полиимида.

Объектом исследования являются пленки Газовых Электронных Умножителей, которые являясь пропорциональными счетчиками, применяются в детектирующих системах в области физики высоких энергий.

Цель работы – установление механизмов старения детекторов на основе ГЭУ в ходе травления полиимидной пленки под воздействием плотных потоков рентгеновского излучения.

В процессе исследования проводились продолжительные систематические измерения характеристик трехкаскадного прототипа детектора на основе ГЭУ, в число которых входят: величина анодного тока, положение пика амплитудного распределения сигнала, энергетическое разрешение и коэффициент усиления.

В результате исследования были выявлены основные закономерности деградации ГЭУ, которые наблюдались в зависимости от параметров эксплуатации: интенсивностей излучения, газовой среды и ее чистоты (содержания влаги и воздуха).

Результаты проведенной работы и приведенная методика измерений могут быть использованы для планирования дальнейших исследований по старению детектирующих систем на экспериментах ALICE, COMPASS, CMS на Большом Адронном Коллайдере в Европейской Организации по ядерным исследованиям (CERN), а также на других установках, использующих детекторы на основе ГЭУ.

## **Определения, обозначения, сокращения и нормативные ссылки**

ГЭУ – Газовый Электронный Умножитель

GEM – Gas Electron Multiplier

MPGD – Micro-Pattern Gaseous Detectors

SWPC – Single-Wire Proportional Counter

MWPC – Multi-Wire Proportional Counter

MSGC – Micro-Strip Gas Counter

Каптон – Polyimide material developed by DuPont

Apical - Polyimide material developed by Kaneka

ALICE - A Large Ion Collider Experiment

LHC – Large Hadron Collider

TPC – Time Projection Chamber

SEM – Scanning Electron Microscopy

FIB – Focused Ion Beam

## Оглавление

Chapter 1. Introduction.....	14
1.1. Brief history of gaseous detectors.....	14
1.2. Gaseous Electron Multiplier (GEM).....	16
1.3. GEM application.....	17
1.4. Ageing processes in MPGDs.....	18
1.4.1. Ageing mechanisms in wire chambers.....	19
1.4.2. Ageing mechanisms in GEM detectors.....	20
Chapter 2. Ageing measurements due to the polyimide etching under Cu X-Ray irradiation.....	21
2.1. Experimental setup.....	21
2.2. Gas quencher.....	23
2.3. Gain definition.....	23
2.4. Charging-up effects.....	25
Chapter 3. Results on the ageing measurements.....	27
3.1. Results in ArCO <sub>2</sub> mixture.....	27
3.1.1. Results on the rate dependence.....	27
3.1.2. Results on the CO <sub>2</sub> concentration dependence.....	28
3.1.3. Results on the humidity level dependence.....	30
3.2. Results in ArCH <sub>4</sub> mixture.....	33
3.3. Some additional results.....	35
3.3.1. Rate scan during the irradiation.....	35
3.3.2. Change of the energy resolution.....	36
3.3.3. Change of the oxygen concentration during the rate scan.....	36
Chapter 4. Conclusion and outlook.....	38
Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
5.1. Потенциальные потребители результатов исследования.....	40
5.2 FAST-анализ.....	40
5.3 SWOT-анализ.....	42
5.4 Структура работ в рамках исследования.....	43

5.5	Планирование управления научно-техническим проектом .....	44
5.6	Бюджет научно-технического исследования .....	47
5.6.1	<i>Расчет материальных затрат</i> .....	48
5.6.2	<i>Расчет затрат на специальное оборудование</i> .....	48
5.6.3	<i>Основная и дополнительная заработная плата исполнителей работы</i> .....	49
5.6.4	<i>Расчет затрат на научные командировки</i> .....	51
5.6.5	<i>Контрагентские расходы</i> .....	51
5.6.6	<i>Формирование бюджета затрат</i> .....	52
5.7.	Определение ресурсной эффективности исследования .....	52
5.8.	Выводы .....	54
Глава 6.	Социальная ответственность .....	55
6.1	Техногенная безопасность .....	56
6.1.1	<i>Освещение</i> .....	57
6.1.2	<i>Шум</i> .....	61
6.1.3.	<i>Микроклимат</i> .....	63
6.1.4.	<i>Электромагнитное поле</i> .....	65
6.1.5.	<i>Психофизические факторы</i> .....	66
6.2.	Электробезопасность .....	67
6.3.	Чрезвычайные ситуации .....	68
6.3.1.	<i>Предупреждение чрезвычайных ситуаций</i> .....	69
6.3.2.	<i>Пожарная безопасность</i> .....	69
6.3.3	<i>Природная ЧС</i> .....	70
6.4.	Охрана окружающей среды .....	71
6.5.	Выводы .....	71
	Список литературы .....	73
	Приложение А .....	77
	Приложение Б .....	78
	Приложение В .....	79

## **Chapter 1. Introduction.**

This chapter starts with introducing to gaseous detectors and their development. Then we will focus on the Gas Electron Multiplier considered as a member of the micro-pattern gaseous detectors family. Its applications and the problems associated to the ageing processes will be also touched.

### **1.1. Brief history of gaseous detectors**

The capability of gaseous avalanche detectors to register single electrons or photons, i.e. the smallest amount of charge or light, makes them important in high energy physics.

History of gaseous detectors starts from the ionization chambers that at the beginning were able to measure only the current produced by ionizing particles inside the volume of the detector. The first typical ionization chambers existed at the end of 19<sup>th</sup> and beginning of 20<sup>th</sup> centuries consisted of two electrodes, cathode and anode, arranged either in the form of parallel plates or coaxial cylinders [1]. The measuring current was generated when the gas between the electrodes was ionized by radiation. The potential difference applied between the electrodes ensured that the ionization current is fully collected and the current reaches a saturated value. But the sensitivity of this detector was quite low because of the limitation of the electrometer circuit used.

Then avalanche multiplication processes described by John Townsend in the early 1900s allowed to move from simple ionization chambers to avalanche detectors. In a strong enough electric field free accelerated electrons can produce secondary electrons by collisions with gas atoms and molecules. So, the secondary electrons are in turn also accelerated and collide with gas atoms and molecules releasing even more electrons. In such a way, an avalanche of electrons can be produced by a single primary electron and collected on the anode [2].

The first avalanche gaseous detectors consisted of cylindrical cathode and thin anode wire in the center. A narrow region of strong electric field was created around the wire and electron avalanches developed in this region of a few wire diameters

(Rutherford, 1908). But those detectors were not position sensitive. Later some advanced designs of single-wire proportional counters (SWPC) [3] were capable to determine where along the wire the primary electron was liberated. The position resolution reached better than 1mm.

The next step was the multi-wire proportional counter (MWPC) invented by George Charpak in 1967-68 (Nobel Prize in Physics in 1992 for this invention) [4,5]. It is based on the principles of a SWPC. But it has an anode plane made of many parallel wires with a pitch of 2-3mm located between two metallic cathode electrodes. Later, the cathodes were also replaced with wires or strips. Operating MWPC in avalanche mode signals could be recorded on either anode and cathode allowing to determine the 2D coordinate of the avalanche. Many important discoveries were made with MWPC because of its capability to determine not only the position of primary electrons, but also to measure with some statistical accuracy their number, which can give an information about the velocity and charge of incoming ionization.

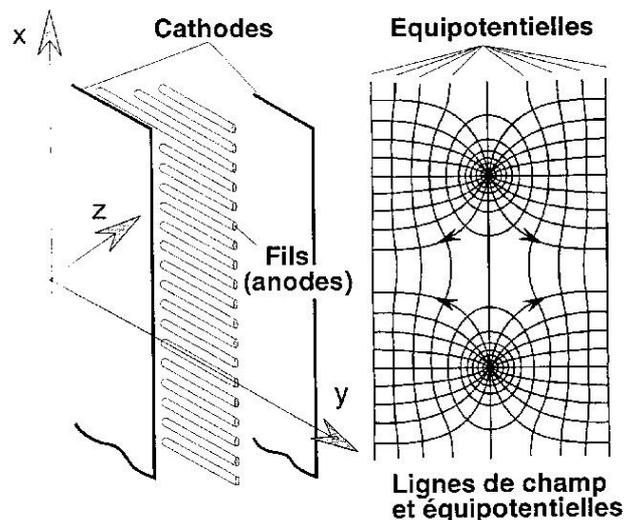
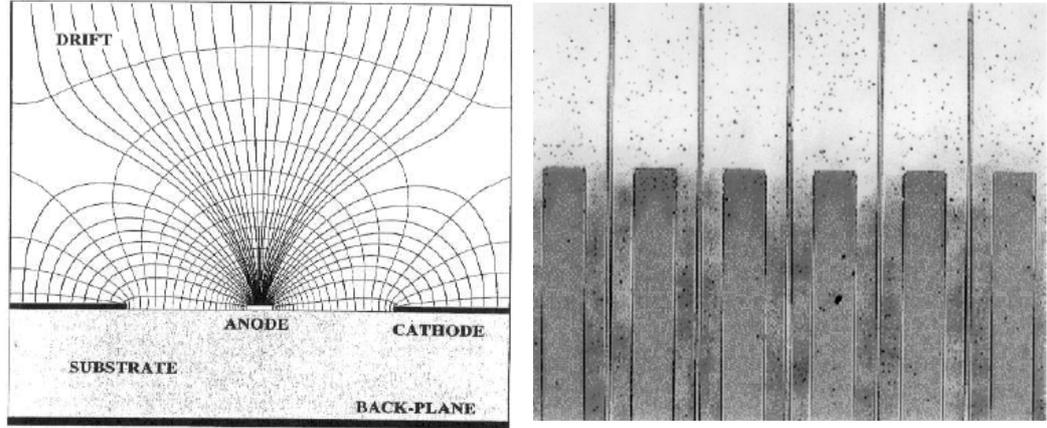


Figure 1. The field lines in MWPC (right) and its schematic view (left).

By the development of micro-strip gas counter (MSGC) [6] the wires were replaced with very narrowly spaced conductor strips. Where the field strength necessary to produce gas amplification is generated between neighboring strips and not by the voltage difference between the strips and the detector cathode which can be at a large distance. Because of this, a much higher position resolution was obtained (about 20 - 40 $\mu$ m). The electrode spacing scaled down an order of magnitude in comparison

with a MWPC, largely improved the multi-hit capacity. The ions are also neutralized much quicker by the nearby cathodes, reducing the accumulation of space-charge. Because of this, also the high-rate capability increased. A schematic view of a MSGC can be found in Fig.2.



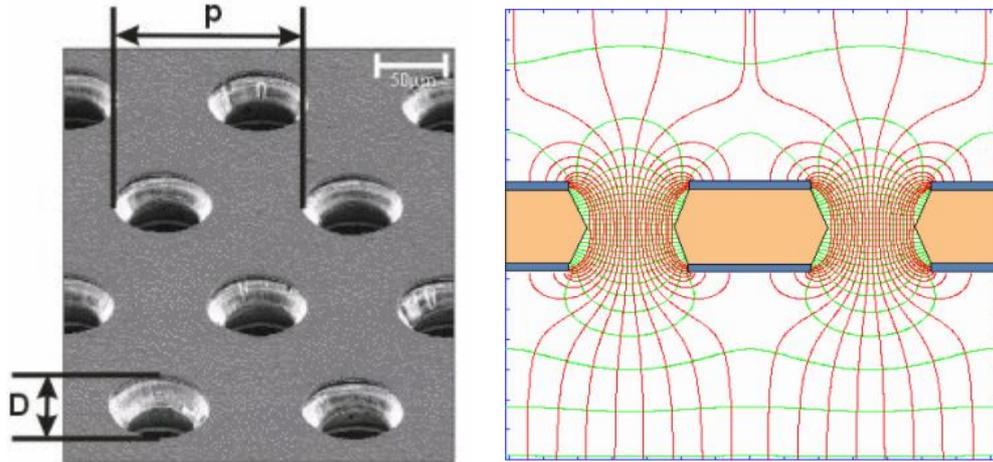
*Figure 2. The field lines in MSGC (left) and microphotograph of the strips (right).*

From these inventions, the development of micro-pattern gaseous detectors (MPGD) has been started. Up to now a wide variety of them is introduced. For example, micro-dot chambers are proportional counters made up of anode dots surrounded by annular cathodes [7]. Device known as CAT has holes drilled through a metal-insulator sandwich that concentrate the field lines from a drift to a high-field region [8]. Widely spread design called Micromegas consists of a very thin metal mesh stretched at a very small distance, 50 to 100 $\mu\text{m}$ , above a readout electrode. The very high field (30 kV/cm) over the gap collects and multiplies the electrons [9]. And finally, the Gas Electron Multiplier studied within this thesis, is also one type of MPGDs. The next sections will be devoted to its more detailed description.

## **1.2. Gaseous Electron Multiplier (GEM)**

The Gas Electron Multiplier (GEM) presented by Fabio Sauli in 1997, consists of insulating polyimide (Kapton, Apical) foil coated with copper on both sides [10]. Usually copper is 5 $\mu\text{m}$  thin, the thickness of polyimide is around 50 $\mu\text{m}$ . By the photolithography technique on the foil large number of the holes is made (around 5000 holes per 1 $\text{cm}^2$ ). Each hole has a double conical shape. ‘Standard geometry’ of the

holes' pattern has a pitch  $[p]$  of  $140\mu\text{m}$ . Diameters of the holes are usually about  $70\mu\text{m}$  on copper  $[D]$  and  $50\mu\text{m}$  on polyimide  $[d]$ . A potential difference applied between top and bottom copper electrodes creates a high electric field inside the holes. In such a way field lines are squeezed into the holes. Electrons created in the drift region of the detector are multiplied by the field and follow the lines.



*Figure 3. The microphotograph of a GEM plate (left) and field lines into the holes (right).*

A great feature of GEMs is the fact that they can operate in a cascade mode. It allows to have the more stable system because of operating at lower voltage. Usually it is a Triple-GEM with a typically 300-500V applied to each plate electrodes. The gain of such a detector can reach  $10^4$  [11].

Avalanches of electrons drift from the last stage towards to read-out anode which can be metal pad or strip structure. The ions from the gas amplification are pulled to and collected on the GEM surface. The intrinsic ion back-drift suppression is one of the main advantages of the GEMs [12, 13].

Another advantage of the GEM amplification is the fast signal: the electron signal is measured directly on the readout plane, which leads to a better time resolution. Furthermore, the GEMs require less mounting structures as proportional wires do.

### **1.3. GEM application**

Detection systems based on GEMs are widely used in high energy physics. Great examples can be found at experiments at The European Organization for Nuclear

Research (CERN) such as COMPASS or TOTEM [14,15]. Another high-energy experiment using GEM is placed at Brookhaven National Laboratory and named PHENIX [16].

GEMs are also studying for medical applications [17, 18]. By the great performance of high rate capability GEMs can be useful in plasma diagnostics [19]. Furthermore, GEM detectors seem to have future in the neutron and neutrino detection [20, 21].

Among all the mentioned fields the main application of GEMs is laying in Time Projection Chambers [22]. The features making GEMs attractive for TPCs are the following:

- great multi-track resolution;
- flexibility in the design and ability to mount large detection volumes;
- suppression of the ion backflow comparing to MWPC;
- high-rate capability.

A lot of hopes are related to the ALICE TPC upgrade with GEMs instead of wires [23]. Various studies devoted to its characterization are relevant today. And the fundamental direction of experimental work is related to ageing processes in GEMs during their operation. The last studies performed by ALICE Experiment Group released an observation of Kapton etching into the GEM holes during the operation at relatively high gains [24]. The various tests performed within the framework of this thesis could be useful in understanding of the mechanisms of degradation due to the polyimide etching.

#### **1.4. Ageing processes in MPGDs**

Ageing processes in gaseous detectors are considering as a degradation of their characteristics under the exposure to ionizing radiation. It is a complex phenomenon which depends on various parameters. Among others, ageing depends on the gas mixture and may be enhanced by the presence of pollutants in the gas. Within this

section main features associated to the ageing mechanisms in micro-pattern gaseous detectors will be indicated.

#### *1.4.1. Ageing mechanisms in wire chambers*

Since wire chambers have been used in high rate experiments a lot of studies were dedicated to the problems associated with their long-term exposure to radiation, limiting their useful time. The “classical aging effects” were defined as a result of chemical reactions occurring in avalanche plasma near anodes in wire chambers leading to formation of deposits on electrode surfaces [25]. During gas avalanches many molecules break up in collisions with electrons, de-excitation of atoms, and UV-absorption processes. Whereas most ionization processes require electron energies greater than 10eV, the breaking of covalent bonds and formation of free radicals requires only 3-4eV, and can lead to a higher concentration of free radicals than that of ions in gaseous discharges. (Free radicals are unionized atomic or molecular species with one or more unsatisfied valence bonds). Consequently, free-radical polymerization is regarded as the dominating mechanism of wire chamber aging. Since free radicals are chemically very active they will either recombine to form the original molecules of other volatile species, or may start to form new cross-linked molecular structures of increasing molecular weight. The ‘classical aging effects’ lead to the formation of conductive or insulating deposits on the electrode surfaces and manifest themselves as a decrease of the gas gain due to the modification of the electric field, excessive currents, sparking and self-sustained discharges. The radiation-induced degradation in wire chambers is sensitive to the nature and purity of the gas mixture, different additives and trace contaminants, materials used in contact with the gas, materials of electrodes and configuration of electric field.

In the case of hydrocarbon molecules used as a gas quencher in detectors polymer formation occurs in the avalanche plasma from the cloud of ions and radicals of the gas filling [26]. Hydrocarbon polymerizes in the avalanche plasma due to the hydrogen deficiency of radicals and their ability to make bonds with hydrocarbon

molecules, and similarly for all hydrocarbon gases. The ageing rate in Ar/CH<sub>4</sub> gases can be reduced by addition of oxygen-containing molecules, allowing large systems to operate at low intensity without dramatic loss of performance [27].

#### *1.4.2. Ageing mechanisms in GEM detectors*

GEMs detectors are known to operate stably at high gains and high particle fluxes. And no significant ageing effects in Ar/CO<sub>2</sub> were observed in a triple GEM after irradiating up to 27 mC/mm<sup>2</sup> [28]. Negligible gain variations were also found in small area aging tests for three different CF<sub>4</sub>-based mixtures after 100 mC/mm<sup>2</sup> [29]. However, an evident current drop was observed in the heavily irradiated large scale (20\*24cm ) triple GEM in an Ar/CF<sub>4</sub>/CO<sub>2</sub> (45:40:15) after 20 mC/mm<sup>2</sup>. The decrease of the electric field intensity inside the holes, resulting in a smaller gain, was traced both to the CF<sub>4</sub> etching of copper and Kapton in proximity of GEM hole edges and appearance of CuF metal fluorides in these places, and can be avoided by the sufficient increase in gas flow [30]. Neither loss of gain nor evidence for the formation of deposits was observed in non-polymerizing Ar/CO<sub>2</sub> (70:30) mixture up to 10 mC/mm<sup>2</sup> [31]; this accumulated charge is sufficient for large-scale and long-term experiments in intense radiation fields. Furthermore, in these studies the GEM detector was found to be less sensitive to ageing, caused by impurities and trace contaminants in Ar/CO<sub>2</sub>, than a single wire proportional counter installed in the same gas line, behind the GEM detector.

However, any small modification of the GEM holes' geometry, which can be caused by Kapton etching [24], organic deposit formation etc. etc., is the main reason for amplification field changings, i.e. GEM degradation.

Within this work, we will try to define the mechanisms of ageing processes in Gas Electron Multiplier. We will focus on the operating parameters that can influence on the degradation changes.

## Chapter 2. Ageing measurements due to the polyimide etching under Cu X-Ray irradiation

Within this chapter, we will focus on the experimental aspects of performed ageing measurements. The aim of our tests was to identify how degradation proceeds and what kind of operating parameters can be “responsible” for ageing effects. We were motivated to find optimal parameters for GEMs operating. But we have met some challenges on the reproducibility of ageing effects and interpretation of obtained results. And within following sections we will try to clarify undertaking actions and give Reader an understanding of our methods.

### 2.1. Experimental setup

A “standard” triple-GEM detector with an active area of 10–10cm<sup>2</sup> was assembled. Ageing effect were studied under high fluxes of Cu X-Ray radiation.

The potential difference between each GEM electrodes was applied through divider with a channel of a CAEN high-voltage power-supply. The anode current was read on the 2D strip readout plate with two independent Keithley picoammeters. The reason of using two ammeters was related to the ability of following the global gain changes using active Fe55 source. By the Keythley “A” and also continuously acquiring pulse-height spectra from the bottom of the third GEM in the absence of X-Ray radiation temperature/pressure fluctuations were monitored.

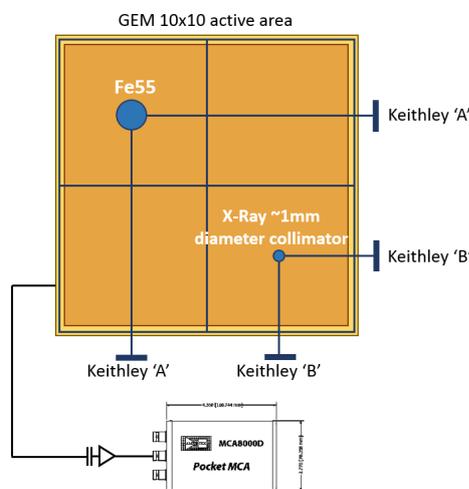


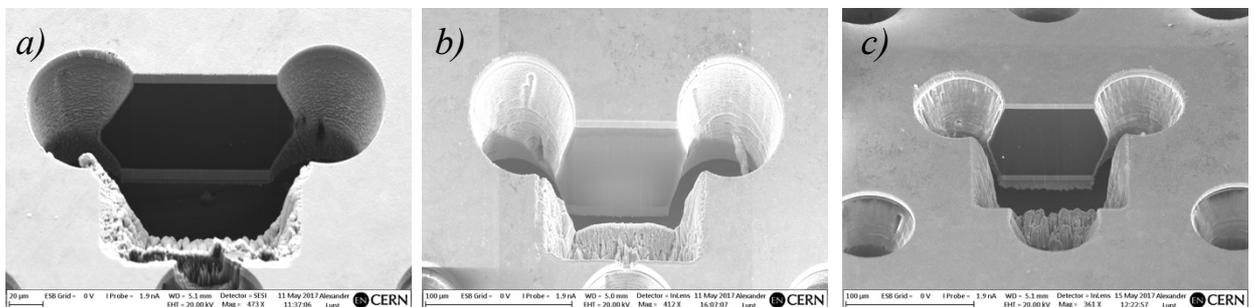
Figure 4. Schematic view of operated triple-GEM detector (top view).

Collimated in 1mm diameter beam 8keV X-rays from Cu X-ray generator were used to produce the primary ionization. The detector was mounted vertically on a back-plate with a distance <1cm to the X-ray generator. The X-ray fluxes were adjustable by changing the X-ray tube intensity. The X-ray beam could be quickly turned on or off with an integrated shutter. In addition by the following low rate X-Ray background on the Keithley “A” we could monitor the stability of the source.

Event-by-event signals were read from the bottom electrode of the third GEM via capacitive coupling to pre-amplifier and ORTEC Amplifier. At early tests, we used ORTEC pre-amplifier which was not effective for high rates we achieved. By the replacing it to A-PIC pre-amplifier with reduced shaping time [32] we observed a great presence of obtained results that will be shown in following sections. Pulse-height spectra were continuously acquired with an AMPTEK MCA-8000D Multi-Channel Analyzer.

Detector was flushed with various gas mixtures at approximately 5 L/h. The motivation to use different mixtures will be described later.

During performing all the measurements, we used three sets of GEM foils independently at different periods of time. The first set was used to build an experimental system for early tests. It allowed us to catch some bugs and find ways to keep system controlled. The second setup was improved by faster electronics, and performed measurements became more trustable. For the last setup three brand new GEM foils provided by ‘Techtra’ were used. Setup was improved by cleansing of gas



*Figure 5. The SEM images of the cross sections of the holes on the 3<sup>rd</sup> GEM foil used within each setup (a – foil used within the first setup, b - foil used within the second setup, c – brand new foil provided by ‘Techtra’ used within the third setup).*

system and complemented by Galvanic Fuel Cell Oxygen and Dewpoint Transmitters in the gas output. Fig.5 shows the holes' cross sections produced by Focused Ion Beam.

Before moving on to the results of performed measurements it is needed to specify some characteristics of GEM detectors and explain our motivation to perform the measurements in the way we did.

## **2.2. Gas quencher**

The chemical structure of the gas mixture is crucial for the performance of a gas detector. Usually the mixture is made up out of 2 gases with different properties to permit the best detector operation. In noble gases (argon, neon, krypton, helium) avalanche multiplication happens at much lower fields than in more complex molecules. Therefore, noble gases are used for the main component that takes care of the electron multiplication in the detector. They are called counting gases. But pure noble gases would make the detector too vulnerable for discharges they can only return to the ground state through radiative emission and because of this reason quencher gases are added [33]. These quenchers are usually polyatomic gases, like CO<sub>2</sub> which can dissipate a considerable amount of energy, because they can have radiationless transitions into their excited vibrational and rotational modes.

As it was indicated within Chapter 1 gas quencher can affect the ageing. Because of that we were interested to compare the degradation effects in different gas mixtures. In our tests, we were mostly flushing with ArCO<sub>2</sub> mixture of 70% of argon and 30% of carbon dioxide. We also performed a series of measurements with different concentration of Ar and CO<sub>2</sub> in mixture sampled 90/10, 80/20 and 70/30. By replacing CO<sub>2</sub> to CH<sub>4</sub> we performed measurements with mixture of 95% of argon and 5% of methane.

## **2.3. Gain definition**

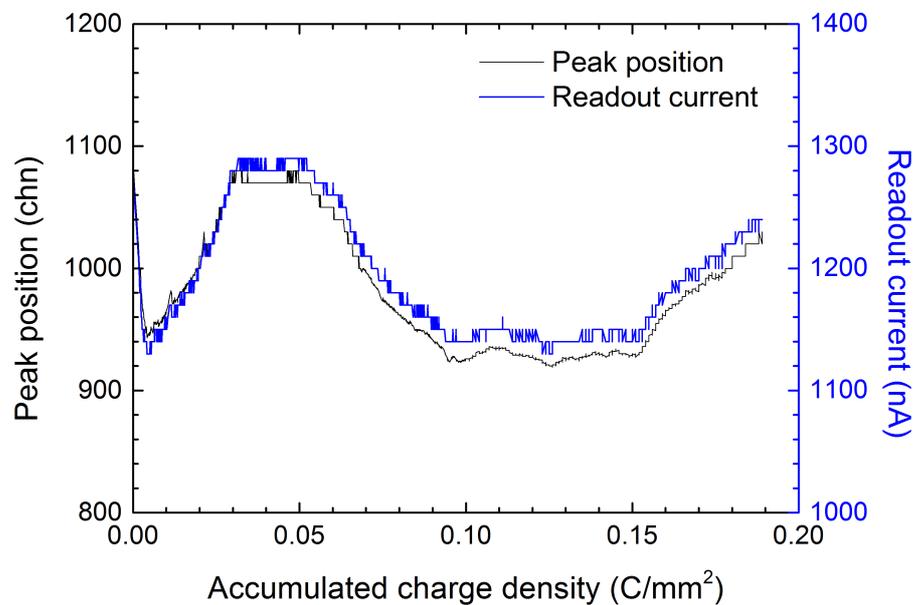
When it comes to detector stability it is usually meant the stability of detectors basic characteristics such as effective gain or energy resolution.

The gain of a GEM detector is a coefficient which describes the number of electrons collected on the readout plate for each primary electron that is produced in the drift region. It is calculating by the following expression:

$$G_{eff} = \frac{I}{nR_{eff}e}$$

here:  $I$  the readout current,  $R_{eff}$  is the effective rate measured as a number of events per irradiated area and  $e$  is the electron charge ( $e = 1.602 \cdot 10^{-19}$  C).  $n$  is the number of primary electrons created by X-Ray photons in the drift region. It can be calculated by dividing the energy of a photon with the effective ionization energy of the gas. Depending on gas mixture it varies from about 200 to 250 electrons.

As a result of our measurements we were following the gain changes but not directly the coefficient value. Because of the proportional dependence of the readout current and gain we were monitoring the changes of anode current. And also by strong correlation observed between the measurements of readout current and peak position of pulse-height spectra we were able to follow either this parameter (Fig.6).



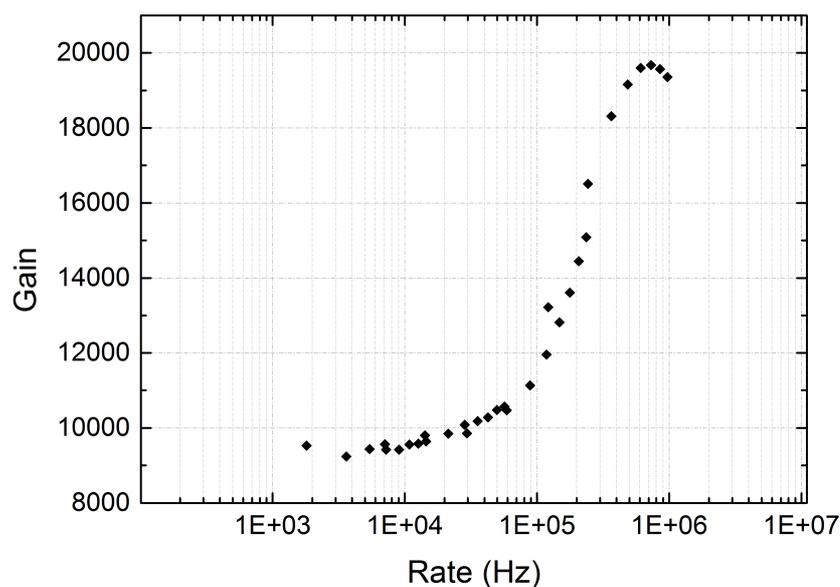
*Figure 6. An example of the correlation between readout current and peak position measurements.*

The changes of anode current and peak position were monitored in dependence on the charge accumulated per irradiated area.

## 2.4. Charging-up effects

One of the most characteristic features of GEM physics is charging-up. Charging-up takes place when one starts irradiating the detector. Because of the double conical geometry of the holes, some of the field lines at first hit the Kapton surface. Because of this, more and more electrons are collected on one side of the hole, while the other side is filled with ions. These space charges in the Kapton layer slightly increase the electric fields in the GEM holes and thus the gain increases as well. The field lines are bent a bit more to the middle of the holes and less field lines reach the Kapton surface. This rise continues until an equilibrium is reached in which no field lines end up at the Kapton anymore. Measurements with standard GEMs indicate a gain increase can reach 20%. This rise already takes place in a matter of minutes and the memory of this event turns out to be around a day [34]. So even after stopping the irradiation, the gain will stay a bit elevated during several hours. This charging-up is a local effect since it is caused by space-charge accumulation which can only take place under irradiation.

Due to the charging-up effects it was observed [34, 35] that the gain of the detector depends on the rate in such a way which is demonstrated in Fig.7.



*Figure 7. An example of the gain-rate dependence.*

The increase of effective gain can be explained by the distortions of the transfer fields between the GEMs. Space-charge effects are increasing the electron efficiencies while at the same time they are reducing the ion efficiencies. At the “critical” point the electrons start to saturate the holes, and the increasing of the gain stops. By the further increase in the rate gain goes down.

Since we had very high rates (up to 2MHz/mm<sup>2</sup>) it was proposed to monitor the gain change at lower rates during the irradiation to follow the change of gain-rate dependence.

### Chapter 3. Results on the ageing measurements

Within this chapter, results obtained during performed measurements will be presented. As far as we used different sets of the GEM foils each section will be dedicated to the results obtained on one particular setup ran under the same conditions and without a long-term delay between tests. Since results strongly differ depending on the quencher we will discuss them in separated sections.

#### 3.1. Results in ArCO<sub>2</sub> mixture

##### 3.1.1. Results on the rate dependence

The “rate dependence” measurements were performed to understand how the rate affects on the degradation in GEMs. During the last tests performed using Techtra foils it has been proposed to change the rate by changing the source intensity during continuous irradiation. For this measurement two values have been chosen. With 4mA on X-Ray source the effective rate was around 500kHz/mm<sup>2</sup>, with 16mA on source the rate was maximal and value was around 2000kHz/mm<sup>2</sup>.

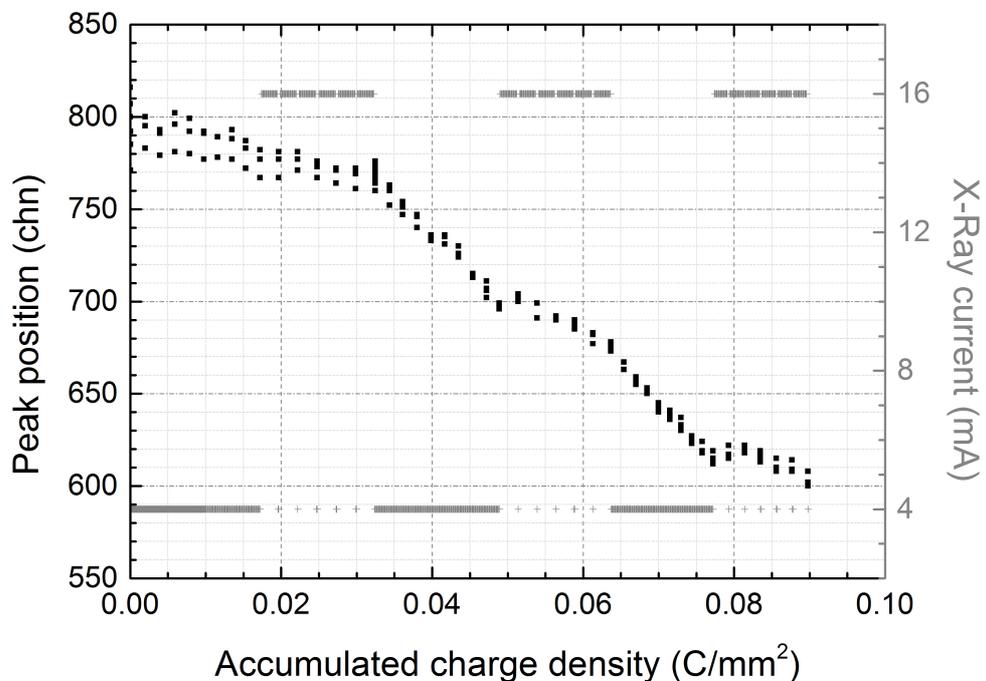
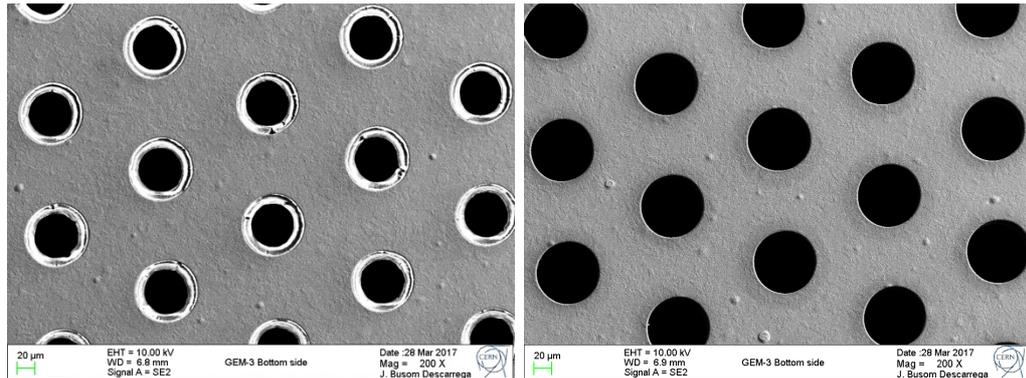


Figure 8. The change of pulse height spectra peak position at 17kHz/mm<sup>2</sup> for 500 and 2000 kHz/mm<sup>2</sup>.

The gain drop was monitored by the change of pulse height spectra peak position at the lowest rate around  $17\text{kHz}/\text{mm}^2$ , i.e. we were irradiating mainly at 500 and  $2000\text{kHz}/\text{mm}^2$  but to avoid space-charge effects periodically taken peak position at  $17\text{kHz}/\text{mm}^2$  was monitored. The change of the rate was carried out by the change of the intensity of the source approximately each  $15\text{mC}/\text{mm}^2$  during the irradiation in premixed ArCO<sub>2</sub> 70/30 gas mixture. The results of performed test in Fig.8 are shown.



*Figure 9. SEM images of non-irradiated area (left) and irradiated at  $500/2000\text{kHz}/\text{mm}^2$  area (right).*

The Scanning Electron Microscope (SEM) images of irradiated area of the last GEM can be found in Fig.9. It can be seen that the effect of Kapton etching occurred. All the measurements performed in ArCO<sub>2</sub> mixture have the similar performance of Kapton removal.

### *3.1.2. Results on the CO<sub>2</sub> concentration dependence*

The other question interested us was related to CO<sub>2</sub> concentration. Using the second set of foils, measurements in ArCO<sub>2</sub> mixture of 70/30, 80/20 and 90/10 percentage were performed. The gas flow was provided from the gas mixer. One additional test was carried out with ArCO<sub>2</sub> 70/30 premixed mixture. It is known that the purity of CO<sub>2</sub> in two cases is different. For these measurements, we were trying to keep all conditions the same. Operating high voltages have been chosen to keep gain at  $10^4$  calculated for irradiation of Fe55 (7MBq) source. X-Ray fluxes for three cases were kept at  $1200\text{kHz}/\text{mm}^2$ . The results of performed measurements in Fig.10 are shown.

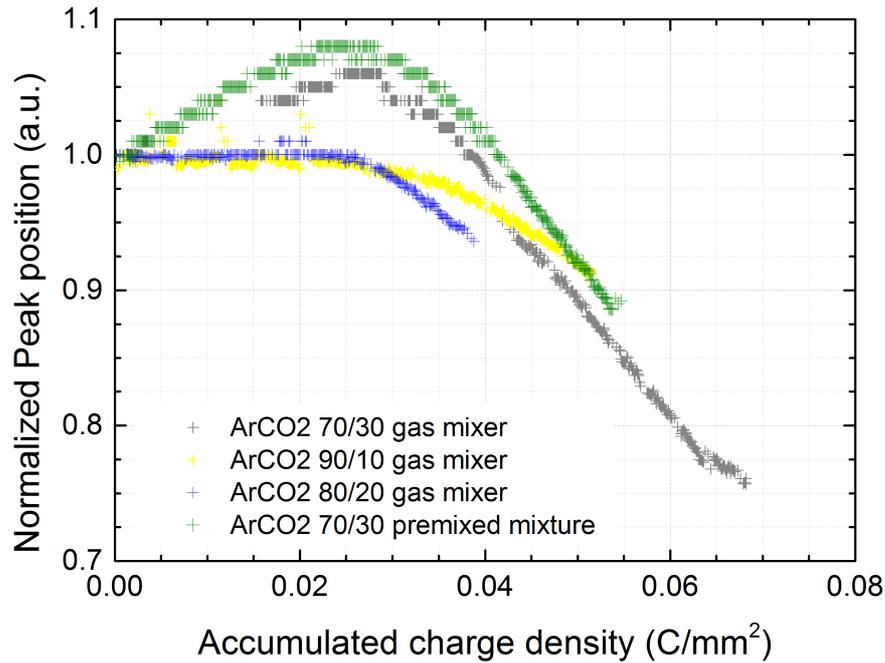


Figure 10. The change of pulse height spectra peak position (normalized to 1) for various O<sub>2</sub> concentration.

It can be noticed that for different concentration of carbon dioxide space-charge effects are not the same. Kapton degradation occurs in all the cases. Microphotographs of the holes on irradiated areas can be found bellow.

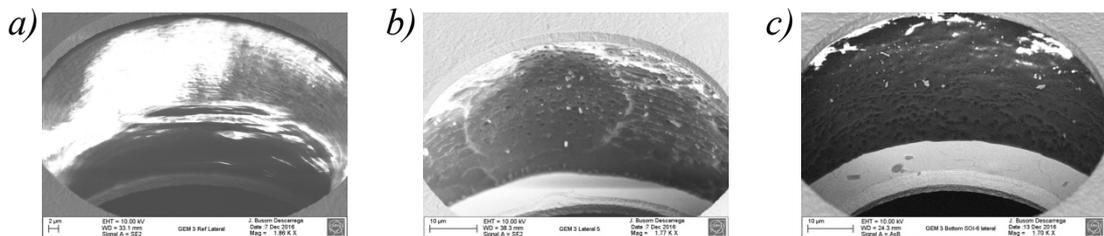


Figure 11. SEM images of the holes on a – non-irradiated area, b – area irradiated in ArCO<sub>2</sub> 90/10 mixture, c – area irradiated in ArCO<sub>2</sub> 70/30 gas mixture.

### 3.1.3. Results on the humidity level dependence

To find out how humidity level can affect the ageing processes we performed measurements in two configurations of our setup with Techtra foils. One of them included only metallic pipes in gas line, to the other one it has been added about 40m of plastic pipes. By this action, we assumed that the H<sub>2</sub>O concentration increased in 10 times. Measurements were carried out at the rate around 1200kHz/mm<sup>2</sup> and minimal gain (under radiation of Fe<sup>55</sup>) of approximately 10<sup>4</sup>. Results obtained within these tests can be found in Fig.12. The system was flushed with ArCO<sub>2</sub> 70/30 mixture.

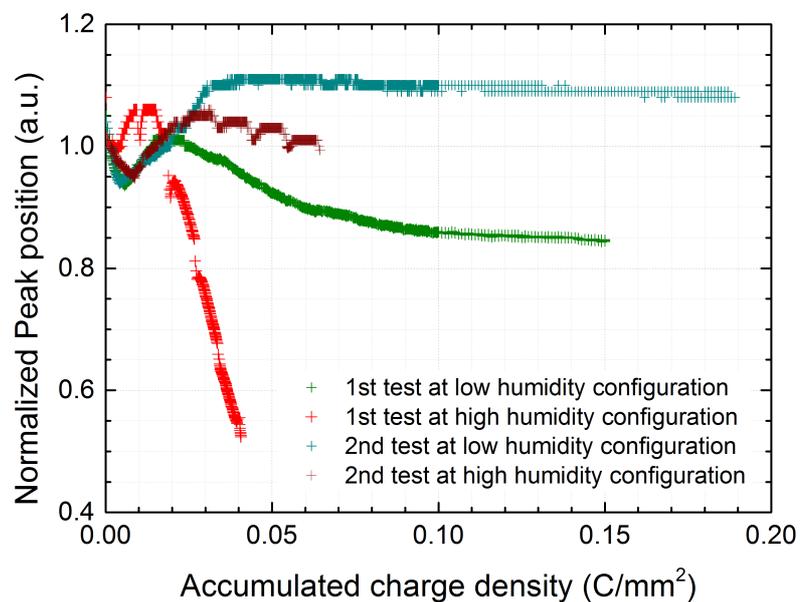


Figure 12. The change of readout current (normalized) for different humidity level.

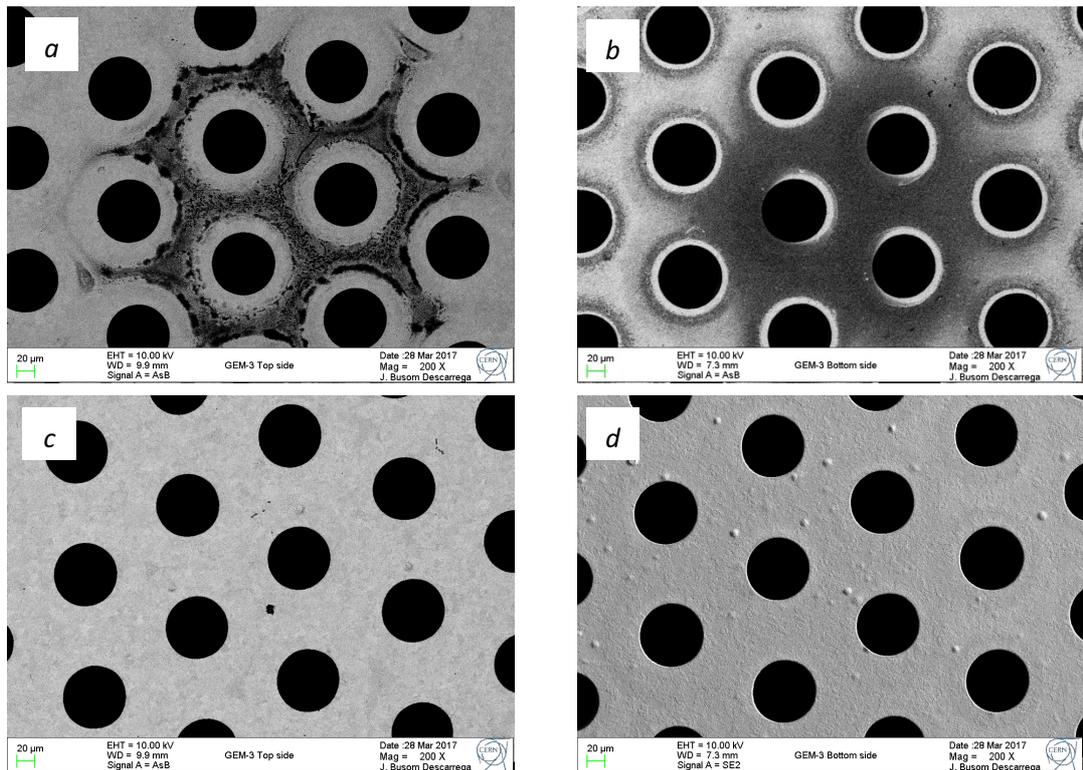
The problem of non-reproducibility of the results obtained in high humidity configuration in the first test could be related to some local differences because we were irradiating in four different areas.

The FIB cross sectional images of irradiated holes of the last GEM can be found in Fig.13. There are no any obvious differences in the effect of Kapton etching. Amount of etched material depends on total accumulated charge.



It can be noticed that the charging-up effects are much bigger in case of high humidity level. So, the gain increases immediately when content of oxygen and water becomes higher. It can be explained by the modifying of the conductivity of the holes.

The other thing that could be noted in this section is the fact how GEM surfaces change depending on humidity level. In Fig.16 SEM images of top and bottom surfaces of the last GEM are shown. In case of “humid” configuration on the surfaces organic compounds are deposited.



*Figure 16. SEM images of: a – top and b – bottom sides of area irradiated in high humidity configuration, c – top and d – bottom sides of area irradiated in low humidity configuration.*

### 3.2. Results in ArCH4 mixture

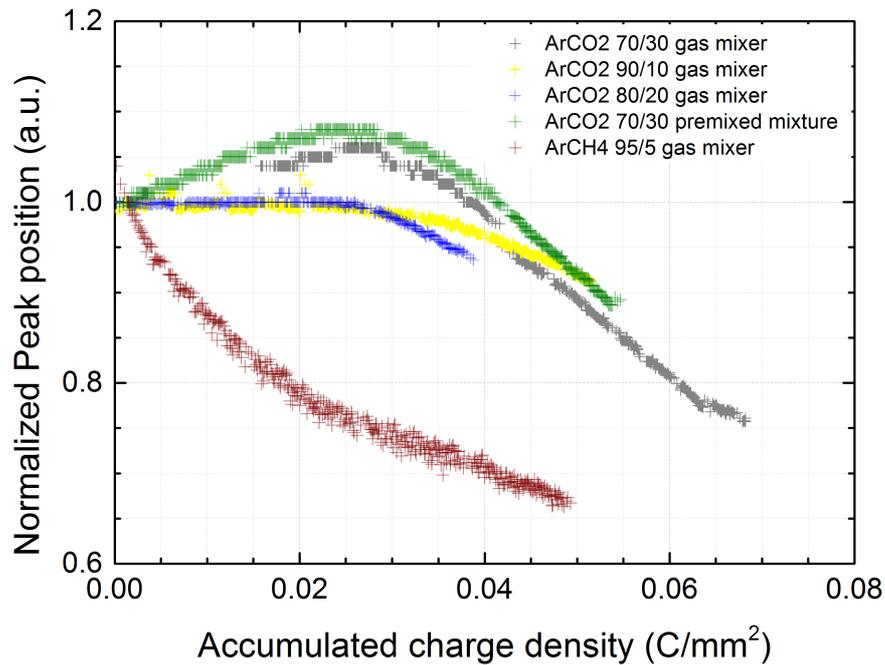


Figure 17. The change of pulse height spectra peak position during the irradiation in a various gas mixtures.

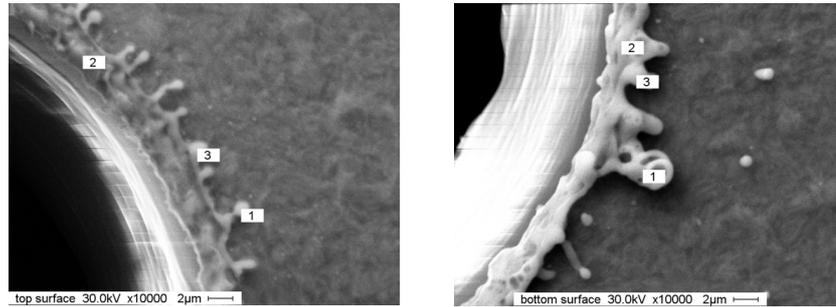
Running the second set of GEM foils additional measurements in ArCH4 gas mixture were performed. Mixture was provided through gas mixer and consisted of 95% of argon and 5% of methane.

The gain for this test was kept at  $10^4$  as it was done for other measurements in ArCO2 (section 3.1.2). The rate value was equal to around  $1200 \text{ kHz/mm}^2$ . Results of performed measurements in Fig.17 are shown. It is obvious that the ageing mechanisms in ArCH4 are not the same as in ArCO2. SEM images of the holes irradiated in ArCH4 can be found in Fig.18



Figure 18. SEM images of the holes on a – top side of non-irradiated area; b – top side and c – bottom side of the area irradiated in ArCH4 95/5 gas mixture.

To find out what kind of compound is deposited across the holes, energy dispersive analysis (EDS) was performed. EDS analysis was provided by The Tomsk Regional Common Use Centre.

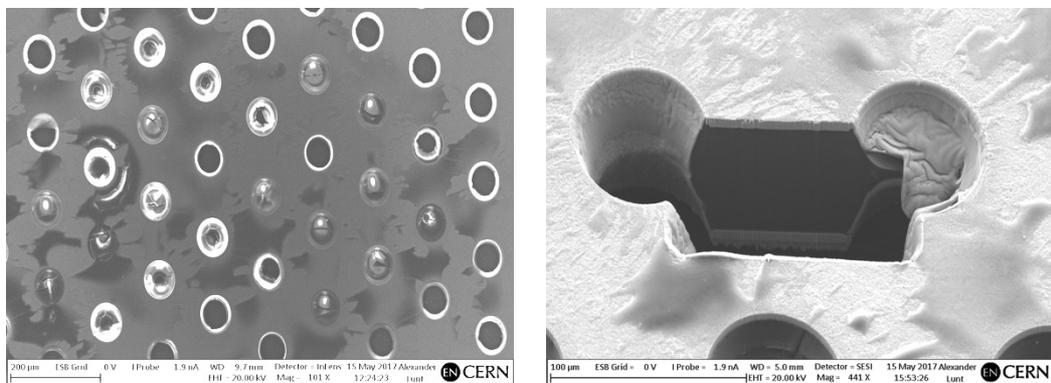


*Figure 19. Regions have been chosen for EDS analysis of deposits across the holes on the top (left) and bottom (right) side of the area irradiated in ArCH4.*

*Table 1. Results of EDS analysis*

	Reference top	P1 top	P2 top	P3 top	Reference bottom	P1 bottom	P2 bottom	P3 bottom
C (Wt%)	1.1	18.7	21.2	23.4	0.6	3.0	4.5	8.2
Cu (Wt%)	98.9	80.4	78.8	76.1	99.4	97.0	95.5	91.8
O (Wt%)	-	0.9		0.5	-	-	-	-

SEM image of the irradiated area in Fig.20 (left) is shown. It can be seen that some holes appeared to have sealed, and others showed less Kapton than original holes of non-irradiated area. The SEM image of the holes' FIB cross-section (right) shows an example of hole's closure.



*Figure 20. SEM images of area irradiated in ArCH4 (left) and cross-sectional view of the holes (right).*

### 3.3. Some additional results

#### 3.3.1. Rate scan during the irradiation

As it was discussed in section 2.4 charging-up effects can affect the effective gain value. Assuming that the gain change at high rates will be not the same than at lower rates it was decided to monitor periodically the gain change at different rates during the irradiation. The rates values were set by the source intensity and varied from 17kHz/mm<sup>2</sup> up to 2000kHz/mm<sup>2</sup>. In such a way, we could follow the gain-rate dependency with irradiation time. To plot this dependence pulse-height spectra peak position was considered as a characteristic of the gain. Arbitrary value calculated by dividing readout current by peak position was considered as a characteristic of the rate. Resulting graph can be found in Fig.21.

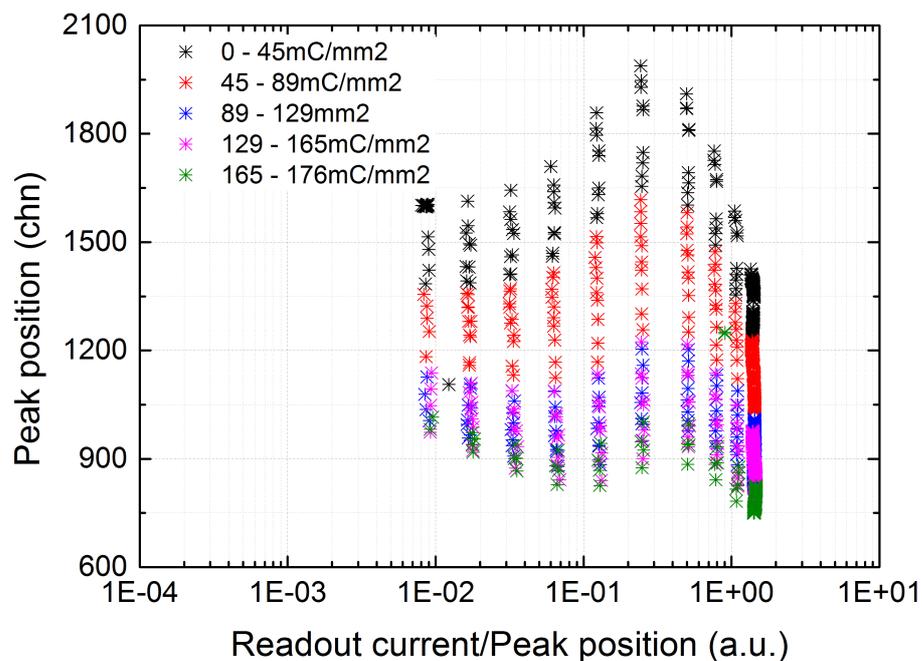


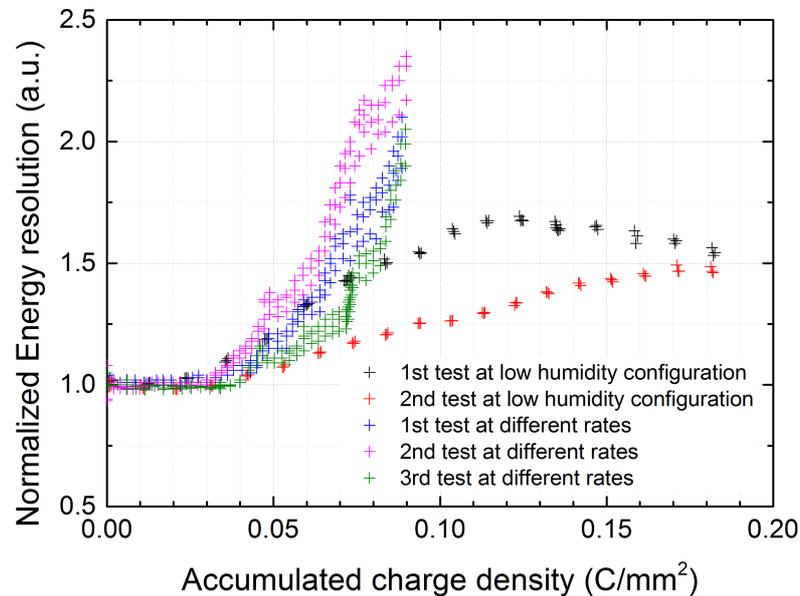
Figure 21. “Gain-Rate” plot obtained during the irradiation.

The maximum gain drop occurred at 500kHz/mm<sup>2</sup>, when at 17kHz/mm<sup>2</sup> it is 1.4 times less. Vertical “rate” lines confirm the fact that we had stable source.

### 3.3.2. *Change of the energy resolution*

For the last setup ran with “Techtra” foils we could estimate energy resolution using pulse-height spectra. Even for rates up to 2000kHz peak shape allowed us to get an information about full width at half maximum (FWHM) of the height of the fitted Gaussian peak for each acquired spectra.

Results for various measurements on the last setup in Fig.22 are shown. All the tests were performed in ArCO<sub>2</sub> 70/30 mixture with about 5.5L/h flow. It is observed that energy resolution for this particular setup starts to increase at the moment when total accumulated charge is equal to approximately 30mC/mm<sup>2</sup>.



*Figure 22. Change of the Energy resolution for the measurements on the last setup.*

### 3.3.3. *Change of the oxygen concentration during the rate scan*

During the measurements discussed in section 3.1.3 oxygen concentration in the gas output was monitored using Galvanic Fuel Cell Oxygen Transmitter.

In Fig.23 the change of O<sub>2</sub> content is shown. On the graph, empty space between readout current measurements corresponds to the measurements at lower rates – down to 17kHz/mm<sup>2</sup>.

It was observed that the concentration of O<sub>2</sub> changes depending on the rate, i.e. intensity of the source. That fact confirms that the less O<sub>2</sub> molecules are producing less the source intensity is.

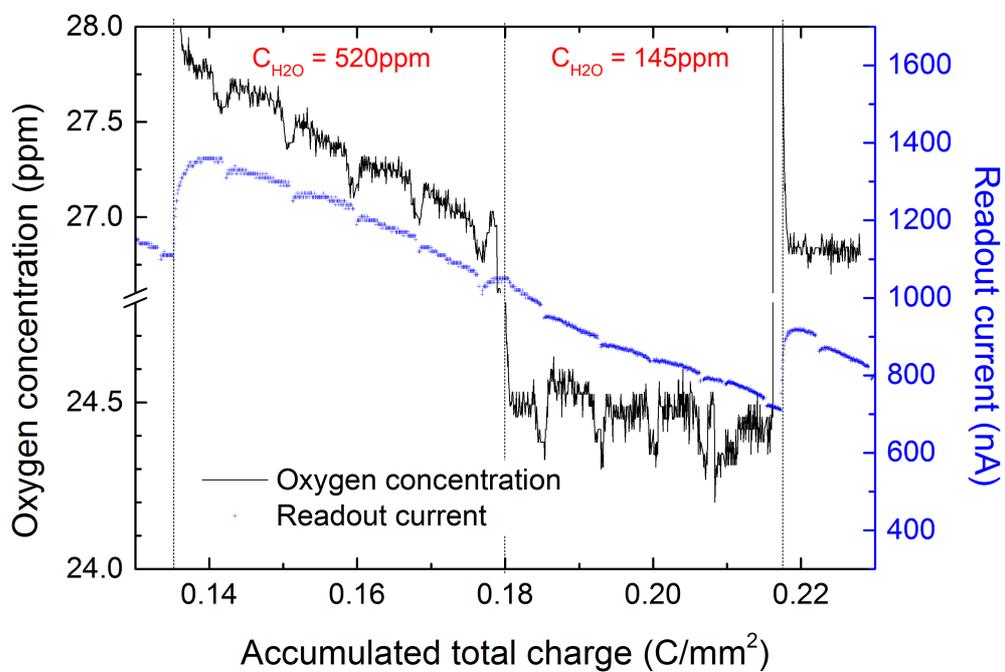


Figure 23. Change of the oxygen concentration during the rate scan.

## **Chapter 4. Conclusion and outlook**

Within the frameworks of present thesis various ageing measurements were carried out. It was revealed that the degradation mechanisms mainly differ depending on the gas mixture, i.e. gas quencher. But they are associated to the modification of the GEM holes' geometry. In case of carbon dioxide, it occurs by changing the original shape of the hole caused by polyimide etching. In case of hydrocarbon it is caused by chemical deposits across the holes and their closure.

It was observed that in dependence on the X-Ray fluxes degradation rate differs. So, for the 500kHz/mm<sup>2</sup> ageing rate is higher than for the 2000kHz/mm<sup>2</sup>. Water content and CO<sub>2</sub> concentration affects the charging-up effects but not significantly Kapton etching itself. In all the measurements in ArCO<sub>2</sub> gas mixture etching effect is reproduced.

An observation of the significant changing of the gain and energy resolution arises at different values of total accumulated charge for different GEM foils. For the foils provided by "Techtra" energy resolution starts to increase at the value of 30mC/mm<sup>2</sup>.

## **Глава 5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение**

Целесообразность выполнения тех или иных исследований в современном мире определяется коммерческой ценностью работы - ее финансовой выгодностью. Оценка коммерческой ценности (потенциала) исследований является обязательным условием в поиске источников финансирования для проведения научной работы и коммерциализации ее результатов. Это представляет важность для исследовательских организаций, которые должны оценить перспективы проводимых научных исследований. Благодаря такой оценке учёный может рассматривать поиски партнеров для дальнейшего проведения научного исследования, планировать коммерциализацию результатов своих результатов и запуск собственного производства.

Таким образом, целью выполнения финансово-экономической части выпускной квалификационной работы является формирование навыков оценки результата научной работы и поиск источников финансирования для проведения научного исследования.

Для достижения обозначенной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести SWOT-анализ данного исследования;
- 2) определить структуру работ в рамках научного исследования;
- 3) определить трудоемкость выполнения работ;
- 4) разработать график проведения научного исследования;
- 5) оценить бюджет научно-технического исследования.

### **5.1. Потенциальные потребители результатов исследования**

В рамках представленной научно-исследовательской работы был проведен ряд систематических продолжительных измерений характеристик газовых электронных умножителей, которые были подвержены воздействию плотных потоков рентгеновского излучения. Целью измерений стало выявление рабочих параметров, при которых деградация свойств ГЭУ проявляется наиболее медленно, таким образом продлевая эксплуатационный срок детектирующих систем на их основе.

Результаты проведенных измерений представляют ценность для научных групп, применяющих газовые электронные умножители в своих экспериментах. Главным образом, такие научные группы проводят исследования в области физики высоких энергий. В частности, детекторы на основе ГЭУ применяются в трековых детекторах, быстрых детекторах для триггерных систем, торцевых детекторах для время-проекционных камер, черенковских детекторах, нейтронных детекторах, детекторах синхротронного излучения, газовых фотодетекторах. Криогенные лавинные детекторы на основе каскадных ГЭУ предполагается применить для регистрации нейтрино, темной материи и когерентного рассеяния нейтрино на ядрах.

Таким образом, множество ученых-экспериментаторов заинтересованы в изучении свойств газовых электронных умножителей, в том числе, в изучении процессов старения, протекающих в ходе их эксплуатации.

### **5.2 FAST-анализ**

FAST-анализ представляет собой функционально-стоимостной анализ. Его суть основана на том, что затраты, связанные с проведением исследования, состоят из необходимых для этого дополнительных, неоправданных, излишних затрат, которые возникают из-за введения ненужных функций, не имеющих прямого отношения к назначению исследований, или связаны с

несовершенством конструкции, технологических процессов, применяемых материалов, методов организации труда и т.д.

В данной работе объектом исследования выступает трехкаскадный прототип на основе ГЭУ, на котором были проведены измерения. Для осуществления FAST-анализа необходимо определить функции данного объекта исследования. Результаты определения данных функций представлены в таблице 2.

*Таблица 2. Классификация функций, выполняемых объектом исследования*

Выполняемая функция	Ранг функции		
	Главная	Основная	Вспомогательная
Газовое усиление заряда электронов	X		
Регистрация заряженных частиц	X		
Двумерное определение положения регистрируемых частиц		X	
Определение энергии ионизации молекул, содержащихся в газовой смеси			X
Определение энергетического разрешения детектора			X

Далее необходимо определиться со значимостью выполняемых функций. Для этого была составлена матрица смежности функций, представленная в таблице 3.

*Таблица 3. Матрица смежности*

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5
Функция 1	=	=	>	>	>
Функция 2	=	=	>	>	>
Функция 3	<	<	=	>	>
Функция 4	<	<	<	=	=
Функция 5	<	<	<	=	=

Примечание: «=» – одинаковые функции по значимости; «>» – более значимая; «<» – менее значимая.

Матрицу, представленную в таблице 3 переведем в матрицу количественных соотношений функции (таблица 4).

Таблица 4. Матрица количественных соотношений функции

	Функция 1	Функция 2	Функция 3	Функция 4	Функция 5	ИТОГО
Функция 1	1	1	1,5	1,5	1,5	6,5
Функция 2	1	1	1,5	1,5	1,5	6,5
Функция 3	0,5	0,5	1	1,5	1,5	5
Функция 4	0,5	0,5	0,5	1	1	3,5
Функция 5	0,5	0,5	0,5	1	1	3,5
	Сумма					25

Примечание: 0,5 при «<<»; 1,5 при «>>»; 1 при «=»,  $\Sigma=25$ .

Определим значимость каждой функции. Производится это путем деления балла, который получила каждая функция, на общую сумму баллов всех функций. Так, для функции 1 относительная значимость равна  $6/25 = 0,26$ ; для функции 2 – 0,26; для функции 3 – 0,2; для функции 4 – 0,14; для функции 5 – 0,14.

Построив функционально-стоимостную диаграмму (Рисунок 24), можно сделать вывод о том, насколько оптимизированы затраты в зависимости от степени важности той или иной функции. Из диаграммы видно, что средства распределены целесообразно, учитывая, что затраты на Функцию 1 – нулевые.

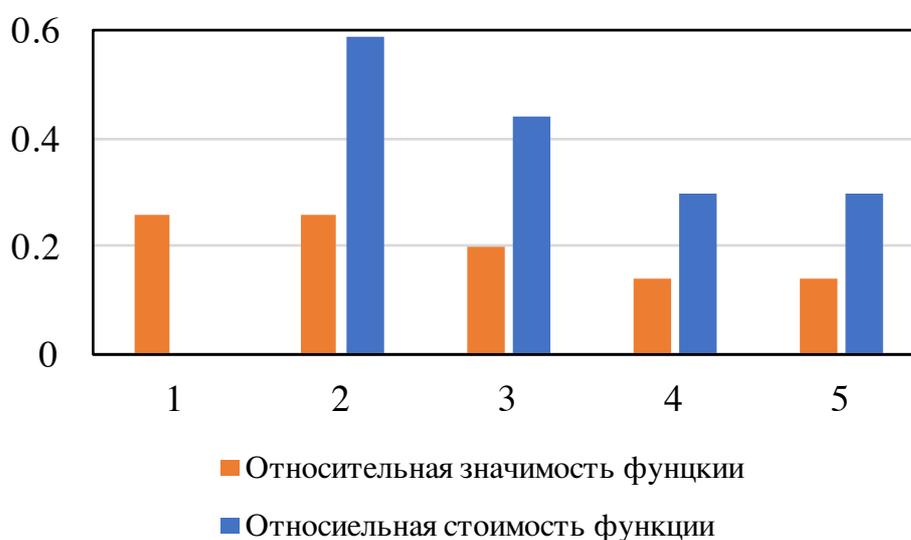


Рисунок 24. Функционально-стоимостная диаграмма.

### 5.3 SWOT-анализ

SWOT (Strengths - сильные стороны, Weaknesses - слабые стороны, Opportunities – возможности и Threats – угрозы) анализ представляет собой

комплексную оценку НИР. SWOT-анализ применяют для исследования внешней и внутренней среды проекта.

Сильные стороны характеризуют конкурентоспособную сторону исследований. Сильные стороны свидетельствуют о том, что у проекта есть отличительное преимущество или особые ресурсы, являющиеся особенными с точки зрения конкуренции. Другими словами, сильные стороны – это ресурсы или возможности, которыми располагает руководство проекта и которые могут быть эффективно использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны представляют упущения или ограниченность исследования, которые могут препятствуют достижению его целей. Они определяются недостаточными возможностями или ресурсами по сравнению с конкурентами.

Возможности включают в себя любую предпочтительную ситуацию в настоящем или будущем, возникающую в условиях окружающей среды проекта, например, тенденцию, изменение или предполагаемую потребность, которая поддерживает спрос на результаты проекта и позволяет руководству проекта улучшить свою конкурентную позицию.

Угроза представляет собой любую нежелательную ситуацию, тенденцию или изменение в условиях окружающей среды проекта, которые имеют разрушительный или угрожающий характер для его конкурентоспособности в настоящем или будущем. В качестве угрозы может выступать барьер, ограничение или что-либо еще, что может повлечь за собой проблемы, разрушения, вред или ущерб, наносимый проекту.

SWOT-анализ данной научно-исследовательской работы представлен в приложении А.

#### **5.4 Структура работ в рамках исследования**

Для выполнения исследовательского проекта формируется рабочая (научная) группа, в состав которой могут входить научные сотрудники и

преподаватели, инженеры, техники и лаборанты, численность группы может варьироваться. По каждому виду запланированных работ устанавливается соответствующая должность исполнителей.

Для дальнейшей оценки экономической эффективности составлен перечень этапов и работ в рамках проведения научного исследования и распределение исполнителей по видам работ (таблица 5).

*Таблица 5. Перечень этапов, работ и распределение исполнителей*

Этапы работы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение тех. задания – постановка цели, определение задач	Руководитель
Планирование эксперимента	2	Календарное планирование работ по теме	Руководитель
	3	Организация проведения измерений	Руководитель
Теоретические и экспериментальные исследования	4	Изучение специальной литературы по теме работы	Студент
	5	Подготовка прототипа детектора	Студент
	6	Подготовка измерительной системы с необходимым аппаратным и программным обеспечением	Студент, руководитель
	7	Проведение систематических продолжительных измерений	Студент
	8	Обработка результатов	Студент
Оценка результатов	9	Оценка адекватности и достоверности результатов	Руководитель, студент
	10	Апробирование результатов в научном сообществе	Руководитель
Оформление полученных в НИР результатов	11	Составление пояснительной записки выпускной квалификационной работы бакалавра	Студент

### **5.5 Планирование управления научно-техническим проектом**

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

В рамках планирования научного проекта необходимо построить календарный график проекта. Для планирования НИР была выбрана диаграмма Ганта, которая представляет собой тип столбчатых диаграмм (гистограмм), который используется для иллюстрации календарного плана проекта. На диаграмме работы по теме представляются протяженными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для построения диаграммы Ганта необходимо определить длительность каждого из этапов работы (таблица 6).

*Таблица 6. Временные показатели проведения научного исследования*

Название работы	Исп.	Трудоемкость			Длительность работ в рабочих днях $T_{pi}$	Длительность работ в календарных днях $T_{ki}$
		$t_{min}$ , чел-дни	$t_{max}$ , чел-дни	$t_{ож}$ , чел-дни		
Составление ТЗ, планирование эксперимента	Руководитель	3	7	4,6	4,6	7
Изучение литературы	Студент	65	80	71	71	106
Подготовка прототипа детектора	Студент	5	10	7	7	10
Подготовка измерительной системы	Студент, руководитель	30	50	38	19	28
Проведение измерений, обработка результатов	Студент	45	50	47	47	70
Оценка результатов	Руководитель	10	20	14	14	21
Написание выпускной квалификационной работы	Студент	50	55	52	52	78

Для определения трудоемкости выполнения научной работы применялся экспертный путь в человеко-днях. Трудоемкость зависит от множества трудно учитываемых факторов, поэтому значение трудоемкости обладает

вероятностным характером. Для оценки среднего значения трудоемкости  $t_{ожі}$  используется формула:

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5}, \quad (1)$$

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

$t_{mini}$  – минимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы в чел.-дн;

$t_{maxi}$  – максимально возможная трудоемкость выполнения заданной  $i$ -ой работы в чел.-дн.

Так, трудоемкость выполнения работы для научного руководителя составила:

$$t_{ожі} = 4,6 + 38 + 14 = 56,6 \text{ (чел-дн)} \quad (2)$$

Трудоемкость выполнения работы для студента:

$$t_{ожі} = 225 \text{ (чел-дн)} \quad (3)$$

После получения среднего значения трудоемкости, можно определить продолжительность для каждого этапа работы  $T_p$  в рабочих днях. При расчете значения продолжительности, учитывается параллельность выполнения работы несколькими исполнителями. Для определения продолжительности используется выражение:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожі}}{ч_i}, \quad (4)$$

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

$t_{ожі}$  – средняя трудоемкость выполнения одной работы, чел.-дн.;

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

Таким образом, продолжительность работы выполнения научного исследования для руководителя:

$$T_{pi} = 4,6 + 14 + \frac{38}{2} = 37,6 \text{ (раб.дн.)} \quad (5)$$

Для студента – 206 раб.дн.

Продолжительность выполнения  $i$ -й работы в календарных днях  $T_{ki}$  рассчитывалась по формуле 6:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}}, \quad (6)$$

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}}, \quad (7)$$

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

$T_{\text{вых}}$  – количество выходных дней в году,  $T_{\text{вых}} = 104$  дней;

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

Диаграмма Ганта строится в виде таблицы в приложении Б с разбивкой по месяцам за период времени выполнения научного проекта. При этом работы на графике выделены различной штриховкой в зависимости от исполнителей, ответственных за ту или иную работу.

## 5.6 Бюджет научно-технического исследования

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

- 1) материальные затраты НИР;
- 2) затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ;
- 3) основная и дополнительная заработная плата исполнителей;
- 4) отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- 5) затраты на научные и производственные командировки;
- 6) контрагентные расходы;
- 7) накладные расходы.

Остановимся более подробно на расчетах основных затрат.

### 5.6.1 Расчет материальных затрат

Данная статья включает стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. В эту статью входят затраты на сырье, материалы, используемые в процессе НИР, комплектующие изделия и т.д.

В материальные затраты также включаются дополнительно затраты на канцелярские принадлежности, диски, картриджи и т.п. Однако их учет ведется в данной статье только в том случае, если в организации их не включают в расходы на использование оборудования или накладные расходы. В первом случае на них определяются соответствующие нормы расхода от установленной базы. Во втором случае их величина учитывается как некая доля в коэффициенте накладных расходов.

Расчет материальных затрат осуществляется по следующей формуле:

$$Z_m = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расхi}, \quad (8)$$

где  $m$  - количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;  $N_{расхi}$  - количество материальных ресурсов  $i$ -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м<sup>2</sup> и т.д.);  $C_i$  - цена приобретения единицы  $i$ -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м<sup>2</sup> и т.д.);  $k_T$  - коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы.

При проведении данного научно-технического исследования не проводилось закупок, влекущих материальные затраты.

### 5.6.2 Расчет затрат на специальное оборудование

Данная статья включает в себя все затраты, связанные с приобретением специального оборудования (приборов, контрольно-измерительной аппаратуры, стендов, устройств и механизмов), необходимого для проведения работ. В данной работе использовалось уже имеющееся оборудование, и закупка специального оборудования не производилась. В таком случае затраты на специальное оборудование отсутствуют.

Однако в ходе эксплуатации основного оборудования средства были затрачены в соответствии с амортизационными отчислениями.

Так, расчет амортизационных отчислений производился линейным методом, результаты расчетов сведены в таблицу 7.

*Таблица 7. Амортизационные расходы*

Наименование прибора	Стоимость, руб.	Срок полезного использования, лет	Норма амортизации, %	Срок эксплуатации, дней	Амортизационные расходы, руб.
Блок питания	114000	10	10	64	1999
Рентгеновская трубка	143000	10	10	47	1841
Осциллограф	740000	7	14	64	18165
Усилитель сигнала	132000	10	10	59	2134
Мультисканальный анализатор	192500	3	33	59	10268
ИТОГО					34407

### *5.6.3. Основная и дополнительная заработная плата исполнителей работы*

Данная статья включает в себя затраты на оплату труда работников, непосредственно участвующих в выполнении НИР (включая премии, доплаты), и дополнительную заработную плату.

В рамках выполненной НИР исполнителями работ являлись сотрудники Европейской организации по ядерным исследованиям, находящейся на территории иностранного государства. Данные о заработной плате сотрудников являются конфиденциальной информацией.

Однако, в соответствии с расчетом основной заработной платы научных и инженерно-технических работников, при выполнении работ НИ ТПУ, расходы составили бы 145562 рубля.

Для расчета основной заработной платы был сформирован баланс рабочего времени, приведенного в таблице 8.

Таблица 8. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Руководитель	Студент-инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные дни, праздничные дни)	66	66
Потери рабочего времени (отпуск, невыходы по болезни)	48	-
Действительный годовой фонд рабочего времени	251	299

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле 28:

$$Z_{\text{дн}} = \frac{Z_{\text{м}} \cdot M}{F_{\text{д}}} \quad (9)$$

где  $Z_{\text{м}}$  – месячный должностной оклад работника, руб.;

$M = 10,4$  месяцев, 6-дневная неделя;

$F_{\text{д}}$  – действительный годовой фонд.

Основная заработная плата ( $Z_{\text{осн}}$ ) руководителя рассчитывается по следующей формуле 10:

$$Z_{\text{осн}} = Z_{\text{дн}} \cdot T_{\text{раб}} \quad (10)$$

где  $Z_{\text{дн}}$  – среднедневная заработная плата работника, руб.; для профессора она составляет 36800 руб., для инженера – 9893 руб.

$T_{\text{раб}}$  – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. дн.

Таблица 9. Расчёт основной заработной платы

Исполнитель	$Z_{\text{б}}$ , руб.	$Z_{\text{дн}}$ , руб.	$T_{\text{р}}$ , раб. дн.	$Z_{\text{м}}$ , руб.	$Z_{\text{осн}}$ , руб.
Руководитель	36800	1982	38	47840	75324
Студент-инженер	9893	447	196	12860	87612
<b>ИТОГО</b>					<b>162936</b>

#### 5.6.4. Расчет затрат на научные командировки

Затраты на научные и производственные командировки исполнителей определяются в соответствии с планом выполнения темы и с учетом действующих норм командировочных расходов различного вида и транспортных тарифов. Часть работ в рамках выполненной НИР проводилась в НИ ТПУ, однако большая часть работ проводилась в Европейской организации по ядерным исследованиям. При этом затраты на командировки для проведения предусматривали только транспортные расходы (таблица 10). Прочие расходы были покрыты за счет заработной платы.

Таблица 10. Затраты на научные и производственные командировки

Виды расходов	Сроки командировки	Сумма, руб.
Авиаперелеты по маршруту Томск – Москва – Женева – Москва - Томск	Ноябрь – декабрь 2016 года	29867
Авиаперелеты по маршруту Томск – Москва – Женева – Москва - Томск	Январь – апрель 2017 года	34521
Итого:		64388

#### 5.6.5 Контрагентские расходы

Контрагентские расходы включают затраты, связанные с выполнением каких-либо работ по теме сторонними организациями (контрагентами, субподрядчиками). Расчет величины этой группы расходов зависит от планируемого объема работ и определяется из условий договоров с контрагентами или субподрядчиками.

В рамках выполненных исследований, материаловедческий анализ пленок детектора был проведен в Томском региональном центре коллективного пользования. В соответствии с прайсом типовых услуг ТРЦКП 2017 [1] стоимость проведения элементного энергодисперсионного анализа на системе с электронным и сфокусированным ионным пучками Quanta 200 3D составила 1700 руб.

### 5.6.6. Формирование бюджета затрат

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 таблице 11.

Таблица 11. Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	0
Затраты на специальное оборудование для научных (экспериментальных) работ	34407
Затраты по основной и дополнительной заработной плате исполнителей темы	0
Затраты на научные и производственные командировки	64388
Контрагентские расходы	1700
<b>Бюджет затрат НИИ</b>	<b>100495</b>

Однако, в случае выполнения работ сотрудниками НИ ТПУ затраты составили бы 263431 рубль – с учетом заработной платы исполнителей.

### 5.7. Определение ресурсной эффективности исследования

Интегральный показатель ресурсной эффективности вариантов исполнения объекта исследования можно определить следующим образом:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i, \quad (9)$$

где  $I_{pi}$  – интегральный показатель ресурсоэффективности для  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $a_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го варианта исполнения разработки;  $b_i$  – балльная оценка  $i$ -го варианта исполнения разработки, устанавливается экспертным путем по выбранной шкале оценивания;  $n$  – число параметров сравнения.

В качестве возможных вариантов исполнения выберем реализованный способ, а также два альтернативных варианта: вариант с закупкой оборудования

у сторонних организаций и последующее выполнение работ по его самостоятельному монтажу и использованию в рамках НТИ, а также вариант с закупкой оборудования и заказом на выполнение работ по его монтажу и вводу в эксплуатацию у сторонней организации. Основным лимитирующим фактором в представленном НТИ являлась его стоимость. Покупка оборудования у сторонней организации сократила бы рабочее время исполнителей темы, однако, привнесла бы дополнительную статью расхода в размере 1321500 руб. Третий представленный вариант является еще более невыгодным в отношении стоимости проекта. В затраты в этом случае войдут основная и дополнительная заработные платы для высококвалифицированных инженеров, соответствующие отчисления во внебюджетные фонды, а также затраты на оформление для них производственных командировок.

*Таблица 12 – Сравнительная оценка вариантов исполнения исследования*

Критерии	Весовой коэффициент параметра	(Исп. 1) Выполнение работы в рамках НТИ с соответствующими затратами (реализованное исполнение)	(Исп. 2) Покупка оборудования и выполнение остальной работы в рамках НТИ	(Исп. 3) Покупка оборудования и заказ на выполнение работы в сторонней организации
Цена	0,4	4	2	1
Удобство эксплуатации	0,1	5	5	5
Точность	0,2	3	3	5
Помехоустойчивость	0,15	4	4	4
Надежность	0,15	3	3	5
Итого:	1	19	17	20

Проведем расчет интегрального показателя ресурсоэффективности для каждого варианта исполнения:

$$I_{p-исп1} = 4 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 = 3,75; \quad (10)$$

$$I_{p-исп2} = 2 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 3 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 3 \cdot 0,15 = 2,95; \quad (11)$$

$$I_{p-исп3} = 1 \cdot 0,4 + 5 \cdot 0,1 + 5 \cdot 0,2 + 4 \cdot 0,15 + 5 \cdot 0,15 = 3,25; \quad (12)$$

Как видно из рассчитанных значений, вариант исполнения, который был реализован в данной работе, является наиболее ресурсоэффективным.

### **5.8. Выводы**

Из произведенных расчетов следует, что основные затраты на научно-техническое исследование приходятся на затраты на научные и производственные командировки (64388 руб.). Это связано с тем, что выполнение данной работы ввиду ее особенностей требовало реализации в инфраструктуре, существующей на базе зарубежной организации. В сумме же весь бюджет научно-технического исследования составляет 66088 рублей. Расчет интегрального показателя ресурсной эффективности показал, что вариант исполнения, который был реализован в данной работе, является наиболее ресурсоэффективным.

## **Глава 6. Социальная ответственность**

Условия труда считаются безопасными, если воздействие вредных или опасных производственных факторов не превышает установленные нормативы.

Одно из основных направлений профилактической работы по снижению производственного травматизма и профессиональной заболеваемости является повсеместное внедрение комплексной системы управления охраной труда. Охрана труда – система законодательных, социально-экономических, организационных, технологических, гигиенических и лечебно-профилактических мероприятий и средств, обеспечивающих безопасность, сохранение здоровья и работоспособности человека в процессе труда.

Охрана труда и безопасность жизнедеятельности регулируется рядом различных нормативно-правовых, законодательных актов, в том числе Трудовым Кодексом Российской Федерации, Кодексом об административных нарушениях, Уголовным Кодексом и Конституцией РФ.

В рамках данной работы проводился анализ численных данных, полученных с продолжительных измерений характеристик прототипа детектора на основе Газовых Электронных умножителей. При выполнении работ была использована электронно-вычислительная аппаратура.

Процесс работы характеризуется такими вредными факторами, как недостаток естественного освещения, недостаточная освещенность рабочего места, возможность короткого замыкания и поражение исследователя током.

В данной главе рассмотрены и найдены решения для обеспечения удовлетворительных условий труда исследователя. Проведена характеристика производственных процессов, анализ вредных и опасных факторов при данном виде производственной деятельности и решению вопросов безопасности на основе требований действующих нормативно-технических документов.

Данная выпускная квалификационная работа была проведена в офисном помещении, оборудованном необходимой техникой для выполнения исследований, использования стандартного и специфического программного

обеспечения. Для этого рабочего помещения будет приведен расчет таких производственных факторов, как освещенность и шум.

### 6.1 Техногенная безопасность

Рабочее помещение имеет линейные размеры 8,8x5,3м и высоту 3 м, находится на первом этаже здания. Помещение имеет два окна размерами 1,8x1,5м, которые расположены таким образом, что обеспечивают достаточное проникновение солнечного света. С противоположной от окон стороны находится дверной проем.

Помещение обеспечивает 3 рабочих места, оборудованных персональными компьютерами. Расположение оборудования приведено на Рисунке 25.

Раздел «Техногенная безопасность» должен содержать анализ факторов рабочей зоны на предмет выявления их вредных и опасных воздействий. К первой группе факторов можно отнести микроклимат помещения, освещение рабочей зоны, электромагнитное поле и шум, а также психофизические факторы. В качестве второй группы факторов необходимо рассмотреть возможность поражения электрическим током.

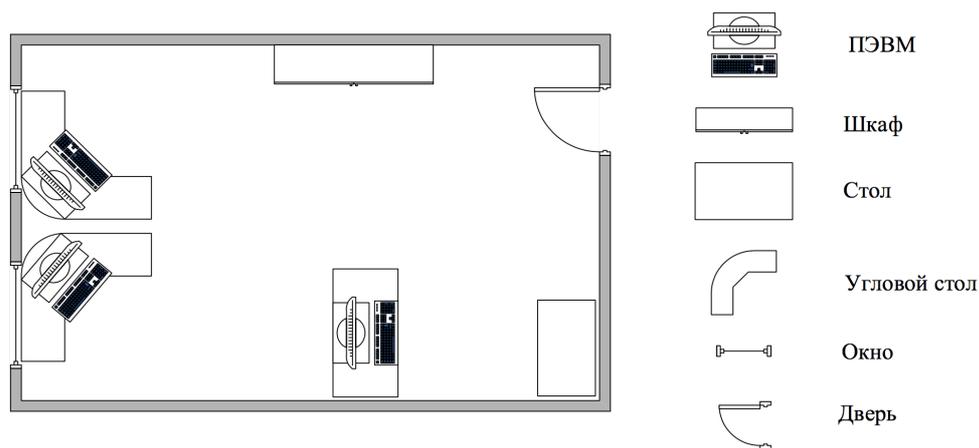


Рисунок 25. План кабинета рабочей группы.

### *6.1.1 Освещение*

Качество освещения влияет на работоспособность сотрудника, на его психологическое состояние в процессе выполнения работ. Наиболее благоприятное влияние на состояние сотрудника оказывает преимущественно естественное освещение. Нормы естественного, искусственного и совмещенного освещения зданий и сооружений, мест производства работ вне зданий представлены в СНиПе 23-05-95.

Основными регламентируемыми факторами норм освещения является характер зрительной работы, фон, контраст объекта с фоном, система и вид освещения.

Главной задачей текущего светотехнического расчета является определение необходимой мощности электрической осветительной установки для создания требуемой освещенности.

В расчётном задании должны быть решены следующие вопросы: выбор системы освещения; выбор источников света; выбор светильников и их размещение; выбор нормируемой освещенности; расчёт освещения методом светового потока.

1. Выбор системы освещения. Для производственных помещений всех ПЭВМ назначений применяются системы общего (равномерного или локализованного) и комбинированного (общего и местного) освещения. Система комбинированного освещения принимается в основном для помещений ремонта, регулировки, чистки и пайки аппаратуры и приборов, в прочих случаях следует использовать систему общего (равномерного или локализованного) освещения. Для данной рабочей зоны выбирается расчет общего равномерного освещения.

2. Выбор источников света. Источники света, применяемые для искусственного освещения, делят на две группы – газоразрядные лампы и лампы накаливания. Для выбранного типа освещения, как правило, применяются газоразрядные лампы, так как они энергетически более экономичны и обладают

большим сроком службы. Наиболее распространёнными являются люминесцентные лампы.

3. Выбор светильников и их размещение. Светильник – прибор, перераспределяющий свет ламп внутри больших телесных углов и обеспечивающий угловую концентрацию светового потока. Выбор типа светильников основывается на светотехнических требованиях, экономических показателях и условиях среды. Для данной рабочей зоны выбираем светильник накладной ОД, крепящийся на поверхность потолка, мощностью 30Вт. Размеры светильника: 933х204мм.

Пространственное положение светильников в выбранном помещении определяется следующими параметрами:

- $H = 3$  – высота помещения;
- $h_c = 0,2$  – расстояние светильников от перекрытия (м);
- $h_n = H - h_c = 2,8$  – высота подвеса (м);
- $h_p = 0,7$  – высота рабочей поверхности над полом (м);
- $h = h_n - h_p = 2,1$  – расчетная высота (м);
- $L$  – расстояние между соседними светильниками (м);
- $l$  – расстояние от крайних светильников до стены (м).

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ .

Наиболее приемлемым расположением светильников является их расположение в шахматном порядке, либо по сторонам квадрата. В данном случае будет использовано размещение по сторонам квадрата.

Люминесцентные светильники при равномерном расположении обычно располагаются рядами. Основным критерием оптимального расположения светильников является величина  $\lambda = L/h$  - наивыгоднейшее расстояние между осветительными приборами, уменьшение которого удорожает устройство и обслуживание освещения, а чрезмерное увеличение ведёт к резкой неравномерности освещённости. Данная величина зависит от кривой света

светильника. Для выбранного светильника характерна кривая типа Д, где  $\lambda = 1,2$  - 1,6. При выполнении расчета принимаем  $\lambda = 1,4$ .

Расстояние  $L$  между светильниками определяется как:

$$L = \lambda \cdot h = 1,4 \cdot 2,1 = 2,94 \text{ м} \quad (13)$$

Расстояние от крайних светильников до стены:

$$l = L/3 = 2,94/3 = 0,98 \text{ м} \quad (14)$$

Произведем расчет числа рядов и количества светильников в ряду. Число рядов светильников в помещении:

$$N_A = \frac{A}{L} = \frac{5,8}{2,94} \approx 2 \quad (15)$$

Число светильников в ряду:

$$N_B = \frac{B}{L} = \frac{5,31}{2,94} \approx 2 \quad (16)$$

Так как помещение имеет прямоугольную форму, то разумнее добавить в каждый ряд по одному дополнительному светильнику, тем самым уменьшив расстояние между светильниками в ряду до 50 см. Это позволит усилить освещенность помещения для более комфортной работы.

Таким образом, общее число светильников в помещении:

$$N = N_a * N_b = 3 * 2 = 6 \quad (17)$$

На рисунке 26 изображен план кабинета и расположения источников света с люминесцентными лампами.

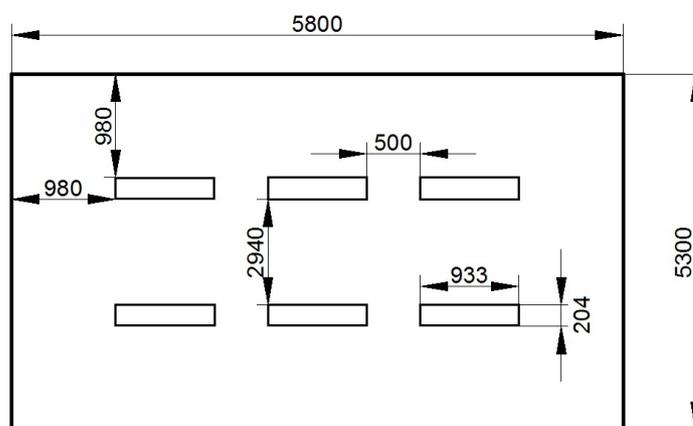


Рисунок 26. План расположения источников света.

4. Выбор нормируемой освещённости. Основные требования по значениям нормируемой освещённости рабочих поверхностей сформулированы в СНиП 23-05-95. Выбор освещённости основан на таких условиях как размер объёма различения (толщина линии, риски, высота буквы), контраста объекта с фоном, характеристики фона.

В соответствии с требованиями по работе с ПК, при работе с экраном в сочетании с работой над документами наиболее оптимальной для работы с экраном является освещенность 200 лк.

5. Расчёт общего равномерного освещения. Для произведения расчёта общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности используется метод коэффициента светового потока, который учитывает световой поток, отражённый от потолка и стен. Расчет общего равномерного уровня искусственного освещения горизонтальной поверхности рабочего места производится способом коэффициента светового потока:

$$\phi_{\Pi} = \frac{E_n S K_3 Z}{N n} = \frac{200 \cdot 30,8 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{12 \cdot 0,53} = 1598 \text{ Лм} \quad (18)$$

где  $E_n$  – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05- 95,  $E_n=200$  Лк (Характеристика зрительной работы VI: Грубая (очень малой точности));  $S$  – площадь освещаемого помещения,  $m^2$ ;  $K_3$  – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т. е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли,  $K_3=1,5$  (Помещения с малым выделением пыли);  $Z$  – коэффициент неравномерности освещения, отношение  $E_{ср}/E_{min}$ . Для люминесцентных ламп при расчётах берётся равным 1,1;  $N$  – число ламп в помещении, 12;  $n$  – коэффициент использования светового потока, 0,53.

Коэффициент использования светового потока показывает, какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность. Он зависит от индекса помещения  $i$ , типа светильника, высоты светильников над рабочей поверхностью  $h$  и коэффициентов отражения стен  $\rho_c$  и потолка  $\rho_n$ .

Индекс помещения определяется по формуле 19:

$$i = \frac{S}{h(A+B)} = \frac{30,8}{2,1 \cdot 11,11} = 1,3 \quad (19)$$

Коэффициент отражения стен (свежепобеленное состояние стен с окнами без штор):  $\rho_c = 50 \%$ ;

Коэффициент отражения потолка (свежепобеленное состояние потолка):  $\rho_n = 70 \%$ ;

Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% \leq 20\% \quad (20)$$

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{1650 - 1598}{1650} \cdot 100\% = 3,2\%.$$

Таким образом:  $-10\% \leq 3,2\% \leq 20\%$ , освещенность рассматриваемого помещения находится в диапазоне оптимального освещения. Это означает, что мощность и количество осветительных приборов для данного помещения выбраны правильно.

### 6.1.2 Шум

Шум — беспорядочные колебания различной физической природы, отличающиеся сложностью временной и спектральной структуры. Длительное воздействие шума может привести к ухудшению слуха, а в отдельных случаях — к глухоте. Установлено, что шумовое загрязнение среды на рабочем месте негативно влияет на работающих, вследствие чего у них снижается внимание, увеличивается расход энергии при одинаковой физической нагрузке, замедляется скорость психических реакций и т.п. В конечном итоге снижается производительность труда и качество выполняемой работы.

Согласно ГОСТ 12.1.003-83 при разработке технологических процессов, проектировании, изготовлении и эксплуатации машин, производственных зданий и сооружений, а также при организации рабочих мест следует принимать все необходимые меры по снижению шума, воздействующего на человека, до значений, не превышающих допустимые.

Защита от шума должна обеспечиваться разработкой шумобезопасной техники, применением средств и методов коллективной защиты, в том числе строительно-акустических, применением средств индивидуальной защиты.

В первую очередь следует использовать средства коллективной защиты. По отношению к источнику возбуждения шума коллективные средства защиты подразделяются на средства, снижающие шум в источнике его возникновения, и средства, снижающие шум на пути его распространения от источника до защищаемого объекта. Снижение шума в источнике осуществляется за счет улучшения конструкции машины или изменения технологического процесса. Средства, снижающие шум в источнике его возникновения в зависимости от характера шумообразования подразделяются на средства, снижающие шум механического происхождения, аэродинамического и гидродинамического происхождения, электромагнитного происхождения.

Выбор ширины санитарно-защитной зоны зависит от установленного оборудования, например, ширина санитарно-защитной зоны вокруг крупных ТЭС может составлять несколько километров. Для объектов, находящихся в черте города, создание такой санитарно-защитной зоны порой становится неразрешимой задачей. Сократить ширину санитарно-защитной зоны можно уменьшением шума на путях его распространения.

Уровни шума на рабочих местах пользователей персональных компьютеров не должны превышать значений, установленных СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Рабочая зона соотносится с категорией «Высококвалифицированная работа, требующая сосредоточенности, административно-управленческая деятельность, измерительные и аналитические работы в лаборатории; рабочие места в помещениях цехового управленческого аппарата, в рабочих комнатах конторских помещений, в лабораториях». Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука для этой категории приведены в таблице 13.

Таблица 13. Предельно допустимые уровни звукового давления, уровни звука и эквивалентные уровни звука

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами [Гц]									Уровни звука в [дБ]
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	60
93	79	70	68	58	55	52	52	49	

Для расчета уровня шума, возникающего от нескольких источников, используется принцип энергетического суммирования излучений отдельных источников:

Таблица 14. Уровни шума источников в помещении

Источник шума	Уровни звука в [дБ]
Жесткий диск	45
Вентилятор	50
Монитор	15
Клавиатура	10

$$L = 10 \lg \sum_{i=1}^n n \cdot 10^{0,1 \cdot L_i} \quad (21)$$

$$L = 10 \lg(4 \cdot 10^{0,1 \cdot 45} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot 50} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot 15} + 4 \cdot 10^{0,1 \cdot 10}) = 57,22 \text{ дБА}$$

где  $L_i$  – уровень звукового давления  $i$ -го источника шума;  $n$  – количество источников шума.

По расчету получено значение звука в помещении  $\sim 57$  дБА, которое не превышает предельно установленную величину в 60 дБА, что говорит о соблюдении уровня шума в рабочей зоне.

### 6.1.3. Микроклимат

Микроклимат производственных помещений — метеорологические условия внутренней среды помещений, которые определяются действующими на организм человека сочетаниями температуры, влажности, скорости движения воздуха и теплового излучения; комплекс физических факторов, оказывающих влияние на теплообмен человека с окружающей средой, на тепловое состояние человека и определяющих самочувствие, работоспособность, здоровье и производительность труда. В соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1340-03 и СанПиНом 2.2.4.548-96 показатели микроклимата: температура воздуха;

относительная влажность; скорость его движения; мощность теплового излучения.

Для полноценной работы сотрудников необходимо соблюдение нормального физиологических процессов в организме человека. Это возможно при соблюдении условия, если тепло выделяемое в помещении выделялось в окружающую среду. При соблюдении этого условия у сотрудника не возникает каких-либо ощущений термического дискомфорта - холода или перегрева.

Тип работ, выполняемых в рассматриваемом помещении, относится к категории Ia. Эти работы относятся к работам с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт), которые производятся сидя и сопровождаются незначительным физическим напряжением. Оптимальные величины показателей микроклимата приведены в таблице 15.

Для создания оптимальных параметров микроклимата в производственных помещениях используются системы кондиционирования, а обеспечение допустимых параметров — обычными системами вентиляции и отопления. В лаборатории осуществляется естественная и искусственная вентиляция. Воздух поступает и удаляется через щели, окна, двери, а также через специальную систему контроля микроклимата. При такой системе вентиляции приточный воздух, поступающий в помещение через систему контроля микроклимата, проходит предварительную очистку и нагревание.

*Таблица 15. Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений*

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодные	Ia	22-24	60-40	0,1
Теплые	Ia	23-25	60-40	0,1

Однако условия работы ограничиваются допустимыми величинами показателей микроклимата, которые приведены в таблице 16.

*Таблица 16 – Допустимые величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений.*

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С		Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		диапазон ниже оптимальных величин	диапазон выше оптимальных величин		Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин
Холодные	Ia	20,0-21,9	24,1-25,0	15-75	0,1	0,1
Теплые	Ia	21,0-22,9	25,1-28,0	15-75	0,1	0,2

#### *6.1.4. Электромагнитное поле*

Электромагнитное поле – это силовое поле, образованное вокруг электрического тока, эквивалентное электрическому полю и магнитному полю, расположенным под прямыми углами друг к другу. Основными источниками электромагнитных полей являются линии электропередач, домашняя электропроводка, инструменты с приводом от двигателя, экраны компьютеров, телекоммуникации и устройства для вещания, мобильные телефоны.

В рассматриваемом помещении, основным источником электромагнитного излучения можно считать ПК, частоты излучения приведены в таблице 17.

*Таблица 17 – Частоты излучения ПК*

Источник	Диапазон частот
Монитор:	
Сетевой трансформатор блока питания	50 Гц
статический преобразователь напряжения в импульсном блоке питания	20 – 100 кГц
блок кадровой развертки и синхронизации	
ускоряющее анодное напряжение монитора (только для мониторов с ЭЛТ)	48 – 160 Гц
Системный блок	50 Гц – 1000 МГц
Устройства ввода/вывода информации	0 Гц, 50 Гц
Источники бесперебойного питания	50 Гц, 20 – 100 кГц

В России система стандартов по электромагнитной безопасности складывается из ГОСТ и СанПиН. Предельно допустимые значения плотности потока энергии электромагнитного поля составляют – 25 мкВт/см<sup>2</sup> в течение 8 часов, 100 мкВт/см<sup>2</sup> максимальное значение не превышает 1000 мкВт/см<sup>2</sup>.

Электромагнитное поле с частотой от 60 кГц до 300 МГц нормируются отдельно по электрической и по магнитной составляющей, т.к. на этих частотах на человека действуют и электрическое, и магнитное поле. Для полей СВЧ диапазона (300 МГц - 300 ГГц) нормируют предельно-допустимую плотность потока энергии, которая не должна превышать 10 Вт/м<sup>2</sup> Предельно допустимые уровни электромагнитного поля для ПК приведены в таблице 18.

*Таблица 18– Предельно допустимые уровни электромагнитного поля*

Источник	Диапазон	Значение ПДУ
Видеодисплейный терминал ПЭВМ	5 Гц – 2 кГц	$E_{пду} = 25 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 250 \text{ нТл}$
	2 – 400 кГц	$E_{пду} = 2,5 \text{ В/м}$ $B_{пду} = 25 \text{ нТл}$
	Поверхностный электростатический потенциал	$V = 500 \text{ В}$

#### *6.1.5. Психофизические факторы*

К опасным и вредным психофизиологическим производственным факторам относятся физические (статические, динамические и гиподинамические) и нервно-психические перегрузки (умственные, зрительные, эмоциональные).

Так как выполнение работ связано с постоянным использованием ПК, то имеет место статическая физическая нагрузка в течение всего дня, что сказывается отрицательно для работника. Это может привести к нарушению кровообращения в нижних конечностях и органах тазовой области, гиподинамии – нарушению функций организма при ограниченно двигательной активности, а также падению зрения Для профилактики гиподинамии необходимо исключение статической работы, а так же изменение рабочей позы в процессе работы, проведение производственной гимнастики с рациональным комплексом физических упражнений и т.п.

Данная работа относится к формам труда с высоким нервно-эмоциональным напряжением. Исполнителю необходимо поддерживать уровень концентрации для непрерывного процесса работы с большими пакетами данных, выявления ошибок в ходе их обработки, нахождения «особых» точек в массивах действительных чисел и ввода печатного текста, что при длительной занятости может отразиться в виде снижения концентрации и ухудшения психологического состояния. Кроме негативного влияния на опорно-двигательную систему, постоянная работа за компьютером влияет на зрение работника, что сказывается на усталости глаз и возможного ухудшения зрения, так как в течение дня используется достаточно яркий экран, высокая концентрация на изображении заставляет моргать реже, от чего глаза пересыхают и быстрее устают. Во избежание этого нужно делать после каждых 20 минут работы перерыв на 20 секунд и смотреть на дальние объекты на расстоянии не менее 6 метров. Также для защиты глаз от излучения монитора желательно ношение очков с отражающим покрытием. Во избежание потери трудоспособности работника, предусматриваются комнаты психологической разгрузки.

## **6.2. Электробезопасность**

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей от вредного и опасного воздействия электрического тока, электрической дуги, электромагнитного поля и статического электричества.

Согласно требованиям электробезопасности (ГОСТ 12.1.019-79 «ССБТ. Электробезопасности. Общие требования и номенклатура видов защиты»). Всё электрооборудование и приборы должны находиться на специально отведенных местах и заземлены. Сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом.

В настоящее время большая доля внимания уделена электробезопасности, так как использование в повседневной жизни различного

вида электроустановок неуклонно растет. Анализ опасности электрических сетей практически сводится к определению значения тока, протекающего через тело человека в различных условиях, в которых может оказаться человек при эксплуатации электрических сетей. Безопасной для человека является величина переменного тока – 10мА, постоянного – 50мА, безопасное напряжение 12В.

В используемом помещении применяются установки напряжением до 1 кВ. По электробезопасности помещение относится к первому классу – помещения без повышенной опасности (сухое, хорошо отапливаемое, помещение с токонепроводящими полами, с температурой 18—20°, с влажностью 40-50%).

Основными техническими мероприятиями по защите персонала от поражения электрическим током, согласно ПУЭ, являются защитное заземление, автоматическое отключение питания, устройства защитного отключения. В рабочей зоне предусмотрены все перечисленные мероприятия. В целях профилактики периодически проводится инструктаж работников по технике безопасности.

### **6.3. Чрезвычайные ситуации**

Чрезвычайная ситуация (ЧС) – состояние, при котором в результате возникновения источника чрезвычайной ситуации на объекте, определенной территории или акватории нарушаются нормальные условия жизни и деятельности людей, возникает угроза их жизни и здоровью, наносится ущерб имуществу населения, народному хозяйству и окружающей природной среде.

Чрезвычайные ситуации бывают техногенные и природные. Техногенные чрезвычайные ситуации вызваны производственной деятельностью человека, в то время как природные ЧС возникают по причине природных явлений и процессов. Так, к техногенным чрезвычайным ситуациям относятся пожары и взрывы на производстве, аварии с выбросом химически опасных или радиоактивных веществ и т.д. Природные ЧС могут возникнуть ввиду

наводнения, заморозка, урагана и т.д. Рассмотрим по одному примеру ЧС вышеупомянутых типов и соответствующие им действия по обеспечению безопасности.

### *6.3.1. Предупреждение чрезвычайных ситуаций*

Предупреждение чрезвычайных ситуаций - это комплекс мероприятий, проводимых заблаговременно и направленных на максимально возможное уменьшение риска возникновения чрезвычайных ситуаций, а также на сохранение здоровья людей, снижение размеров ущерба природной среде и материальных потерь в случае их возникновения. Это понятие характеризуется также как совокупность мероприятий, проводимых федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления и организационными структурами РСЧС, направленных на предотвращение чрезвычайных ситуаций и уменьшение их масштабов в случае возникновения (ГОСТ Р22.0.02-94).

Комплекс мер по предупреждению чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера включает меры организационного, организационно-экономического, инженерно-технического и специального характера.

### *6.3.2. Пожарная безопасность*

Одним из наиболее распространенных и опасных видов техногенных ЧС является пожар. Пожаром называется неконтролируемое горение вне специального очага. Пожары причиняют значительный материальный ущерб, в ряде случаев вызывают тяжелые травмы и гибель людей. основополагающими законодательными актами в области пожарной безопасности являются Федеральные законы "О пожарной безопасности" и "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности", определяющие общие правовые, экономические и социальные основы обеспечения пожарной безопасности в Российской Федерации.

Технический регламент о требованиях пожарной безопасности регламентирует классификацию зданий по степени огнестойкости,

конструктивной и функциональной пожарной опасности. По пожарной опасности помещение и здание возможно отнести к классу Д, т.е. к помещениям, в которых находятся (обрабатываются) негорючие вещества и материалы в холодном состоянии.

Основными видами защиты различных объектов от пожаров, являются средства сигнализации и пожаротушения. В рассматриваемом здании предусмотрена электрическая пожарная сигнализация, позволяющая быстро и точно указать место возникновения пожара. Сигнализация обеспечивает автоматический ввод в действие предусмотренных на объекте средств пожаротушения и дымоудаления.

В здании существуют пожарные краны. В качестве первичных средств пожаротушения используются углекислотные огнетушители ОУ-5. Преимущества углекислотных огнетушителей: эффективность тушения жидких и газообразных веществ и электроустановок под напряжением до 1000 В; отсутствие следов тушения; диапазон рабочих температур от -40 °С до +50 °.

Необходимость разработки плана эвакуации людей в случае пожара, инструкций к нему, а так же проектирование системы оповещения людей о пожаре в школах, назначение лиц имеющих право на её включение регламентированы п.п.16,17,102 ППБ 01-03. План эвакуации из рассматриваемого офисного помещения, изображен в Приложении В.

### *6.3.3 Природная ЧС*

В качестве чрезвычайной ситуации природного характера рассмотрим резкое понижение температуры воздуха окружающей среды. Такое чрезвычайное природное событие может привести к нарушению производственного процесса, недопустимому изменению микроклимата рабочих помещений, транспортным авариям и т.д. В связи с этим необходим ряд мер, который позволит избежать возможных аварийных ситуаций и различных нарушений рабочего процесса.

В случае такой чрезвычайной ситуации необходимо важным является наличие системы климат контроля, которая бы обеспечивала значения параметров микроклимата рабочих помещений в допустимом диапазоне. В случае выхода из строя системы отопления необходимо предусмотреть наличие обогревателей различного типа, в т.ч. газовых на случай отключения или перебоев электроснабжения.

Также рекомендуется организация дополнительного служебного транспорта для лучшего сообщения, перемещения сотрудников и мобильности их в достижении аварийных участков

#### **6.4. Охрана окружающей среды**

Охрана окружающей среды представляет собой комплекс мер, направленный на ограничение негативного воздействия человеческой деятельности на природу.

Одним из таких факторов является неподобающая утилизация люминесцентных ламп, используемых в системе освещения рабочего помещения. Люминесцентные лампы содержат от 3 до 5 мг ртути и относятся к 1 классу токсичных отходов. Следовательно, такого типа лампы требуют особые условия хранения, эксплуатации и утилизации.

Проблема переработки промышленного и бытового мусора значительно упрощается процессом его сортировки. В группе, в которой выполнялась данная работа, организован сбор промышленных отходов, сортировка и отправка их на утилизацию.

#### **6.5. Выводы**

В результате рассмотрения безопасности работы и гигиены труда при осуществлении анализа данных с продолжительных измерений характеристик ГЭУ были рассмотрены факторы техногенной безопасности. Кроме того, были рассмотрены различные чрезвычайные ситуации и поведение в них. В целях практической работы, был произведен расчет искусственной освещенности

рабочей зоны офисного помещения, в котором проводилась работа. В результате расчета искусственного освещения было выявлено, что лампы ЛД типа ОД мощностью 30 Вт, применяемые для освещения рабочего кабинета, соответствуют нормам.

## Список литературы

1. Knoll G. F. Radiation detection and measurement. – John Wiley & Sons, 2010.
2. Sauli F. Gaseous radiation detectors: fundamentals and applications. – Cambridge University Press, 2014. – №. 36.
3. Sauli F. Principles of operation of multiwire proportional and drift chambers. – Cern, 1977. – №. CERN-77-09.
4. Charpak G. et al. The use of multiwire proportional counters to select and localize charged particles //Nuclear Instruments and Methods. – 1968. – Т. 62. – №. 3. – С. 262-268.
5. Nobel Media AB. Press Release: The 1992 Nobel Prize in Physics, 2014. URL [http://www.nobelprize.org/nobel\\_prizes/physics/laureates/1992/press.html](http://www.nobelprize.org/nobel_prizes/physics/laureates/1992/press.html)
6. Oed A. Position-sensitive detector with microstrip anode for electron multiplication with gases //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1988. – Т. 263. – №. 2-3. – С. 351-359.
7. Biagi S. F., Jones T. J. The microdot gas avalanche chamber: an investigation of new geometries //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1995. – Т. 361. – №. 1-2. – С. 72-76.
8. Bartol F. et al. The CAT pixel proportional gas counter detector //Journal de Physique III. – 1996. – Т. 6. – №. 3. – С. 337-347.
9. Giomataris Y. et al. MICROMEGAS: a high-granularity position-sensitive gaseous detector for high particle-flux environments //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1996. – Т. 376. – №. 1. – С. 29-35.
10. Sauli F. GEM: A new concept for electron amplification in gas detectors //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators,

Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 1997. – T. 386. – №. 2-3. – C. 531-534.

11. Altunbas C. et al. Construction, test and commissioning of the triple-gem tracking detector for compass //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2002. – T. 490. – №. 1. – C. 177-203.

12. Bouclier R. et al. The gas electron multiplier (GEM) //IEEE Transactions on Nuclear Science. – 1997. – T. 44. – №. 3. – C. 646-650.

13. Sauli F., Ropelewski L., Everaerts P. Ion feedback suppression in time projection chambers //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2006. – T. 560. – №. 2. – C. 269-277.

14. Ketzer B. et al. GEM detectors for COMPASS //IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2001. – T. 48. – №. 4. – C. 1065-1069.

15. Bozzo M. et al. Design and construction of the triple gem detector for totem //Nuclear Science Symposium Conference Record, 2004 IEEE. – IEEE, 2004. – T. 1. – C. 447-450.

16. Kozlov A. et al. Development of a triple GEM UV-photon detector operated in pure CF 4 for the PHENIX experiment //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2004. – T. 523. – №. 3. – C. 345-354.

17. Sauli F. Development and applications of gas electron multiplier detectors //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – T. 505. – №. 1. – C. 195-198.

18. Sauli F. Imaging with the gas electron multiplier //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2007. – T. 580. – №. 2. – C. 971-973.

19. Mazon D. et al. Design of soft-X-ray tomographic system in WEST using GEM detectors //Fusion Engineering and Design. – 2015. – T. 96. – C. 856-860.
20. Ohshita H. et al. Development of a neutron detector with a GEM //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2010. – T. 623. – №. 1. – C. 126-128.
21. Barbeau P. S. et al. Toward coherent neutrino detection using low-background micropattern gas detectors //IEEE Transactions on Nuclear Science. – 2003. – T. 50. – №. 5. – C. 1285-1289.
22. Sauli F. The gas electron multiplier (GEM): Operating principles and applications //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2016. – T. 805. – C. 2-24.
23. Ketzer B. et al. A time projection chamber for high-rate experiments: Towards an upgrade of the ALICE TPC //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2013. – T. 732. – C. 237-240.
24. Renato Negro, Michael Jung and Chilo Garabatos. Ageing studies with GEMs at relatively high gains presented at MPGD Applications Beyond Fundamental Science Workshop and the 18th RD51 Collaboration Meeting, Aveiro, Portugal. [https://indico.cern.ch/event/525268/contributions/2301380/attachments/1335653/2008900/Ageing\\_MPGD\\_Sept\\_2016\\_v2.pdf](https://indico.cern.ch/event/525268/contributions/2301380/attachments/1335653/2008900/Ageing_MPGD_Sept_2016_v2.pdf)
25. Va'vra J. Physics and chemistry of aging—early developments //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – T. 515. – №. 1. – C. 1-14.
26. Capeans M. Aging and materials: lessons for detectors and gas systems //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – T. 515. – №. 1. – C. 73-88.

27. Binkley M. et al. Aging in large CDF tracking chambers //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – T. 515. – №. 1. – C. 53-59.
28. Guirl L. et al. An aging study of triple GEMs in Ar–CO<sub>2</sub> //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2002. – T. 478. – №. 1. – C. 263-266.
29. Alfonsi M. et al. Aging measurements on triple-GEM detectors operated with CF<sub>4</sub>-based gas mixtures //Nuclear Physics B-Proceedings Supplements. – 2006. – T. 150. – C. 159-163.
30. Titov M. RADIATION DAMAGE AND LONG-TERM AGING IN GAS //Innovative Detectors for Supercolliders: Proceedings of the 42nd Workshop of the INFN ELOISATRON Project, Erice, Italy, 28 Sept-4 Oct 2003. – World Scientific, 2004. – T. 25. – C. 199.
31. Altunbas M. C. et al. Aging measurements with the gas electron multiplier (GEM) //Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. – 2003. – T. 515. – №. 1. – C. 249-254.
32. Hans Muller. Analogue Pickup Amplifiers/Shapers, APICs presented at MPGD Applications Beyond Fundamental Science Workshop and the 18th RD51 Collaboration Meeting, Aveiro, Portugal. [https://indico.cern.ch/event/525268/contributions/2296991/attachments/1335991/2009514/APIC\\_Slides\\_Aveiro\\_2016.pdf](https://indico.cern.ch/event/525268/contributions/2296991/attachments/1335991/2009514/APIC_Slides_Aveiro_2016.pdf)
33. Sharma A., Veenhof R. Properties of some gas mixtures used in tracking detectors //SLAC Journal, ICFA. – 1998. – T. 16.
34. Everaerts P. Rate capability and ion feedback in GEM detectors : дис. – Universiteit Gent, 2006.
35. Thuiner P. Ion space-charge effects in multi-GEM detectors: challenges and possible solutions for future applications : дис. – CERN.

## Приложение А

*Таблица А1. SWOT-анализ*

	<p><b>Сильные стороны исследования (strengths)</b>  <b>С1. Применение новейшего оборудования:</b> в качестве предусилителя сигнала была выбрана новейшая разработка, произведенная в научной группе по разработке газовых детекторов; для анализа газового состава также впервые был применен анализатор, разработанный научной группой  <b>С2. Прикладной характер работы:</b> результаты работы представляют большую ценность для рабочих групп на экспериментах в области физики высоких энергий  <b>С3. Фундаментальность исследований:</b> физические процессы, изучаемые в ходе работы, являются основой физики частиц, этот факт может быть полезным при планировании дальнейших исследований</p>	<p><b>Слабые стороны исследования (weaknesses)</b>  <b>Сл1. Высокая цена исходных материалов и оборудования:</b> микроструктуры, применяющиеся в исследованиях, сложны и трудоемки в производстве, в следствие чего имеют высокую стоимость; кроме того, оборудование, необходимое в ходе измерений, также дорогостоящее  <b>Сл2. Сложность выполнения:</b> проведение измерений было осложнено в следствие необходимости контролировать множество параметров, вытекающих из протекания естественных гетерогенных процессов в газах</p>
<p><b>Возможности исследования (opportunities)</b>  <b>В1.</b> Ориентация на полученные результаты при проведении экспериментов в области физики высоких энергий  <b>В2.</b> Использование полученных теоретических знаний в области физики частиц  <b>В3.</b> Применение способов измерений, апробированных в работе, в дальнейших исследованиях по старению газовых детекторов</p>	<p><b>В1С2.</b> Для В1 С2 является определяющей, так как сегодня существует необходимость развития области физики высоких энергий  <b>В2С3.</b> Поскольку область физики частиц является сравнительно молодой, фундаментальность изучаемых процессов играет важную роль  <b>В3С1.</b> Для будущих исследований по старению газовых детекторов С1 является важным фактором с точки зрения упрощения экспериментов и возможности получать достоверные результаты</p>	<p><b>В1Сл2.</b> Сложность проведения измерений может отразиться на обработке результатов и из интерпретации, что может послужить ограничением В1  <b>В3Сл1.</b> Крупные затраты на проведение измерений по старению детектирующих систем могут послужить препятствием для проведения дальнейших, более точных и глубоких исследований</p>
<p><b>Угрозы проведению исследования (threats)</b>  <b>У1. Возможность отказа от применения микроструктур, изученных в работе</b>  <b>У2. Наличие конкурентных структур схожего назначения</b></p>	<p><b>У1С2.</b> Отказ от Газовых электронных умножителей можно избежать путем совершенствования их свойств и применения более совершенного оборудования, например, уменьшения энергетического разрешения, применяя электронику с меньшим временем формирования сигнала  <b>У2С1.</b> Оборудование, применяемое в экспериментах по физике частиц в большинстве случаев несовместимо с конкурирующими структурами</p>	<p><b>У1У2Сл1.</b> В следствие высокой стоимости ГЭУ и оборудования, применяемого в ходе их эксплуатации, возможен отказ от их применения в области физики высоких энергий и замена на другие аналогичные устройства</p>

## Приложение Б

*Таблица Б1. Календарный план-график проведения НИОКР по теме*

Вид работ	Исп.	T <sub>кл</sub> , дни	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Февраль	Март	Апрель	Май
Составление ТЗ, планирование эксперимента	Р	7								
Изучение литературы	С	106								
Подготовка прототипа детектора	С	10								
Подготовка измерительной системы	С, Р	28								
Проведение измерений, обработка результатов	С	70								
Оценка результатов	Р, С	21								
Написание выпускной квалификационной работы	С	78								

Руководитель

Студент

## Приложение В

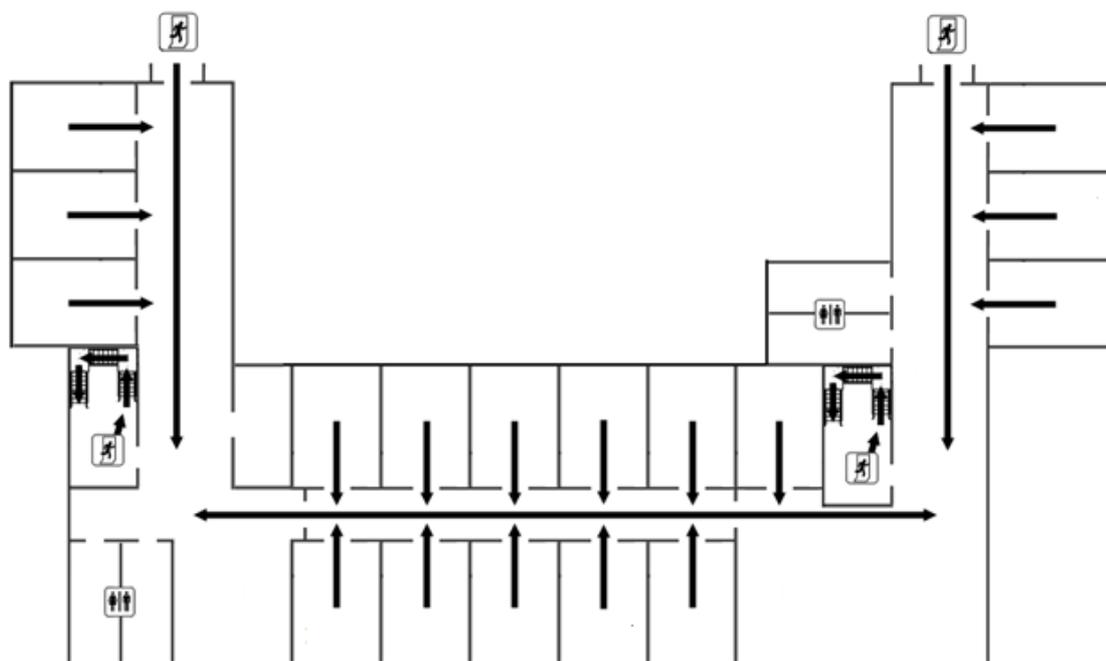


Рисунок 27. План эвакуации людей при пожаре.

## Приложение Г

Глава 1  
Введение  
Глава 2  
Измерения по старению ГЭУ под воздействием рентгеновского излучения  
Глава 3  
Результаты измерений по старению ГЭУ  
Глава 4  
Заключение

Студент:

Группы	ФИО	Подпись	Дата
0Б31	Завазиева Дарина Тимуровна		

Консультант кафедры ОФ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Заведующий кафедрой	Лидер Андрей Маркович	к.ф.-м.н.		

Консультант – лингвист кафедры ИЯ ФТИ:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель кафедры иностраных языков	Кабрышева Оксана Павловна			