



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

Школа инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
ООП/ОПОП Ядерная физика и технологии
Отделение школы (НОЦ) отделение ядерно-топливного цикла

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА БАКАЛАВРА

Тема работы
Определение временных характеристик электронного пучка по вторичному излучению УДК 536.533:621.684.665.032.266

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А91	Макаров Владимир Станиславович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Черепенников Ю.М.	к.т.н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Л.Ю.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Ю.В.	к.т.н.		

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП/ОПОП, должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Селиваникова О.В.	-		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ООП/ОПОП

Код Компетенции	Наименование компетенции
Универсальные компетенции	
УК(У)-1	Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач
УК(У)-2	Способен определять круг задач в рамках поставленной цели и выбирать оптимальные способы их решения, исходя из действующих правовых норм, имеющихся ресурсов и ограничений
УК(У)-3	Способен осуществлять социальное взаимодействие и реализовывать свою роль в команде
УК(У)-4	Способен осуществлять деловую коммуникацию в устной и письменной формах на государственном языке Российской Федерации и иностранном(-ых) языке(-ах)
УК(У)-5	Способен воспринимать межкультурное разнообразие общества в социально-историческом, этическом и философском контекстах
УК(У)-6	Способен управлять своим временем, выстраивать и реализовывать траекторию саморазвития на основе принципов образования в течение всей жизни
УК(У)-7	Способен поддерживать должный уровень физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности
УК(У)-8	Способен создавать и поддерживать безопасные условия жизнедеятельности, в том числе при возникновении чрезвычайных ситуаций
УК(У)-9	Способен проявлять предприимчивость в профессиональной деятельности, в т.ч. в рамках разработки коммерчески перспективного продукта на основе научно-технической идеи
Общепрофессиональные компетенции	
ОПК(У)-1	Способен использовать базовые знания естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОПК(У)-2	Способен осуществлять поиск, хранение, обработку и анализ информации из различных источников и баз данных, предоставлять ее в требуемом формате с использованием информационных, компьютерных и сетевых технологий
ОПК(У)-3	Способен использовать в профессиональной деятельности современные информационные системы, анализировать возникающие при этом опасности и угрозы, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
Профессиональные компетенции	
ПК(У)-1	Способность к формированию технических требований и заданий на проектирование и конструирование оптических и оптико-электронных приборов, комплексов и их составных частей
ПК(У)-2	Способность к математическому моделированию процессов и объектов оптоэлектроники и их исследованию на базе профессиональных пакетов автоматизированного проектирования и самостоятельно разработанных программных продуктов

ПК(У)-3	Готовностью к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных
ПК(У)-4	Способностью использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готовностью к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способностью использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способностью к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готовностью к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способностью к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готовностью к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способностью к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готовностью к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13	Способностью к оценке ядерной и радиационной безопасности, к оценке воздействия на окружающую среду, к контролю за соблюдением экологической безопасности, техники безопасности, норм и правил производственной санитарии, пожарной, радиационной и ядерной безопасности, норм охраны труда
ПК(У)-14	Готовностью разрабатывать способы применения ядерно-энергетических, плазменных, лазерных, сверхвысокочастотных и мощных импульсных установок, электронных, нейтронных и протонных пучков, методов экспериментальной физики в решении технических, технологических и медицинских проблем
ПК(У)-15	Способностью к составлению технической документации (графиков работ, инструкций, планов, смет, заявок на материалы, оборудование), а также установленной отчетности по утвержденным формам

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

Школа инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки (ООП/ОПОП) 14.03.02 Ядерные физика и технологии
 Уровень образования Бакалавриат
 Отделение школы (НОЦ) отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения весенний семестр 2022/2023 учебного года

**КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН
выполнения выпускной квалификационной работы**

Обучающийся:

Группа	ФИО
0A91	Макаров Владимир Станиславович

Тема работы:

Определение временных характеристик электронного пучка по вторичному излучению

Срок сдачи обучающимся выполненной работы:	05.06.2023
--	------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
24.04.2023	Формирование целей и задач ВКР, задания на ВКР, плана-графика выполнения ВКР и титульного листа	10
1.05.2023	Обзор литературных источников	10
8.05.2023	Выбор комплектующих для детектирующих устройств	10
15.05.2023	Разработка принципиальных схем включения детектирующих устройств	10
22.05.2023	Изготовление детектирующих устройств	10
29.05.2023	Определение временных характеристик электронного пучка и анализ полученных данных	10
3.06.2023	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	10
3.06.2023	Социальная ответственность	10
4.06.2023	Заключение по работе	10

5.06.2023	Представление итогового варианта пояснительной записки к ВКР	10
-----------	--	----

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Черепенников Ю.М.	к.т.н		24.04.2023

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП/ОПОП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ст. преподаватель ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Селиваникова О.В.	-		24.04.2023

Обучающийся

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А91	Макаров Владимир Станиславович		24.04.2023

Содержание

Введение.....	12
1. Обзор литературы.....	14
1.1. Сцинтилляторы.....	14
1.2. Фотоэлектронный умножитель.....	17
1.3. Использование рiп-диода в качестве фотодетектора	21
1.4. Диагностика рентгеновского излучения.....	23
1.4.1. Сцинтилляционные детекторы на основе ФЭУ.....	23
2. Экспериментальная часть.....	25
2.1. Выбор комплектующих детектирующих устройств	25
2.1.1. Сцинтиллятор	25
2.1.2. ФЭУ 87	26
2.1.3. СППДЗ.....	28
2.2. Определение собственной задержки ФЭУ-87.....	31
2.3. Схема проведения измерений.....	32
2.4. Измерение временных характеристик	34
2.5. Заключение по главе.....	36
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение.....	39
3.1. Введение.....	39
3.2. Потенциальные потребители результатов исследования	39
3.3. Технология QuaD	40
3.4. SWOT-анализ.....	42
3.5. Структура работ в рамках научного исследования	45
3.6. Разработка графика проведения научного исследования	46

3.7.	Бюджет научно-исследовательской работы	50
3.7.1.	Расчет материальных затрат	50
3.7.2.	Расчет затрат на специальное оборудование	51
3.7.3.	Заработная плата исполнителей	53
3.7.4.	Отчисления во внебюджетные фонды	56
3.7.5.	Накладные расходы	57
3.7.6.	Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы.....	57
3.8.	Определение ресурсоэффективности исследования	58
3.9.	Вывод по разделу «Финансовый менеджмент»	60
4.	Социальная ответственность.....	63
4.1.	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	63
4.2.	Производственная безопасность	65
4.3.	Анализ опасных и вредных производственных факторов.....	67
4.3.1.	Шум	67
4.3.2.	Освещенность.....	67
4.3.3.	Микроклимат.....	71
4.3.4.	Электробезопасность.....	73
4.3.5.	Электромагнитное излучение.....	75
4.3.6.	Пожаро-взрывобезопасность	76
4.3.7.	Ионизирующее излучение	78
4.4.	Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях.....	81
4.5.	Заключение по главе	83
	Заключение	84

Приложение А	89
Приложение Б.....	90

Введение

С ростом технологий, применение ускоренных электронных пучков нашло множество применений в различных сферах деятельности человека. Ранее ускорители использовались в исследовании строения материи, и данный вид применения электронных пучков сохранил свою актуальность и по сей день. Также, они стали неотъемлемой частью таких сфер как: медицина (лучевая терапия, стерилизация медицинских инструментов), промышленность (радиационное модифицирование материалов), охрана окружающей среды (очистка вод, газов и твердых отходов) и таможенный контроль (досмотр грузов).

Одно из современных направлений развития ускорительной техники в перечисленных выше сферах деятельности – мощные импульсные ускорители. Для более эффективного использования энергии электронного пучка, получаемого на данных ускорителях, необходимо точное определение параметров пучка. К основным параметрам электронного пучка, относятся пространственно-энергетические характеристики, то есть энергия электронов и вид их распределения в пространстве за время ускорения.

Одним из перспективных направлений в экспресс-диагностике электронных пучков является измерение временных характеристик по вторичному излучению.

Целью данной работы является исследование временных характеристик электронного пучка, полученного на импульсном ускорителе, с помощью различных устройств детектирования (полупроводникового и сцинтилляционных детекторов).

Для выполнения цели работы поставлены следующие задачи:

- Выбор комплектующих для детектирующих устройств
- Разработка принципиальной электронной схемы включения устройств

- Изготовление устройств
- Определение временных характеристик электронного пучка с помощью изготовленных устройств

1. Обзор литературы

1.1. Сцинтилляторы

Сцинтилляторы – это вещества, проявляющие сцинтилляцию то есть излучающие свет при поглощении различного вида ионизирующего излучения (, альфа-частиц, электронов, гамма-квантов, и т. д.).

Они нашли свое применение в физике высоких энергий и радиометрии (сцинтилляционные детекторы), в медицине (томография), и в геофизике (гамма-каротаж).

Первый сцинтилляционный детектор назвался спинтарископом, и представлял собой экран, покрытый слоем сульфида цинка (ZnS). С помощью микроскопа на нем фиксировались вспышки, возникавшие при попадании в него заряженных частиц.

Создал данный прибор Вильям Крукс в 1903 г., и вместе с Эрнестом Резерфордом исследовал на нем рассеяние альфа частиц. Этот прибор стал прообразом современных сцинтилляционных детекторов.

Развитие электроники привело к тому что, начиная с сороковых годов световые вспышки от сцинтиллятора регистрируют фотоэлектронными умножителями (ФЭУ).

Наибольшее развитие физика сцинтилляторов приобрела в 90-е года XX в. и в начале нашего столетия. Это обусловлено развитием цифровых технологий, появлением фотодетекторов с малыми размерами и лучшими характеристиками, увеличением спроса на сцинтилляционные детекторы в промышленности. Сегодня открывается все больше новых материалов, обладающих характеристиками, близкими к идеальным. В качестве фотоприемника используются не только ФЭУ, но и лавинные фотодиоды, что позволяет сделать сцинтилляционный детектор более компактным. [10]

Сцинтилляционный детектор может быть не только в счетном режиме, то есть регистрировать число частиц, но и в спектрометрическом - измерять

энергию частиц, так как амплитуда импульса на выходе ФЭУ связана с величиной энергии, которую теряет частица в веществе сцинтиллятора.

Возможность сцинтилляторов эффективно регистрировать различное ионизирующее излучение обуславливается различными видами сцинтилляторов, с определенной чувствительностью к различным видам излучений, широкого диапазона энергий.

Виды сцинтилляторов:

- Неорганические
- Органические
 - Кристаллические
 - Пластмассовые
 - Жидкие
- Газообразные

Неорганические сцинтилляторы – кристаллы неорганических солей, в основном галоидные соединения щелочных металлов. Для увеличения светового выхода в кристаллы добавляют вещества его увеличивающие – активаторы, к примеру, талий. Наиболее популярными неорганическими сцинтилляторами являются: NaI(Tl) , CsI(Tl) , $\text{Bi}_4\text{Ge}_3\text{O}_{12}$ (BGO) и др.

Данный вид сцинтилляторов применяется в гамма спектрометрии за счет своих хороших физических свойств (высокая плотность и большой порядковый номер Z). Однако он обладает наименьшим временем высвечивания по сравнению с остальными видами сцинтилляторов - порядка 10^{-6} секунд, что негативно сказывается на его разрешающей способности.

Органические сцинтилляторы изготавливаются в виде монокристаллов, в виде жидких и твердых растворов ароматических соединений в растворителях.

Органические кристаллические сцинтилляторы - монокристаллы антрацена ($\text{C}_{14}\text{H}_{10}$), стильбена ($\text{C}_{14}\text{H}_{12}$), нафталина (C_{10}H_8) с антраценом (5%), толан (дифенилацетилен) и др.

Пластмассовые сцинтилляторы - п-Терфенил, 2,5-Дифенилоксазол, 1-Фенил-2-[4-бифенил]- этилен и др.

Жидкие органические сцинтилляторы. Это растворы флуоресцирующих веществ в прозрачных растворителях, мало поглощающих энергию излучения в фиолетовой и ультрафиолетовой частях спектра. Растворителями являются очищенные м-ксилол, толуол, фенилциклогексан

Все органические сцинтилляторы обладают, малыми временами высвечивания и меньшей плотностью по сравнению с неорганическими. Детекторы на их основе отличаются хорошей разрешающей способностью, обычно время высвечивания составляет 10^{-6} – 10^{-8} сек, но также они обладают меньшей эффективностью к γ -излучению. Обычно они, используются для регистрации и спектрометрии α - и β - частиц.

Газовые сцинтилляторы - тяжелые благородные газы (ксенон и криптон). Данные обладают линейной зависимостью величины сигнала от энергии частицы в широком диапазоне энергий, быстродействием и возможностью менять тормозную способность изменением давления. Кроме того, источник может быть введён в объём газового сцинтиллятора. Однако данный вид сцинтилляторов требует высокой чистоты газа и специального ФЭУ с кварцевым окном.

Наиболее традиционными сцинтилляционными детекторами являются твердые, а наиболее популярными — неорганические кристаллы NaI и CsI.

Эксплуатационные характеристики сцинтиллятора включают механические свойства (пластичность, хрупкость); химическую устойчивость; гидроскопичность; радиационную прочность; стойкость (температурная, радиационная).

К основным характеристикам сцинтиллятора также относятся [2]:

– Сцинтилляционная эффективность сцинтиллятора – отношение суммарной энергии фотонов сцинтилляции к энергии, выделенной ионизирующей частицей в сцинтилляторе:

– Сцинтилляционная эффективность является основной характеристикой сцинтиллятора, она определяет важнейшие параметры, такие как световой выход и энергетическое разрешение.

– Световой выход – количество фотонов сцинтилляции, прошедших через выходное окно детектора, на 1 МэВ энергии излучения, поглощенного сцинтиллятором.

Также выражается через технический энергетический выход – отношение суммарной энергии фотонов сцинтилляции, прошедших через выходное окно детектора, к энергии, выделенной ионизирующей частицей в сцинтилляторе:

– Время нарастания сцинтилляции, время затухания сцинтилляции и время высвечивания сцинтилляции (интервал времени, в течение которого интенсивность испускания фотонов сцинтилляции после однократного возбуждения уменьшается в e раз).

– Амплитудное разрешение – отношение ширины пика полного поглощения на половине высоты к положению максимума.

– Эффективность регистрации – отношение зарегистрированных ионизирующих частиц или фотонов к числу частиц или фотонов, попавшим на входное окно детектора.

Значения параметров сцинтилляторов могут варьироваться и зависят они от технологии производства (разница в концентрации активатора, наличия неконтролируемых примесей), а также условий измерения.

1.2. Фотоэлектронный умножитель

Сцинтилляции, возникающие в сцинтилляторах, обладают малой энергией, зависящей от типа сцинтиллятора и энергии ионизирующего излучения. Для преобразования и усиления сцинтилляции используются фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), в которых световой сигнал преобразуется в электрический [1].

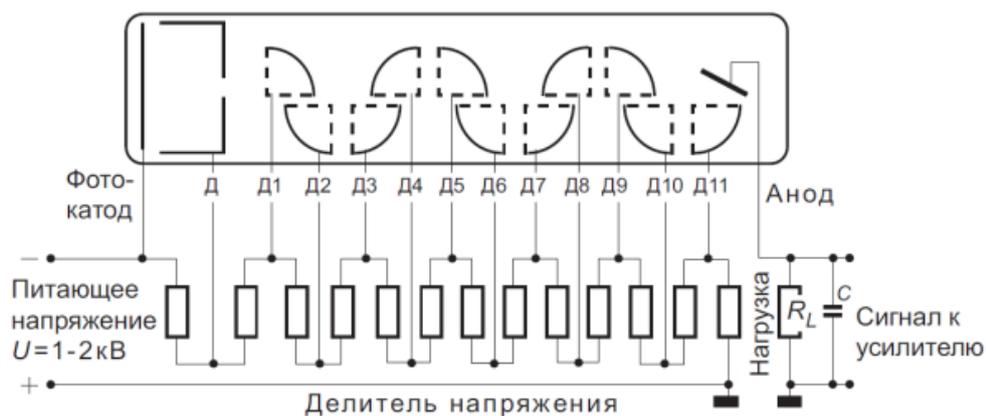


Рисунок 1 – Схема фотоэлектронного умножителя

Фотоэлектронный умножитель представляет собой стеклянный цилиндр, откаченный до остаточного давления не выше 10^{-6} мм рт.ст., в торце которого расположено прозрачное плоское окно, на поверхность которого нанесён тонкий слой вещества с малой работой выхода электронов (фотокатод), обычно на основе сурьмы и цезия.

Далее внутри цилиндра пространстве располагается серия динодов - электродов, на которые с помощью делителя напряжения от источника питания подаётся последовательно возрастающая разность потенциалов.

Диноды ФЭУ изготавливаются из вещества также как и фотокатод с малой работой выхода электронов. При бомбардировке их электронами, они испускают вторичные электроны в количествах, превышающих число первичных в несколько раз. Последний динод является анодом ФЭУ.

Важнейшими характеристиками ФЭУ являются:

- Спектральная характеристика
- Чувствительность фотокатода
- Анодная чувствительность
- Коэффициент усиления

Спектральная характеристика - зависимость спектральной чувствительности фотокатода от длины волны света, вызвавшей фотоэмиссию.

Чувствительность фотокатода характеризуется величиной квантового выхода фотоэмиссии или квантовой эффективностью. Это безразмерные величины, равные отношению числа эмитированных электронов к числу поглощенных (или упавших) квантов света [5].

Максимум чувствительности фотокатода может располагаться в области различных длин волн, в зависимости от его материала. У большинства сцинтилляторов спектр сцинтилляции находится в синей и зеленой области спектра, поэтому для совмещения с ФЭУ нужно, чтобы максимум чувствительности находился в соответствующем диапазоне длин волн [1].

Для определения анодной чувствительности фотокатода необходимо использовать стандартный источник света с известной величиной светового потока.

Анодная чувствительность фотокатода – это отношение измеренного значения анодного тока к величине, заранее известного, светового потока.

В паспортах ФЭУ обычно приводят величины напряжения питания, при которых анодная чувствительность составляет 10, 100, 1000 А/лм. Реже – значения напряжений, соответствующих определенным значениям спектральной анодной чувствительности [5].

Зная отношение анодной чувствительности к чувствительности фотокатода, можно найти коэффициент усиления ФЭУ, т.е. усиление его диодной системы. Этот коэффициент определяется числом диодов в системе умножения и усиления каждого каскада.

Стоит упомянуть, что коэффициент вторичной эмиссии, эффективность диодного каскада, а с ним и коэффициент усиления ФЭУ очень сильно зависят от напряжения питания [5]

Широкая номенклатура ФЭУ предопределила многообразие областей их применения, главными из которых являются инфракрасная спектрометрия, регистрация слабых оптических сигналов, сцинтилляционная и дозиметрическая аппаратура, регистрация коротких световых импульсов в

аппаратуре квантовой электроники, спектрозональная аппаратура, телевидение и фототелеграфия.

Если включить ФЭУ и защитить его от излучения, то прибор, соединенный с ФЭУ, даст показания. Эти показания, влияют на точность измерения, накладывая ограничения на детектирование излучения низких энергий, и вызваны они в основном темновым током и шумами.

Темновым называется ток - протекающий в анодной цепи при подаче напряжения на ФЭУ, полностью защищенного от воздействия света. Причины возникновения темнового тока меняются в зависимости от условий эксплуатации и состоянии окружающей среды (приложенное напряжение, температура, влажность и т.д.), так же зависят от условий хранения и освещения. Некоторые из причин являются временными, другие же постоянными. К постоянным причинам темнового тока относятся:

- токи утечки;
- термоэлектронная эмиссия;
- полевая эмиссия;
- фоновое излучение [4].

Токи утечки являются единственной причиной непрерывной составляющей темнового тока и обусловлена проводимостью используемых щелочных металлов либо внешним загрязнением, таких как пыль, влага, жир. Токи утечки изменяется практически линейно высокому напряжению. Поэтому ток утечки является основной причиной возникновения темнового тока, если ФЭУ работает при малом усилении или при низкой температуре, когда термоэлектронная эмиссия незначительна.

Также одной из основных причин темнового тока является термоэлектронная эмиссия с фотокатода и последующих динодов. Ее величина определяется размером и материалом фотокатода, и его температурой [2]. С понижением температуры термоэлектронная эмиссия быстро уменьшается. При комнатной температуре термоэлектронная эмиссия является основной причиной темнового тока.

Автоэлектронная эмиссия («полевая», «холодная») – отрыв электронов от поверхности твердого тела вытягивающим полем. Это – квантовомеханический эффект прохождения электронов сквозь потенциальный барьер, не имеющий объяснения в классической физике [7]. Частота темновых импульсов из-за автоэлектронной эмиссии мало зависит от температуры. Однако зависит от приложенного напряжения и увеличивается быстрее, чем усиление ФЭУ, что и является одним из основным факторов, устанавливающих практический предел усиления [4].

Фоновое излучение, в том числе от материалов трубки, например, ^{40}K , является еще одной причиной темновых импульсов. Заряженные частицы высокой энергии (например, космические лучи) могут вызывать черенковское излучение в окне трубки, что, в свою очередь, вызывает фотоэмиссию. Черенковское излучение может генерировать несколько фотонов одновременно, поэтому вызываемые им импульсы темнового тока (многоэлектронный шум) часто бывают с большой амплитудой [4].

1.3. Использование pin-диода в качестве фотодетектора

Pin-диод - разновидность диода, в котором две сильнолегированные области полупроводника p- и n-типа разделены достаточно широкой областью полупроводника с собственной проводимостью (i-область).

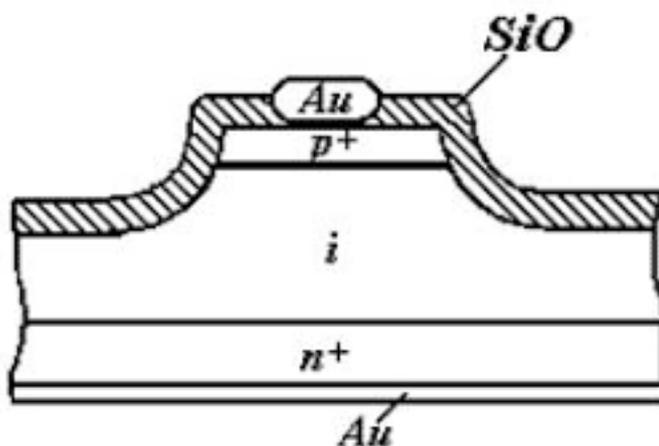


Рисунок 2 – Структура pin-диода

Данный диод работает как фотодетектор только при обратном смещении. Анод соединен с отрицательной клеммой аккумулятора. Положительная сторона батареи подключена к катоду через резистор. Когда к устройству прикладывается напряжение, область истощения начинает расширяться в собственном слое. Ширина продолжает увеличиваться, пока не достигнет толщины I слоя. В результате область истощения освобождается от каких-либо свободных носителей заряда. Ток прекращает течь. В этот момент рекомбинация электронов и дырок в обедненной области не происходит.

Когда свет или излучение достаточной энергии попадает в I-область, каждый поглощенный фотон порождает одну электронно-дырочную пару. Эти пары испытывают сильную силу из-за барьерного электрического поля, присутствующего в обедненной области. Эта сила разделяет пары, и носители заряда движутся в противоположных направлениях, и возникает ток. Таким образом оптическая энергия преобразуется в электрическую, генерируется фототок

Данные диоды, только преобразуют свет или в данном случае рентгеновское излучение в электрический ток, но не усиливают его, в отличие от лавинных фотодиодов и фототранзисторов.

Данный вид диодов используется в радио- и СВЧ трактах, как аттенюаторы, модуляторы, переключатели и фотодетекторы.

Характеристики фотодиода:

- Вольтамперная. Определяет изменение величины светового тока в соответствии с меняющимся напряжением при стабильном потоке света и темновом токе;
- Спектральная. Характеризует влияние длины световой волны на фототок;
- Постоянная времени – это период, в ходе которого ток реагирует на увеличение затемнения или освещенности на 63% от установленного значения;

- Порог чувствительности – минимальный световой поток, на который реагирует диод;
- Темновое сопротивление – показатель, характерный для полупроводника при отсутствии света;

1.4. Диагностика рентгеновского излучения

1.4.1. Сцинтилляционные детекторы на основе ФЭУ

В настоящее время для исследования характеристик рентгеновского излучения активно применяются сцинтилляционные детекторы в сборке с ФЭУ.

Пример устройства сцинтилляционного детектора выглядит следующим образом:



Рисунок 3 - Пример устройства сцинтилляционного детектора

Преимущества сцинтилляционных детекторов:

- Высокая эффективность регистрации гамма излучения за счет различных видов ФЭУ и сцинтилляторов;
- Хорошее временное разрешение (порядка 10^{-10} с);
- Одновременная работа в качестве спектрометра и детектора излучения;
- Возможность изготовления счетчиков различной формы.

Недостатками данных счетчиков является низкая чувствительность к частицам с невысокой энергией. При их применении в виде спектрометров значительно усложняется обработка полученных данных, так как спектр имеет сложный вид.

1.4.2 Полупроводниковые детекторы на основе pín-диода

Наряду с сцинтилляционными детекторами, для исследования рентгеновского излучения применяются детекторы на основе pín-диодов. Данный вид детекторов имеет ряд преимуществ перед сцинтилляционными детекторами, которые обуславливаются характеристиками самого диода.

Свет, а также гамма-излучение и рентгеновское излучение могут генерировать носители заряда. Когда фотоны встречаются с металлическим контактом диода, возникает большое количество электронно-дырочных пар. Электроды собирают их, и генерируется сигнал, который впоследствии регистрируется и анализируется. Несомненным преимуществом данного вида диагностики являются: малые размеры детектора, относительно простая схема электронного включения. Из преимуществ вытекают недостатки: из-за простоты с помощью данных детекторов сложно анализировать энергетическое разрешение попавшего излучения. Необходимо либо увеличивать размер детектора, либо усиливать сигнал, то есть усложнять электронику.

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

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0A91	Макарову Владимиру Станиславовичу

Школа	ИЯТШ	Отделение школы (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	14.03.02 Ядерные физика и технологии

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

1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Бюджет НИИ – 382704,6 руб. Затраты на з/п – 60493,8 руб. Материально-технические затраты НИИ - 295932,32 руб.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	Тариф на электроэнергию – 4,39 руб. за кВт·ч
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %. Районный коэффициент – 1,3 Накладные расходы – 12%

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Потенциальные потребители результатов исследования. Анализ конкурентных технических решений. Проведение SWOT-анализа
2. Планирование и формирование бюджета	Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности	Проведение оценки сравнительной эффективности проекта.

Перечень графического материала:

1 Карта сегментирования целевого рынка
2 Матрица SWOT
3 График проведения и бюджет НИ
4 Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НИ

Дата выдачи задания к разделу в соответствии с календарным учебным графиком	24.04.2023
--	-------------------

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

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП ТПУ	Спицына Любовь Юрьевна	к.э.н.		

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0A91	Макаров Владимир Станиславович		

измерением временных характеристик по первичному электронному пучку и из этого складывается область его применения. В целом он находит свое применение в промышленных установках, медицинских и исследовательских ускорителях

Таблица 3 – Карта сегментирования целевого рынка

		Измерение временных характеристик по вторичному излучению		
Вид ускорителей		Промышленные	Медицинские	Исследовательские
Потребность	Сильная			
	Средняя			
	Слабая			

Наиболее высокая потребность наблюдается в сегменте промышленных установок, так как для эффективного использования их энергии пучка необходимо исключить прямой контакт пучка и детектирующего устройства, что обеспечивает данный способ измерения временных характеристик.

3.3. Технология QuaD

Технология QuaD (Quality Advisor) позволяет оценить характеристики разработки и ее перспективность на рынке и принять решение о целесообразности вложения средств.

В соответствии с технологией QuaD каждый показатель оценивается экспертным путём по стобалльной шкале, где 1 – наиболее слабая позиция, 100 – наиболее сильная. Веса показателей в сумме должны составлять 1.

$$K = \sum B_i \cdot \text{Б}_i$$

где K – конкурентоспособность научной разработки или конкурента;

B_i – вес показателя (в долях единицы);

B_i – балл i -го показателя.

В таблице 4 приведена оценочная карта перспективности данного способа исследования временных характеристик.

Таблица 4 – Оценочная карта перспективности разработки

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы	Макс. балл	Относительное значение (3/4)	Средневзвешенное значение (5x2)
1	2	3	4	5	6
Показатели оценки качества разработки					
1. Надежность	0,1	90	100	0,9	0,09
2. Компактность	0,1	80	100	0,8	0,08
3. Качество детектирования	0,17	90	100	0,9	0,153
4. Энергоэффективность	0,12	70	100	0,7	0,084
5. Материалоемкость	0,13	75	100	0,75	0,0975
6. Простота эксплуатации	0,12	80	100	0,8	0,096
Показатели оценки коммерческого потенциала разработки					
7. Конкурентоспособность	0,11	85	100	0,85	0,0935
8. Цена	0,15	90	100	0,9	0,135
Итого	1	82,9			0,829

Исходя из полученного средневзвешенного значения показателя качества и коммерческого потенциала, можно сказать, что перспективность проекта высока ($80 < 82,9 < 100$) и вложения средств целесообразны. Критерии

качества детектирования, надежности и цены имеют довольно высокие показатели.

3.4. SWOT-анализ

SWOT-анализ – инструмент комплексного анализа проекта, позволяющий исследовать его внешнюю и внутреннюю среду. SWOT расшифровывается как Strengths (сильные стороны), Weaknesses (слабые стороны), Opportunities (возможности) и Threats (угрозы).

Сильные стороны – факторы, характеризующие конкурентоспособную сторону научно-исследовательского проекта, его ресурсы и возможности, которые могут быть использованы для достижения поставленных целей.

Слабые стороны – недостаток или ограничение, которые имеются у проекта и препятствуют реализации поставленных целей.

Первый этап работы заключается в описании сильных и слабых сторон проекта и выявлении возможностей и угроз.

В таблице 5 представлена общая матрица SWOT-анализа

Таблица 5 – Общая матрица SWOT-анализа

Сильные стороны	Возможности
С1. Универсальность детектирующих устройств (Измерение временных и энергетических характеристик) С2. Заменяемость детектирующих устройств С3. Низкая стоимость детектирующих устройств С4. Взаимодействие с АСКРО	В1. Возрастание спроса на ускорительную технику В2. Санкции на иностранные комплектующие В3. Развитие отечественных устройств детектирования
Слабые стороны	Угрозы
Сл1. Необходимость настройки детектирующих устройств Сл2. Требования к питанию детектирующих устройств Сл3. Необходимость анализирующего оборудования (осциллографа)	У1. Прекращение поставок комплектующих для детектирующих устройств У2. Наличие существующих средств детектирования на ускорительной технике

Второй этап состоит в оценке взаимодействия сильных и слабых сторон с возможностями и угрозами проекта. Оценка происходит при помощи интерактивных матриц приведенных в таблицах 6-9.

Таблица 6 – Интерактивная матрица проекта 1

Возможности проекта	Сильные стороны проекта			
	С1	С2	С3	С4
В1	+	0	+	+
В2	0	+	+	-
В3	+	+	+	-

Таблица 7 – Интерактивная матрица проекта 2

Возможности проекта	Слабые стороны проекта		
	Сл1	Сл2	Сл3
В1	-	0	-
В2	-	+	+
В3	-	0	0

Таблица 8 – Интерактивная матрица проекта 3

Угрозы проекта	Сильные стороны проекта			
	С1	С2	С3	С4
У1	+	+	+	0
У2	+	+	0	-

Таблица 9 – Интерактивная матрица проекта 4

Угрозы проекта	Слабые стороны проекта		
	Сл1	Сл2	Сл3
У1	-	+	0
У2	0	-	-

На основании двух этапов SWOT-анализа составлена итоговая матрица SWOT-анализа (таблица 10).

Таблица 10 – Итоговая матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны проекта: С1. Универсальность детектирующих устройств (Измерение временных и энергетических характеристик) С2. Заменяемость детектирующих устройств С3. Низкая стоимость детектирующих устройств С4. Взаимодействие с АСКРО	Слабые стороны проекта: Сл1. Необходимость настройки детектирующих устройств Сл2. Требования к питанию детектирующих устройств Сл3. Необходимость анализирующего оборудования (осциллографа)
Возможности: В1. Возрастание спроса на ускорительную технику В2. Санкции на иностранные комплектующие В3. Развитие отечественных устройств детектирования	Результаты анализа «Сильные стороны и возможности»: 1. Универсальность устройств покрывает потребность ускорительной техники в экспресс-диагностике 2. Санкции на иностранные комплектующие стимулируют развитие и использование отечественных устройств 3. Низкая стоимость отечественных устройств составит конкуренцию зарубежным аналогам	Результаты анализа «Слабые стороны и возможности»: 1. Санкции на иностранную продукцию могут повлиять на стоимость и наличие техники анализирующей данные, поступающие с детектирующих устройств
Угрозы: У1. Прекращение поставок комплектующих для детектирующих устройств У2. Наличие существующих средств детектирования на ускорительной технике	Результаты анализа «Сильные стороны и угрозы»: 1. Прекращение поставок комплектующих для детектирующих устройств сведет на нет все их сильные стороны 2. Наличие существующих средств детектирования составят конкуренцию разрабатываемым устройствам	Результаты анализа «Слабые стороны и угрозы»: 1. Отсутствие компонентов питания напрямую скажется на возможности использования устройств детектирования

Из проведенного SWOT-анализа можно сделать следующие выводы:

– Санкции на иностранные комплектующие стимулируют отечественную промышленность в области детектирующих устройств

– Возможность использования детектирующих устройств напрямую зависит от отечественных и/или зарубежных поставок компонентов для них

– Низкая стоимость и универсальность детектирующих устройств являются самыми главными сильными сторонами проекта.

3.5. Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ состоит из следующих задач:

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

В таблице 11 приведен примерный перечень работ и распределение исполнителей по данным видам работ.

Таблица 11 – Перечень работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работ	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель
Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Руководитель Студент
	3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент
	4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель Студент
Теоретические и экспериментальные исследования	5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент
	6	Построение макетов и проведение экспериментов	Руководитель Студент
	7	Сопоставление результатов расчётов и экспериментов с проектными данными	Руководитель Студент
Обобщение и оценка результатов	8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Студент
	9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель Студент

Продолжение таблицы 11

Проведение ВКР			
Разработка технической документации и проектирование	10	Выбор и расчет конструкции	Студент
	11	Разработка принципиальных схем включения	Студент
Изготовление и испытание макета (опытного образца)	12	Конструирование и изготовление макета (опытного образца)	Студент
	13	Лабораторные испытания макета	Руководитель Студент
Оформление отчета по ВКР	14	Составление пояснительной записки	Студент

3.6. Разработка графика проведения научного исследования

Трудоёмкость оценивается экспертным путём в человеко-днях и носит вероятностный характер. В связи с этим используется значение ожидаемого значения трудоёмкости, которое определяется по соотношению:

$$t_{ож\ i} = \frac{3t_{min\ i} + 2t_{max\ i}}{5},$$

где $t_{ож\ i}$ – ожидаемая трудоёмкость выполнения i -ой работы чел.-дн.;

$t_{min\ i}$ – минимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.;

$t_{max\ i}$ – максимально возможная трудоёмкость выполнения заданной i -ой работы, чел.-дн.

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

$$T_p = \frac{t_{ож\ i}}{Ч_i},$$

где T_p – продолжительность одной работы, раб.дн.;

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

Разработка графика проведения научного исследования осуществляется при помощи диаграммы Ганта, представляющей из себя горизонтальный ленточный график, на котором работы по теме представляются протяжёнными во времени отрезками, характеризующимися датами начала и окончания выполнения данных работ.

Для начала следует длительность каждого из этапов работ из рабочих дней следовало перевести в календарные дни. Это осуществлено с помощью формулы:

$$T_{ki} = T_{pi} \cdot k_{\text{кал}},$$

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

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

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

$$k_{\text{кал}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вых}} - T_{\text{пр}}},$$

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

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

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

Итоговое значение коэффициента календарности получилось равным 1,477. В таблице 12 приведен полученный график проведения научно-исследовательской работы.

Таблица 12 – Временные показатели научного исследования

Название работы	Трудоемкость работ			Исполнители	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 и утверждение технического задания	0,5	1	0,7	Руководитель	0,7	1

Продолжение таблицы 12

Выбор направления исследований	0,5	1	0,7	Руководитель Студент	0,35	1
Подбор и изучение материалов по теме	2	3	2,4	Студент	2,4	4
Календарное планирование работ по теме	0,5	1	0,7	Руководитель Студент	0,35	1
Проведение теоретических расчетов и обоснований	4	5	4,4	Студент	4,4	7
Построение макетов и проведение экспериментов	4	5	4,4	Руководитель Студент	2,2	4
Сопоставление результатов расчётов и экспериментов с проектными данными	0,5	1	0,7	Руководитель Студент	0,35	1
Оценка эффективности полученных результатов	0,5	1	0,7	Руководитель Студент	0,35	1
Определение целесообразности проведения ВКР	0,5	1	0,7	Руководитель Студент	0,35	1
Выбор и расчет конструкции	2	3	2,4	Студент	2,4	4
Разработка принципиальных схем включения	0,5	1	0,7	Студент	0,7	1
Конструирование и изготовление макета	1	2	1,4	Студент	1,4	2
Лабораторные испытания макета	2	3	2,4	Руководитель Студент	1,2	2
Составление пояснительной записки	3	4	3,4	Студент	3,4	5

На основании полученной таблицы построен план-график (диаграмма Ганта) проведения научно-исследовательской работы. Разбивка в графике

приведена по неделям с разбиением каждой недели на две половины.

Диаграмма Ганта приведена в таблице 13

Таблица 13 – Диаграмма Ганта

№	Вид работ	Исполнители	T_{ki} , кал.дн.	Продолжительность работ																
				1 нед.		2 нед.		3 нед.		4 нед.		5 нед.								
				1	2	1	2	1	2	1	2	1	2							
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель	1	■																
2	Выбор направления исследований	Руководитель Студент	1	■																
3	Подбор и изучение материалов по теме	Студент	4	■	■															
4	Календарное планирование работ по теме	Руководитель Студент	1		■															
5	Проведение теоретических расчетов и обоснований	Студент	7			■	■													
6	Построение макетов и проведение экспериментов	Руководитель Студент	4					■	■											
7	Сопоставление результатов расчётов и экспериментов с проектными данными	Руководитель Студент	1						■	■										
8	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель Студент	1						■	■										
9	Определение целесообразности проведения ВКР	Руководитель Студент	1						■	■										
10	Выбор и расчет конструкции	Студент	4								■	■								
11	Разработка принципиальных схем включения	Студент	1									■								

Продолжение таблицы 13

12	Конструирование и изготовление макета	Студент	2											
13	Лабораторные испытания макета	Руководитель Студент	2											
14	Составление пояснительной записки	Студент	5											

Руководитель - , Студент -

3.7. Бюджет научно-исследовательской работы

Формирование и расчёт бюджета является неотъемлемым этапом любого проекта, поскольку данный этап позволяет в полной мере представить как исполнителю, так и потенциальным инвесторам необходимы финансовые расходы и еще раз оценить целесообразность вложений.

В процессе формирования бюджета проекта рассчитываются затраты по следующим группам:

- материальные затраты;
- затраты на специальное оборудование;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды;
- затраты на научные и производственные командировки;
- контрагентные расходы;
- накладные расходы.

3.7.1. Расчет материальных затрат

Материальные затраты – стоимость всех материалов, используемых при разработке проекта. Расчёт затрат осуществляется по формуле:

$$Z_M = (1 + k_T) \cdot \sum_{i=1}^m C_i \cdot N_{расх i},$$

где m – количество видов материальных ресурсов, потребляемых при выполнении научного исследования;

$N_{расх i}$ – количество материальных ресурсов i -го вида, планируемых к использованию при выполнении научного исследования (шт., кг, м, м² и т.д.);

C_i – цена приобретения единицы i -го вида потребляемых материальных ресурсов (руб./шт., руб./кг, руб./м, руб./м² и т.д.);

k_T – коэффициент, учитывающий транспортно-заготовительные расходы, принятый в настоящей работе равным 15% от стоимости материалов.

В таблице 14 приведен перечень материальных затрат.

Таблица 14 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (Z_M), руб.
Тетрадь в клетку (24 страницы)	шт.	1	25	25
Ручка шариковая	шт.	1	18	18
Карандаш	шт.	1	10	10
Резинка стирательная	шт.	1	39	39
Линейка	шт.	1	59	59
Итого				151

3.7.2. Расчет затрат на специальное оборудование

В данный раздел включаются все затраты, так или иначе связанные с покупкой специального оборудования – приборов, устройств, механизмов и т.д., которые необходимы для проведения исследовательской работы.

Затраты рассчитываются исходя из календарного план-графика, то есть на три месяца работы. Условно принимаем полное первоначальное отсутствие специального оборудования. Из затрат выделяется осциллограф ФЭУ-87, сцинтиллятор ВС-434, СПДЗ, программный пакет Microsoft Office, подходящий для расчетов, математического моделирования и письменного оформления результатов расчета (пояснительная записка к научно-исследовательской работе). Операционная система идет в комплекте с ноутбуком.

Таблица 15 – Затраты на специальное оборудование

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы (З _м), руб.
Пакет Microsoft Office 365 (годовая подписка)	шт.	1	7100	7100
Ноутбук	шт.	1	75000	75000
Осциллограф	шт.	1	200000	200000
ФЭУ-87	шт.	1	5700	5700
Сцинтиллятор ВС-434	шт.	1	1400	1400
СПДЗ	шт.	1	2500	2500
Итого				291700

Затраты на амортизацию оборудования рассчитывается по формуле:

$$C_{\text{аморт}} = \frac{C_{\text{об}}}{T},$$

где $C_{\text{об}}$ – стоимость оборудования (руб.);

T – срок службы (дней).

Срок службы принимается за 5 лет.

$$C_{\text{аморт}} = \frac{291700}{365 \cdot 5} = 159,84 \text{ руб./дн.}$$

Оборудование использовалось в течение 5 недель, расходы на амортизацию составляют:

$$C_{\text{аморт(общ)}} = 159,84 \cdot 35 = 5594,25 \text{ руб.}$$

Также в расчёт можно включить затраты на электроэнергию, печать на листах А4 и оплату доступа в интернет на время выполнения работы.

Все основные работы проводятся при помощи персонального компьютера (ПК), время, проведенное за работой, принимается равным 840 часам, мощность компьютера 0,7 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле:

$$C = C_{\text{эл}} \cdot P \cdot F_{\text{об}} = 4,39 \cdot 0,7 \cdot 840 = 2581,32 \text{ руб.,}$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на свет для населения, проживающего в Томске (тариф на электроэнергию – 4,39 рублей за 1 кВт·ч);

P – мощность оборудования, кВт;

$F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

В таблице 16 приведены вышеперечисленные расходы:

Таблица 16 – Расходы на услуги

Наименование	Затраты, руб.
Электроэнергия	2581,32
Печать на листах А4	500
Доступ в интернет	1000
Итого	4081,32

3.7.3. Заработная плата исполнителей

Настоящий этап включает заработную плату, полученную всеми участниками проекта. Величина заработной платы определена на основе текущего «Положения об оплате труда» ТПУ и количества проделанной работы.

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

$$Z_{зн} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

T_p – продолжительность работ, выполняемых научно-техническим работником, раб. Дн.;

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.;

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года:

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

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

F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (таблица 17).

Отраслевая система оплаты труда в ТПУ предполагает следующий состав заработной платы:

- оклад, определяющийся предприятием.
- стимулирующие выплаты – устанавливаются руководителем подразделений за эффективный труд, выполнение дополнительных обязанностей и т.д.;
- иные выплаты; районный коэффициент.

Таблица 17 – Баланс рабочего времени

Показатель рабочего времени	Руководитель	Студент
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней (выходные и праздничные дни)	70	70
Потери рабочего времени (отпуск и невыходы по болезни)	48	48
Действительный годовой фонд рабочего времени	247	247

Месячная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_m = Z_{tc} \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p,$$

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

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

k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5;

k_p – районный коэффициент, равный 1,3.

В таблице 18 приведены заработные платы исполнителей научно-исследовательской работы.

Таблица 18 – Заработная плата исполнителей

Участник	Z_{tc} , руб.	$k_{пр}$	k_d	k_p	Z_m , руб.	$Z_{дн}$, руб.	T_p , раб. дн.	$Z_{осн}$, руб.
Руководитель	37700	-	-	1,3	49010	2063,6	12	24763,2
Студент	19200	-	-	1,3	24960	1050,9	34	35730,6

Расчет дополнительной заработной платы ведется по формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн},$$

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

В таблице 19 приведены результаты расчёта дополнительной заработной платы.

Таблица 19 – Дополнительная плата исполнителей

Исполнители	Основная ЗП, руб.	$k_{доп}$	Дополнительная ЗП, руб.
Руководитель	24763,2	0,12	2971,58
Студент	35730,6	0,12	4287,67
Итого			7259,256

3.7.4. Отчисления во внебюджетные фонды

Единая базовая ставка для уплаты страховых взносов с 1 января 2023 года составляет 30%. Она применяется при расчете суммы страховых взносов до достижения предельной базы. С превышения предельной базы страховые взносы рассчитываются по ставке 15,1%.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется по формуле:

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

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

В таблице 20 представлены отчисления во внебюджетные фонды.

Таблица 20 – Отчисления во внебюджетные фонды

	Руководитель	Студент
Коэффициент отчислений	0,3	
Суммарная заработная плата, руб.	24763,2	35730,6
Отчисления во внебюджетные фонды, руб.	7428,96	10719,18
Итого	18148,14	

3.7.5. Накладные расходы

Накладные расходы – расходы, учитывающие прочие затраты, не попавшие в предыдущие статьи расходов. Величина накладных расходов определяется по формуле:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum) \cdot k_{\text{нр}},$$

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

\sum – сумма статей расходов.

Накладные расходы в ТПУ составляют 12-16 % от суммы основной и дополнительной зарплаты работников, участвующих в выполнении темы.

Пусть $k_{\text{нр}} = 12\%$. Накладные расходы составляют:

$$Z_{\text{накл}} = (\sum) \cdot k_{\text{нр}} = (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) \cdot k_{\text{нр}};$$

$$Z_{\text{накл}(p)} = (27734,78) \cdot 0,12 = 3328,17 \text{ руб.};$$

$$Z_{\text{накл}(с)} = (40018,27) \cdot 0,12 = 4802,19 \text{ руб.}$$

Итого накладные расходы составляют 8130,37 руб.

3.7.6. Формирование бюджета затрат научно-исследовательской работы

Рассчитанные величины затрат исследовательской работы является основой для формирования бюджета затрат проекта. Общий бюджет затрат проекта приведен в таблице 21.

Таблица 21 – Бюджет затрат проекта

Наименование статьи	Сумма, руб.
Материальные затраты	151,00
Затраты на специальное оборудование	295781,32
Затраты на плату исполнителей темы	60493,8

Продолжение таблицы 21

Отчисления во внебюджетные фонды	18148,14
Накладные расходы	8130,37
Бюджет затрат проекта	382704,6

3.8. Определение ресурсоэффективности исследования

Определение эффективности происходит на основе расчета интегрального показателя эффективности научного исследования. Его нахождение связано с определением двух средневзвешенных величин: финансовой эффективности и ресурсоэффективности.

Интегральный показатель финансовой эффективности научного исследования получают в ходе оценки бюджета затрат трех (или более) вариантов исполнения научного исследования. Для этого наибольший интегральный показатель реализации технической задачи принимается за базу расчета (как знаменатель), с которым соотносятся финансовые значения по всем вариантам исполнения.

В качестве аналога рассмотрен метод определения временных характеристик электронного пучка по первичному излучению

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}}$$

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

$\Phi_{\text{р}i}$ – стоимость i -го варианта исполнения;

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

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп.т}} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{382704}{400000} = 0,96$$

$$I_{\text{фин р}}^{\text{исп.т}} = \frac{\Phi_{\text{р}i}}{\Phi_{\text{max}}} = \frac{400000}{400000} = 1$$

Полученная величина интегрального финансового показателя разработки отражает соответствующее численное увеличение бюджета затрат разработки в размах (значение больше единицы), либо соответствующее численное удешевление стоимости разработки в размах (значение меньше единицы, но больше нуля).

Интегральный показатель ресурсоэффективности проекта определяется посредством расчета интегрального критерия, по следующей формуле:

$$I_{pi} = \sum a_i \cdot b_i,$$

где: I_{pi} – интегральный показатель ресурсоэффективности;

a_i – весовой коэффициент проекта;

b_i – бальная оценка проекта, устанавливаемая опытным путем по выбранной шкале оценивания.

Расставляем бальные оценки и весовые коэффициенты в соответствии с приоритетом характеристик проекта, рассчитываем конечный интегральный показатель и сводим полученные результаты в таблицу 20.

Таблица 22 - Сравнительная оценка характеристик вариантов исполнения проекта

Критерии	Весовой коэффициент	Исп. 1 Текущий	Исп. 2 Аналог
Надежность	0,15	4	5
Компактность	0,1	5	4
Качество детектирования	0,3	5	5
Энергоэффективность	0,2	5	2
Материалоемкость	0,15	5	4
Простота эксплуатации	0,1	5	3
Итого	1	4,83	3,83

Расчет интегрального показателя для разрабатываемого проекта:

$$I_{p-исп.1} = 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 5 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 5 + 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 5 = 4,83$$

$$I_{p-исп.2} = 0,15 \cdot 5 + 0,1 \cdot 4 + 0,3 \cdot 5 + 0,2 \cdot 2 + 0,15 \cdot 4 + 0,1 \cdot 3 = 3,83$$

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{\text{исп.1}} = \frac{I_{\text{р-исп.1}}}{I_{\text{фин р}}^{\text{исп.1}}} = \frac{4,83}{0,96} = 5,03$$

Сравнение интегрального показателя эффективности вариантов исполнения разработки позволит определить сравнительную эффективность проекта и выбрать наиболее целесообразный вариант из предложенных (табл. 23). Сравнительная эффективность проекта ($\mathcal{E}_{\text{ср}}$):

$$\mathcal{E}_{\text{ср}} = \frac{I_{\text{исп.1}}}{I_{\text{исп.2}}} = \frac{4,83}{3,83} = 1,26$$

Таблица 23 - Сводная таблица показателей оценки ресурсоэффективности

№ п/п	Показатели	Исп.1	Исп.2
1	Интегральный финансовый показатель разработки	0,96	1
2	Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,83	3,83
3	Интегральный показатель эффективности	5,03	3,83
4	Сравнительная эффективность вариантов исполнения	1,15	1

Значения интегральных показателей в целом выше чем у аналога, что говорит о том, что техническое решение, рассматриваемое в НИ, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

3.9. Вывод по разделу «Финансовый менеджмент»

В настоящем разделе выпускной квалификационной работы проведён QuaD-анализ способа измерения временных характеристик электронного пучка по вторичному излучению, показавший высокую перспективность

проекта, проведён SWOT-анализ, представляющий сильные и слабые стороны проекта, а также возможности и угрозы для проекта.

В ходе работы составлен календарный план-график проекта, определён и составлен бюджет затрат, необходимых для проведения научно-исследовательской работы:

- Материальные затраты составили 151 руб.;
- Затраты на специальное оборудование составили 295781,32 руб.;
- Амортизационные расходы составили 5594,25 руб.;
- Зарплаты на работу исполнители составили 60493,8 руб.;
- Отчисления во внебюджетные фонды составили 18148,14 руб.;
- Накладные расходы составили 8130,37
- Общий бюджет затрат составляет 382704,6 руб.

По факту оценки эффективности НИ, можно сделать выводы:

- - значение интегрального финансового показателя НИ составляет 0,96, что является показателем того, что НИ является финансово выгодной, по сравнению с аналогом;

- значение интегрального показателя ресурсоэффективности НИ составляет 4,83, по сравнению с 3,83 у аналога;

- значение интегрального показателя эффективности НИ составляет 5,03 , по сравнению с 3,83 у аналога, и является наиболее высоким, что означает, что техническое решение, рассматриваемое в НИ, является наиболее эффективным вариантом исполнения.

ЗАДАНИЕ К РАЗДЕЛУ «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Обучающемуся:

Группа	ФИО
0А91	Макаров Владимир Станиславович

Школа	ИЯТШ	Отделение (НОЦ)	ОЯТЦ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/ООП/ОПОП	14.03.02 Ядерные физика и технологии

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Описание рабочего места (рабочей зоны) на предмет возникновения:	<ul style="list-style-type: none"> – вредных проявлений факторов производственной среды (микроклимат, освещение, шумы, вибрации, ионизирующее излучение); – опасных проявлений факторов производственной среды (электрической, пожарной, и взрывной природы).
2. Знакомство и отбор законодательных и нормативных документов по теме	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность; – пожаровзрывобезопасность; – требования охраны труда по работе с ускорителем электронов с энергией до 100 МэВ.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды	<ul style="list-style-type: none"> – действие фактора на организм человека; – приведение допустимых норм с необходимой размерностью (со ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ); – предлагаемые средства и меры защиты (коллективные и индивидуальные).
2. Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды:	<ul style="list-style-type: none"> – электробезопасность (в т.ч. статическое электричество, средства защиты); – пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия, меры предотвращения).

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	24.04.2023
--	------------

Задание выдал консультант по разделу «Социальная ответственность»:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ ТПУ	Передерин Юрий Владимирович	К.Т.Н		24.04.2023

Задание принял к исполнению обучающийся:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А91	Макаров Владимир Станиславович		24.04.2023

В соответствии с инструкцией по охране труда при работе с лабораторным комплексом и [14], к самостоятельной работе на установке допускаются лица:

- достигшие 18-летнего возраста;
- имеющие профессиональную подготовку, соответствующую характеру работы;
- прошедшие медицинское освидетельствование;
- прошедшие инструктаж и проверку знаний правил по электробезопасности и по радиационной безопасности, предъявляемых к соответствующей должности или профессии. Аттестация по технике безопасности должна проводиться не реже 1 раза в год, а инструктажи должны проводиться не реже 1 раза в 3 месяца;
- прошедшие проверку знаний правил устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением;
- умеющие оказывать первую медицинскую помощь пострадавшим.

Работы на установке могут проводиться в составе бригады не менее 2-х человек. Руководитель работ должен иметь квалификационную группу не ниже 4. Работы производятся только при наличии наряда на производство работ. Работники, занятые на работе по обслуживанию установки, должны быть обеспечены спецодеждой (халат х/б, перчатки). Согласно инструкцией при работе с лабораторным комплексом и в соответствии с трудовым кодексом Российской Федерации [16] сотрудники, работающие на установке, обязаны:

- знать правила технической эксплуатации электроустановок, правила устройства электроустановок;
- знать правила радиационной безопасности;
- знать правила использования измерительной аппаратуры, приборов, устройств.

- знать правила техники безопасности при проведении экспериментов на ускорителе с использованием химически активных реагентов;
- знать правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, функционирующих под давлением;
- знать инструкции по эксплуатации приборов установки;
- знать нормы и правила пожарной безопасности, уметь пользоваться средствами пожаротушения
- знать правила использования защитных средств;
- уметь оказать первую медицинскую помощь;
- использовать спецодежду;
- при аварийной ситуации, случаях травмирования, неисправности оборудования немедленно прекратить работу и сообщить заведующему лабораторией.

Исследования проводятся в лабораторных условиях на действующей установке. Условия работы установки соответствуют всем нормам и правилам техники безопасности. В ходе проведения исследований возникают вредные и опасные факторы, которые описаны далее.

4.2.Производственная безопасность

В данном пункте анализируются вредные и опасные факторы, которые возникают при подготовке и проведении исследований в лабораторном помещении. Перечень опасных и вредных факторов, характерных для исследовательской среды, представлен в таблице 24.

Таблица 24 Опасные и вредные факторы при подготовке и проведении исследований в НПЛ “007” в корпусе 11г ТПУ

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015)	Нормативные документы
Шум	– СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ5/5;
Освещенность	– "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ;
Электробезопасность	– СанПиН 1.2.3685-21 Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания; – ГОСТ 12.4.275-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Средства индивидуальной защиты органа слуха.
Пожаро-взрывобезопасность	Общие технические требования. Методы испытаний; – ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов;
Микроклимат	– ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля;
Электромагнитное излучение	– ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты; – СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности;
Ионизирующее излучение	– ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования; – СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009.

4.3. Анализ опасных и вредных производственных факторов

Опишем каждый выявленный фактор с точки зрения источника возникновения, воздействия фактора на организм человека, а также допустимых норм и средств защиты для его минимизации.

4.3.1. Шум

Источниками шума при проведении эксперимента являются вакуумная система, вентиляционный насос, разрядники при пробое. Максимальный уровень звука при постоянном шуме составляет 30 дБА, при непостоянном – 55 дБА [15]. Чтобы насосы в процессе работы издавали меньше шума, под каждым насосом находится резиновая подложка, которая используется также для затухания колебаний. Дополнительным средством защиты индивидуальной защиты являются противошумные наушники [17]. В НПЛ “007” корпуса 11г ТПУ установленный предел уровня шума не превышает [15].

4.3.2. Освещенность

Освещенность рабочей зоны регулируются [15]. Освещение рабочего места должно отвечать условиям и характеру работы, оно должно быть оптимальным по величине и естественным по спектру. При исследованиях осуществляется подготовка измерительных устройств и ускорительного комплекса, работа с измерительными приборами, а также с образцами для активационного анализа. Имеется необходимость в использовании локализованного искусственного освещения для вакуумной камеры.

При недостаточном освещении в результате прилагаемых усилий для опознания четких или сомнительных сигналов проявляется усталость центральной нервной системы. Также неполноценный свет влияет на

функционирование зрительного аппарата, на психику человека, его эмоциональное состояние и может стать причиной стресса. Работая при освещении плохого качества, люди могут ощущать переутомление, головные боли, усталость глаз, потерю концентрации, что может привести к снижению работоспособности.

Основными источниками света являются люминесцентные лампы. В помещении лаборатории используются светильники типа ЛПО. ЛПО - для нормальных помещений с хорошим отражением потолка и стен, допускается при умеренной влажности и запыленности. Основные требования и значения нормируемой освещенностей рабочих поверхностей изложены в [15], выбор освещенности осуществляется в зависимости от размера объекта различения, контраста объекта с фоном, характеристики фона. Для того чтобы установить в каждом конкретном случае все перечисленные предметы, необходимо знание особенностей зрительной задачи на данном рабочем месте.

Для обеспечения достаточной освещенности используется [15], согласно которому при работе средней точности освещенность в лаборатории, где происходит периодическое наблюдение за ходом производственного процесса при постоянном нахождении людей в помещении освещенность при системе общего должна составлять не менее 200 лк, коэффициент пульсаций не более 20 %.

Величина освещенности корректируется с учетом коэффициента запаса, т.к. со временем за счет загрязнения светильников и уменьшения светового потока ламп снижается освещенность. Значение коэффициента запаса, выбираемого для помещения с малым выделением пыли, $K_3=2,0$. Помещение, в котором располагается установка, имеет линейные размеры 6×11 м и высоту 3,5 м.

При выборе расположения светильников необходимо руководствоваться двумя критериями:

1. Обеспечение высокого качества освещения, ограничение ослеплённости и необходимой направленности света на рабочие места.

2. Наиболее экономичное создание нормированной освещенности.

В лаборатории применяется общая система освещения люминесцентными лампами ЛД. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решеткой лежит в диапазоне 1,1–1,3. Принимаем $\lambda = 1,3$ (для ЛПО), расстояние светильников от перекрытия (свес) $h_c = 0,5$ м.

Лаборатория имеет следующие параметры:

– высота помещения: $H = 3,5$ м;

– высота светильника над полом:

$$h_{\text{п}} = H - h_c = 3,5 - 0,5 = 3 \text{ м};$$

– высота рабочей поверхности над полом(сидя): $h_{\text{рп}} = 0,8$ м;

– рассчитаем высоту светильника над рабочей поверхностью:

$$h = h_{\text{п}} - h_{\text{рп}} = 3 - 0,8 = 2,2 \text{ м.}$$

$$L = \lambda \cdot h = 1,3 \cdot 2,2 = 2,86 \text{ м}$$

Количество рядов светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле

$$n_{\text{ряд}} = \frac{\left(B - \frac{2}{3}L\right)}{L} + 1 = 2,43 \approx 3,$$

где $n_{\text{ряд}}$ – количество рядов; B – ширина помещения, м.

Для исключения “мертвых” неосвещенных зон, значение $n_{\text{ряд}}$ округляется в большую сторону.

Длина светильника $l_{\text{св}} = 1,23$ м.

Количество светильников с люминесцентными лампами определяется по формуле:

$$n_{\text{св}} = \frac{\left(A - \frac{2}{3}L\right)}{l_{\text{св}} + 0,5} = 5,26 \approx 6$$

где $n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду; A – длина помещения, м.

Для исключения “мертвых” неосвещенных зон, значение $n_{\text{св}}$

округляется в большую сторону.

Общее количество светильников с люминесцентными лампами в помещении определяется по формуле:

$$N = n_{\text{ряд}} \cdot n_{\text{св}} = 18,$$

где N – общее количество светильников; $n_{\text{ряд}}$ – количество рядов; $n_{\text{св}}$ – количество светильников в ряду.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении равно $n=36$ штук.

Величина светового потока лампы определяется по формуле:

$$F = \frac{E \cdot z \cdot k \cdot S}{n \cdot \eta},$$

где F -световой поток лампы, лм;

E - минимальная освещенность, лк, $E=200$ лк;

S - площадь помещения, м^2 , $S= 66 \text{ м}^2$;

z -поправочный коэффициент, $z=1,1$ для люминесцентных ламп;

k - коэффициент запаса, $k=2,0$ для помещений с большим пылевыделением;

η -коэффициент использования осветителей, %;

n - число ламп в помещении.

Коэффициент использования светового потока - это отношение полезного светового потока, достигающего освещенной поверхности, к полезному световому потоку в помещении. Для определения коэффициента η необходимо знать индекс помещения i , значение коэффициентов отражения стен, тип светильника.

Индекс помещения определяется по формуле:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)},$$

где S - площадь помещения, м^2 ;

h - высота подвеса светильника над рабочей поверхностью, м;

A, B - стороны помещения, м.

$$i = \frac{66}{2,2 \cdot (6 + 11)} = 1,76.$$

Коэффициент отражения потолка, стен и пола оцениваются субъективно и определяются по таблице для свежепобеленного потолка и со свежепобеленными стенами равно 70% 50% и 10% и соответственно. Находим коэффициент использования светового потока светильников с люминесцентными лампами: $\eta=62\%$, $E = 200$ лк

$$F = \frac{200 \cdot 1,1 \cdot 2 \cdot 66}{36 \cdot 0,62} = 1301,07 \text{ Лм.}$$

Ближайшая стандартная лампа - OSRAM DULUX D 18Вт с потоком 1200 Лм. Делаем проверку выполнения условия:

$$-10\% \leq \frac{F_{\text{л.станд}} - F_{\text{л.расч}}}{F_{\text{л.станд}}} \cdot 100\% \leq +20\%$$

$$-10\% \leq -8,416\% \leq +20\%$$

Таким образом, электрическая мощность осветительной установки:

$$P = 18 * 36 = 648 \text{ Вт.}$$

В НПЛ “007” корпуса 11г ТПУ соблюдаются нормы освещенности [15].

4.3.3. Микроклимат

Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений определяются [15], в котором устанавливаются критерии безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды его обитания и требования к обеспечению благоприятных условий его жизнедеятельности. Соблюдение данных правил исключает негативные воздействия микроклимата рабочих мест, производственных помещений на самочувствие человека, работоспособность, психологическое и физическое состояние, здоровья человека в целом. Допустимые показатели микроклимата приведены в таблице 25 [15].

Мероприятия по созданию благоприятных условий являются отопление в холодный период, поддерживающая температура воздуха в рабочей зоне, и

вентиляция в теплый период. В помещении в целом используется принудительная вентиляция, с разных сторон осуществляется приток воздуха и вытяжка.

Таблица 25 Допустимые величины параметров микроклимата на рабочих местах в помещениях

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с	
		Диапазон ниже оптимальных величин	Диапазон выше оптимальных величин			Для диапазона температур воздуха ниже оптимальных величин, не более	Для диапазона температур воздуха выше оптимальных величин, не более
Холодный	Пб (233-290)	15,0-16,9	19,1-22,0	14,0-23,0	15-75	0,2	0,4
Теплый	Пб (233-290)	16,0-18,9	21,1-27,0	15,0-28,0	15-75	0,2	0,5

Количество вентиляционного воздуха определяется для каждого помещения отдельно с учетом наличия вредных примесей (веществ) или задается по результатам ранее проведенных исследований. Если характер и количество вредных примесей (веществ) не поддаются учету, воздухообмен определяют по кратности:

$$L = V_{\text{пом}} \cdot K_p,$$

где $V_{\text{пом}}$ – объем помещения, м³ (объем помещения “007” Технопарка корпуса 11 Г – 231 м³;

K_p – минимальная кратность воздухообмена, 1/ч (для данного помещения составляет 3 ч⁻¹ [15])

$$L = V_{\text{пом}} \cdot K_p = 231 \cdot 3 = 693 \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Таким образом, в помещение необходимо установить приточно-

вытяжную вентиляционную установку Shuft UniMAX-R 750SW-A с воздухообменом 750 м³/ч [18]. В НПЛ “007” корпуса 11г ТПУ выполняются мероприятия по обеспечению безопасного микроклимата [15].

4.3.4. Электробезопасность

Опасным фактором является наличие высоких напряжений и вероятность поражения электрическим током.

Напряжение в питающей сети может колебаться в пределах $\pm 15\%$. Причиной поражения электрическим током могут являться:

- случайное касание токоведущих частей, которые находятся под напряжением;
- контакт с нетоковедущими элементами электроустановок, которые могли оказаться под напряжением из-за неисправности изоляции или по другой причине;
- попадание под напряжение в период проведения ремонта оборудования из-за его включения по ошибке;
- замыкание проводов на землю и появления шагового напряжения.

Воздействие на человека электрического тока, электрической дуги и электромагнитных полей может проявляться в механическом, электролитическом, термическом, и биологическом воздействии. Различают местные, общие и смешанные электротравмы. Для предотвращения травм получения травм электрическим током основная изоляция токоведущих частей в электрооборудовании покрывает токоведущие части и выдерживает все возможные воздействия, которым она подвергается в процессе эксплуатации. Насосы располагаются в специально отведенном для них месте на стойке ускорителя. Размещение электрооборудования и открытых токоведущих частей вне зоны досягаемости, применяется для защиты людей

от прямого прикосновения к токоведущим частям, т.к. невозможно применить ограждения, оболочки и барьеры.

Установка имеет высоковольтный блок с напряжением до 400 кВ, которое представляет физическую опасность при возможном замыкании электрической цепи через человека. Согласно [21] предельно допустимые значения напряжения и токов при аварийном режиме производственных электроустановок напряжением выше 1 кВ с изолированной нейтралью для постоянного тока не должны превышать значений, приведенных в таблице 26.

Таблица 26 Предельно допустимые значения напряжения и тока

Нормируемая величина	Предельно допустимые значения при продолжительности воздействия тока t, с									
	0.01-0.08	00.1	00.2	00.3	00.4	00.5	00.6	00.7	00.8	00.9
U, В	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210
I, mA	650	500	400	350	300	250	240	230	220	210

При работе ускорителя возникают электростатические поля, создаваемые узлами, находящимися под высоким напряжением постоянного тока. Происходит электризация диэлектрических материалов. Допустимые уровни напряженности электростатических полей устанавливаются в зависимости от времени пребывания персонала на рабочих местах, и регламентируются согласно [21].

При работе лабораторного оборудования основные источники статического электричества расположены в низковольтной части установки. Наиболее опасной частью установки является конденсаторная установка, которую можно заряжать до напряжения 50 кВ. Конденсаторы имеют остаточный заряд, поэтому их необходимо разряжать для безопасной работы. Для разряда конденсаторов используется изолирующая штанга.

Согласно классификации, НПЛ “007” корпуса 11г ТПУ относится ко второй категории помещений с повышенной опасностью, в котором находятся электроустановки с номинальным напряжением выше 1000 В [19,20,21].

4.3.5. Электромагнитное излучение

Источниками электромагнитных полей и излучений является: высоковольтный блок, искровой разряд, токоведущие шины. Электромагнитное поле имеет способность специфического теплового, биологического воздействия на организм человека. При попадании людей в область действия полей, напряженность которых превышает предельно допустимый уровень, развиваются нарушения со стороны сердечно-сосудистой и нервной систем, органов пищеварения и других биологических показателей.

Магнитная составляющая электромагнитного поля оказывает неблагоприятное воздействие при напряженности поля более 160 А/м. Предельно допустимый уровень напряженности ЭП на рабочем месте в течение всей смены устанавливается равным 5 кВ/м. Ускоритель находится в металлическом корпусе, являющимся защитным экраном от электромагнитного излучения. Так как величина электромагнитного излучения незначительна, нет необходимости в использовании дополнительных средств коллективной и индивидуальной защиты.

Предельно допустимые уровни облучения по [14]: при диапазоне частот 300...300000 МГц нормируемым уровнем плотности потока энергии при времени облучения ($\tau_{\text{облуч}}$) в течение всего рабочего дня составляет 18 мкВт/см², максимально допустимый уровень – 1000 мкВт/см². Для лиц, профессионально не связанных с облучением, и для населения в целом ППМ не должен превышать 1 мкВт/см².

Если есть необходимость пребывания персонала в зонах с различной напряженностью, то общее время работ в этих зонах не должно превышать предельно допустимое для зоны с максимальной напряженностью. Для снижения влияния электромагнитных полей применяется экранирование источника, защита временем, защита расстоянием, защита рабочего места от излучения. В НПЛ “007” корпуса 11г ТПУ выполняются нормы по обеспечению защиты от электромагнитного излучения [14], за счет наличия защитных экранов и не превышения предельно допустимых значений напряженности.

4.3.6. Пожаро-взрывобезопасность

В зависимости от характеристик веществ и материалов, находящихся в помещении, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1-В4, Г и Д в соответствии с [23]. Лаборатория “007” в Технопарке, расположенном в корпусе 11г, относится к категории В3, так как в ней содержатся твердые горючие вещества в холодном состоянии. Возможные причины возгорания:

- работа с открытой электроаппаратурой;
- короткие замыкания в блоках питания;
- несоблюдение правил пожарной безопасности.

В целях снижения риска возникновения пожара и минимизации возможного ущерба производятся профилактические мероприятия, которые подразделяются на: организационно-технические, эксплуатационные и режимные. Организационно-технические мероприятия заключаются в проведении регулярных инструктажей сотрудников ответственным за пожарную безопасность, обучении сотрудников надлежащей эксплуатации оборудования и необходимым действиям в случае возникновения пожара, паспортизацию веществ, материалов и изделий в части обеспечения пожарной безопасности, изготовление и применение средств наглядной

агитации по обеспечению пожарной безопасности [23]. К эксплуатационным мероприятиям относят профилактические осмотры оборудования. Мероприятия режимного характера включают установление правил организации работ и соблюдение противопожарных мер. Для предупреждения возникновения пожара необходимо соблюдение следующих правил пожарной безопасности:

- содержание помещений в соответствии с требованиями пожарной безопасности;
- надлежащая эксплуатация оборудования (правильное включение оборудования в сеть электропитания, контроль нагрева оборудования);
- обучение производственного персонала правилам пожарной безопасности;
- наличие, правильное размещение и использование средств пожаротушения.

В помещении с электрооборудованием, напряжение которых превышает 1 кВ во избежание поражения электрическим током, целесообразно использовать углекислотные огнетушители. Огнетушители следует располагать на защищаемом объекте в соответствии с требованиями таким образом, чтобы они были защищены от воздействия прямых солнечных лучей, тепловых потоков, механических воздействий и других неблагоприятных факторов (вибрация, агрессивная среда, повышенная влажность и т.д.). Они должны быть хорошо видны и легкодоступны в случае пожара. Предпочтительно размещать огнетушители вблизи мест наиболее вероятного возникновения пожара, вдоль путей прохода, а также около выхода из помещения. Огнетушители не должны препятствовать эвакуации людей во время пожара. В лаборатории "007" Технопарка, расположенном в корпусе 11г, находится огнетушитель, имеется кнопка пожарной сигнализации, что соответствует [23].

4.3.7. Ионизирующее излучение

Ионизирующим или радиоактивным излучением считаются рентгеновские и гамма-излучения, которые являются электромагнитными колебаниями с малой длиной волны. Также альфа и бета излучения, позитронное и нейтронное излучения, которые представляют собой поток заряженных или нейтральных частиц. γ -излучение вместе с рентгеновским называют фотонным излучением.

В процессе работы ускорителя при формировании пучка заряженных частиц и его взаимодействии с обрабатываемым образцом, окружающей средой возникают излучения различных спектров. Основное свойство радиоактивного излучения - ионизирующее воздействие. При взаимодействии их с тканями нейтральные атомы или молекулы обретают положительный или отрицательный заряд и становятся ионами. Пробег волн излучения в воздухе может составлять несколько сотен метров, а в материалах, которые используются для защиты от ионизирующего излучения (бетон, свинец), - десятки сантиметров.

Ионизирующее излучение может вызывать местные и общие поражения. Локальные поражения эпидермиса могут быть в виде дерматитов, ожогов или в других формах. Возможно возникновение доброкачественных новообразований, также возможно развитие кожного рака. Продолжительное воздействие радиации на глазной хрусталик становится причиной катаракты. Дозовые границы облучения приведены в таблице 27 [24].

Таблица 27 Основные границы облучения, мЗв

Нормируемая величина	Обслуживающий персонал (группа А)	Население
Эквивалентная доза за год:		
Хрусталик	150	15

Продолжение таблицы 27

Кожный покров	500	50
Кисти и стопы	500	50

Ускорительная техника является источником внешнего облучения. Защиту от внешнего облучения при работе на подобном оборудовании проводят путем экранирования источника. Для этого пультовая комната является отдельным помещением с обшитыми стенами, материалами, которые поглощают излучение. Ограждающие конструкции и оборудование покрыты материалами, которые подвергаются легкой чистке (масляной краской, пластиком и т. п.).

Ускорительный комплекс необходимо размещать в изолированном помещении или отдельном крыле здания. Запрещено использовать помещения, в которых располагается ускоритель и его системы, для других целей. В помещении, где эксплуатируется ускоритель, предусматриваются нижеперечисленные помещения:

- рабочая камера – специальное помещение, где располагается ускорительная техника. Данное помещение соответствует требованиям технической документации на ускоритель и обеспечивающая возможность безопасного проведения работ;

- пультовая кабина, в которой располагается пульт управления техникой и измерительные приборы. Это помещение соответствует требованиям технической документации на ускоритель, его площадь должна составлять не менее 15 м;

Размеры рабочей камеры для установки ускорителя: ширина – не менее 6 м, длина – не менее 10 м, высота – не менее 3,5 м, ширина ворот – 2,5 м, высота ворот – 3м.

Помещение должно удовлетворять следующим требованиям: поверхность пола под установкой должна быть плоской с перепадом высот

не более 5 мм и уклоном не более 2 градусов. Освещенность в помещении должны быть не менее 200 люкс, влажность воздуха в диапазоне 40-60%, температура воздуха в диапазоне от +15 до +30 °С, в помещении должна быть установлена система приточно-вытяжная вентиляции с не менее чем трехкратным воздухообменом в час.

Стены и потолок рабочей камеры должны быть окрашены масляной краской или покрыты слабосорбирующими материалами. Пол рабочей камеры следует покрывать слабосорбирующими материалами. Пол следует покрывать электроизолирующим материалом. Включение ускорителя должно быть возможным только из комнаты управления, когда двери в рабочую камеру закрыты.

Радиационная защита от существующих видов ионизирующих излучений, которые возникают при работе ускорительной техники, проектируется так, что количественные эффективные дозы облучения за год для персонала и населения не превосходят значений величин, которые регламентирует [24] (20 мЗв/год для персонала группы А, 5 мЗв/год для персонала группы Б и 1 мЗв/год для населения). Так же необходимо принимать во внимание наибольшее время эксплуатации ускорителя за год и вводить коэффициент запаса ($K_3 > 1$). Радиационную защиту помещений, в которых находится ускоритель, изготавливают из материалов, которые наиболее эффективно ослабляют первичное электронное и тормозное излучение, а также обеспечивают минимальный выход вторичного излучения (нейтронного, тормозного и других) и эффективно ослабляет их. В НПЛ "007" корпуса 11Г ТПУ выполняются мероприятия по обеспечению защиты от ионизирующего излучения за счет наличия радиационной защиты помещения, наличия средств индивидуальной защиты, индивидуальных дозиметров и соблюдения [24].

4.4. Безопасность в аварийных и чрезвычайных ситуациях

Чрезвычайная (аварийная) ситуация – обстановка на определенной территории, сложившаяся в результате аварии, опасного природного явления, катастрофы, стихийного или иного бедствия, которые могут повлечь или повлекли за собой человеческие жертвы, ущерб здоровью людей или окружающей природной среде, значительные материальные потери и нарушение условий жизнедеятельности людей [15].

Научно-исследовательская работа проходила в лаборатории “007” в Технопарке, расположенном в корпусе 11г, с ускорительным комплексом. Рассмотрим возможные аварийные ситуации, а именно:

- возникновение пожара;
- удар электрическим током;
- падение с высоты собственного роста;

Таблица 28 Аварийные и чрезвычайные ситуации и мероприятия по их предотвращению и ликвидации последствий

Аварийные и чрезвычайные ситуации	Мероприятия по предотвращению аварийных и чрезвычайных ситуаций	Мероприятия по ликвидации последствий аварийных и чрезвычайных ситуаций
Травмирование по причине падения с высоты соответственно го роста	1. Содержание помещения в надлежащем порядке. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Своевременное проведение инструктажа.	1. Осмотреть или опросить пострадавшего; 2. Если необходимо – вызвать скорую помощь (112); 3. Остановить кровотечение, если оно имеется; 4. Если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник, необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.

Продолжение таблицы 28

<p>Травмирование по причине удара электрическим током</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Заземление всех электроустановок. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Обеспечение недоступности токоведущих частей аппаратуры. 4. Своевременное проведение инструктажа. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Быстро освободить пострадавшего от действия электрического тока [23]; 2. Вызвать скорую помощь (112); 3. Если пострадавший потерял сознание, но дыхание сохранилось, его следует удобно уложить, расстегнуть стесняющую одежду, создать приток свежего воздуха и обеспечить полный покой; 4. Пострадавшему надо дать понюхать нашатырный спирт, сбрызнуть лицо водой, растереть и согреть тело; 5. При отсутствии дыхания нужно немедленно делать искусственное дыхание и массаж сердца.
<p>Пожар</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. Своевременное проведение инструктажа. 2. Установление средств автоматического пожаротушения в помещениях. 3. Установка датчиков дыма и огня. 4. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии. 5. Контроль работы электроприборов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха; 2. Вызвать пожарных или вызвать экстренные службы (112); 3. Немедленно сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны; 4. По возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и спасению материальных ценностей.

4.5. Заключение по главе

В главе рассмотрены вредные и опасные факторы:

- шум [15,17];
- освещенность [15];
- микроклимат [15,18];
- электробезопасность [19,20,21];
- пожаровзрывобезопасность [22,23];
- электромагнитное излучение [14];
- ионизирующее излучение [24].

Данная аудитория учебного корпуса отнесена к категории В3 по пожаровзрывобезопасности [22] и ко 2-ой категории с повышенной опасностью по электробезопасности [21].

Рассмотрены чрезвычайные и аварийные ситуации, меры их предупреждения, меры ликвидации их последствий. Отдельно были рассмотрена радиационная безопасность работы и потенциальная опасность со стороны электромагнитного излучения.

Все средства защиты, предотвращения воздействия и методы минимизации факторов различных ситуаций описаны в соответствующих разделах работы.

Список литературы

1. Цирлин Ю.А., Дайч А.Р., Радыванюк А.М. Сцинтилляционные блоки детектирования. М., Атомиздат, 1978, с. 124.
2. Цирлин Ю.А., Глобус М.Е., Сысоева Е.П. Оптимизация детектирования гамма-излучения сцинтилляционными кристаллами. М., Энергоатомиздат, 1991, с 152.
3. Калашникова В.И., Козодаев М.С, Детекторы элементарных частиц. М., Наука, 1966.
4. Flyckt S.O., Marmonier C. Photomultiplier tubes: principles & applications. Re-edited September 2002, Photonis, Brive, France.
5. Заглубский А.А., Цыганенко Н.М., Чернова А.П. Детекторы излучения. СПб., 2007.
6. Группен К. Детекторы элементарных частиц: Справочное издание. Пер. с англ. – Новосибирск: «Сибирский хронограф», 1999.
7. Анисимова И.И., Глуховской Б.М. Фотоэлектронные умножители. М., Советское радио, 1974.
8. Л.С. Горн, Б.И. Хазанов. Избирательные радиометры. М., Атомиздат, 1975, с. 376.
9. Приемники и детекторы излучений. Справочник. – М.: ДМК Пресс, 2012. – 640 с., табл. 415, ил. 1326.
10. Наличие ФЭУ-87 // eFind.ru URL: <https://efind.ru/offer/%D0%A4%D0%AD%D0%A3-87?ysclid=lguoitel1j154387886> (дата обращения: 31/05/2023).
11. Р. Ю. Шендрик Методы экспериментальной физики конденсированного состояния. Часть 3. Введение в физику сцинтилляторов - 1 - Учебное пособие - Иркутск: изд-во Иркут. гос. ун-та, 2013. - 110 с.
12. Кремниевый фотодиод в измерителе энергии коротких импульсов излучения / З. И. Кирьяшкина [и др.] // Импульсная фотометрия [сборник статей]: / Государственный оптический институт им. С. И. Вавилова ; под

ред. А. А. Волькенштейна . — 1981 . — Вып. 7 . — С. 215-217 . — Библиогр.: с. 217 (3 назв.).

13. Scintillation + Photo Detection // Indico URL: <https://scintillators.ru/booc/scintillators.ru-photo-scin.pdf> (дата обращения: 31/05/2023).

14. СанПиН 2.6.1.2573-10 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации ускорителей электронов с энергией до 100 МэВ

15. СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания"

16. "Трудовой кодекс Российской Федерации" от 30.12.2001 N 197-ФЗ

17. ГОСТ 12.4.275-2014 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) Средства индивидуальной защиты органа слуха. Общие технические требования. Методы испытаний.

18. Промышленная вентиляция и кондиционеры. Компания «EcoLine» (LLenex Engineering Group): официальный сайт. – URL: <https://ecoline-air.ru>

19. ГОСТ 12.1.038-82 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

20. ГОСТ 12.1.045-84 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электростатические поля. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля

21. ГОСТ 12.1.019-2017 Система стандартов безопасности труда. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты

22. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности

23. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования: дата введения 1992-07-01.

24. СанПиН 2.6.1.2523-09 "Нормы радиационной безопасности НРБ-99/2009

ФЮРА.14.03.02.012 ЭЗ

Перв. примен.

Справ. №

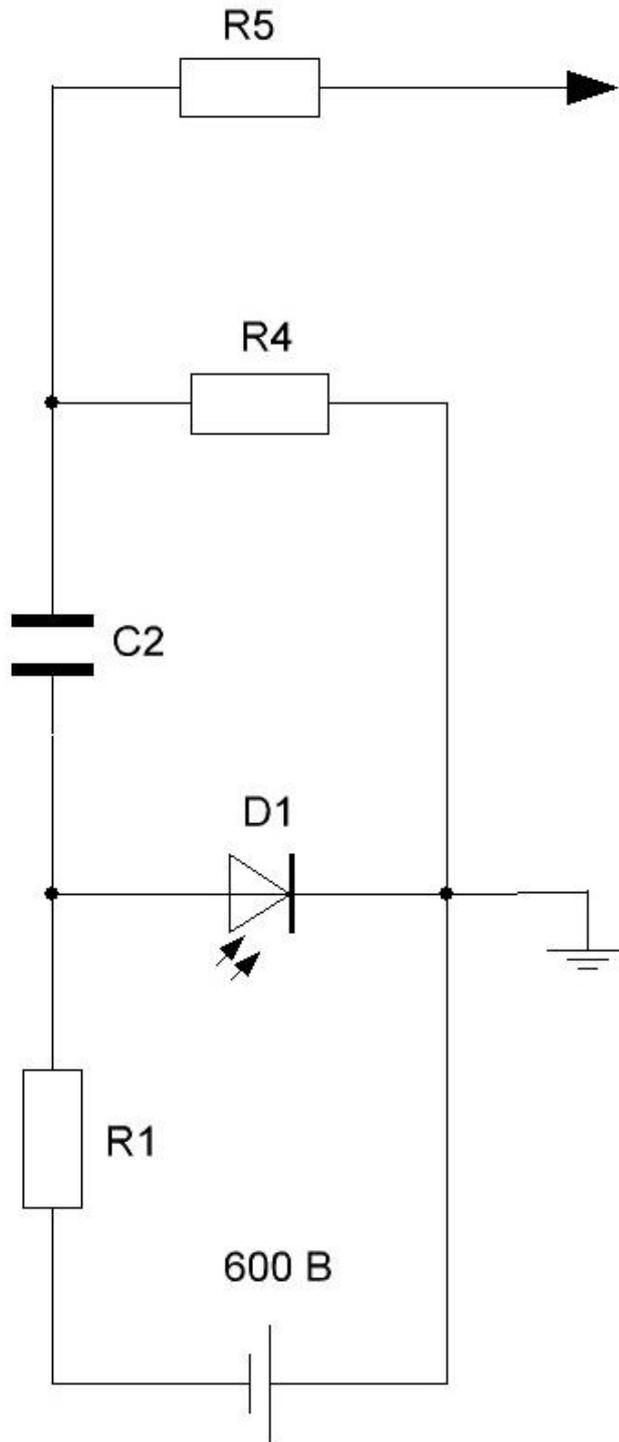
Подп. и дата

Инв. № дубл.

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



ФЮРА.14.03.02.012 ЭЗ

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разраб.		Макаров В.С.		
Пров.		Черепеников Ю.М.		
Т. контр.				
Нач.отд.				
Н. контр.				
Утв.		Селиваникова О.В.		

Приложение А
(обязательное)
Схема включения rip-диода

Схема электрическая
принципиальная

Лит.	Масса	Масштаб
У		
Лист 1	Листов 90	

ТПУ ИЯТШ
группа 0А91

