

Школа Инженерная школа ядерных технологий
 Направление подготовки 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Изучение распада В-мезона в конечное состояние с чармонием в эксперименте на Большом адронном коллайдере

УДК 539.126.13:621.384.665

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Каргина Полина Сергеевна		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелёв А.Э.	к.ф.-м.н		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер ИШФВП	Харисова А.Е.			

КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ядерная физика и технологии	Бычков П.Н.	к.т.н.		

РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код компетенции	Результаты освоения ООП (компетенции)
Универсальные	
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	Владеть одним из иностранных языков на уровне не ниже разговорного.
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
Общепрофессиональные	
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	Способен использовать научно-техническую информацию, отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования, современные компьютерные технологии и информационные ресурсы в своей предметной области
ПК(У)-2	Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов атомной отрасли с использованием стандартных методов и компьютерных кодов для проектирования и анализа
ПК(У)-3	Готов к проведению физических экспериментов по заданной методике, составлению описания проводимых исследований и анализу полученных экспериментальных данных

ПК(У)-4	Способен использовать технические средства для измерения основных параметров объектов исследования
ПК(У)-5	Готов к составлению отчета по выполненному заданию, к участию во внедрении результатов исследований и разработок
ПК(У)-6	Способен использовать информационные технологии при разработке новых установок, материалов и приборов, к сбору и анализу исходных данных для проектирования объектов атомной отрасли
ПК(У)-7	Способен к расчету и проектированию деталей и узлов приборов и установок в соответствии с техническим заданием
ПК(У)-8	Готов к разработке проектной и рабочей технической документации, оформлению законченных проектно-конструкторских работ
ПК(У)-9	Способен к контролю соответствия разрабатываемых проектов и технической документации стандартам, техническим условиям, требованиям безопасности и другим нормативным документам
ПК(У)-10	Готов к проведению предварительного технико-экономического обоснования проектных решений при разработке установок и приборов
ПК(У)-11	Способен к контролю за соблюдением технологической дисциплины и обслуживанию технологического оборудования
ПК(У)-12	Готов к эксплуатации современного физического оборудования, приборов и технологий
ПК(У)-13	Способен 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	Готов 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	Способен 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 14.03.02 Ядерная физика и технологии
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла

УТВЕРЖДАЮ:
 Руководитель ООП
 _____ Бычков П.Н.
 (Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Д	Каргиной Полине Сергеевне

Тема работы:

Утверждена приказом директора (дата, номер)	01.02.2022 г., № 32-52/с
---	--------------------------

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.22
--	----------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

<p>Исходные данные к работе <i>(наименование объекта исследования или проектирования; производительность или нагрузка; режим работы (непрерывный, периодический, циклический и т. д.); вид сырья или материал изделия; требования к продукту, изделию или процессу; особые требования к особенностям функционирования (эксплуатации) объекта или изделия в плане безопасности эксплуатации, влияния на окружающую среду, энергозатратам; экономический анализ и т. д.).</i></p>	<p>Данные, набранные экспериментом LHCb в протон-протонных столкновениях за 2011-2012 гг. (сеанс 1) и 2015-2018 гг. (сеанс 2) при энергиях в системе центра масс 7, 8, 13 ТэВ и общей интегральной светимостью 9 фб⁻¹; программный пакет ROOT, библиотека RooFit и набор расширений Ostar, необходимый для работы с высокоуровневым языком программирования Python.</p>
---	--

<p>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</p> <p><i>(аналитический обзор по литературным источникам с целью выяснения достижений мировой науки техники в рассматриваемой области; постановка задачи исследования, проектирования, конструирования; содержание процедуры исследования, проектирования, конструирования; обсуждение результатов выполненной работы; наименование дополнительных разделов, подлежащих разработке; заключение по работе).</i></p>	<p>Обзор литературных источников по исследуемой тематике; постановка задачи исследования, проектирования, проведение физического анализа данных; анализ полученных результатов; финансовый менеджмент, финансовый менеджмент ресурсоэффективность и ресурсосбережение; социальная ответственность.</p>
<p>Перечень графического материала</p>	<p>Презентация в среде Microsoft office PowerPoint, блок-схема исследования.</p>

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
<p>Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и энергосбережение</p>	<p>Доцент ОСГН ШБИП к.э.н. Якимова Т.Б.</p>
<p>Социальная ответственность</p>	<p>Доцент ОЯТЦ ИЯТШ к.т.н. Передерин Ю.В.</p>

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику

Задание выдал руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Научный сотрудник ИШФВП</p>	<p>Шевелёв А.Э.</p>	<p>к.ф.-м.н</p>		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
<p>Инженер ИШФВП</p>	<p>Харисова А.Е.</p>			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
<p>0А8Д</p>	<p>Каргина Полина Сергеевна</p>		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Д	Каргиной Полине Сергеевне

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

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

1. Стоимость ресурсов: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	<i>Стоимость материальных ресурсов в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей в соответствии со штатным расписанием НИ ТПУ.</i>
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	<i>Коэффициенты для расчета заработной платы.</i>
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	<i>Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения исследования с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	<i>Потенциальные потребители результатов исследования. Проведение SWOT-анализа</i>
2. Планирование и формирование бюджета	<i>Определение трудоемкости работ. Разработка графика проведения научного исследования. Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта</i>
3. Расчет научно-технического эффекта	<i>Расчет коэффициента научно-технического эффекта</i>

Перечень графического материала:

1. Диаграмма Ганта

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Якимова Т.Б.	к.э.н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Каргина Полина Сергеевна		

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
0А8Д	Каргиной Полине Сергеевне

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

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения

*Проведение и оптимизация физического анализа для поиска распада $V^+ \rightarrow J/\psi K^+$.
Полученные данные будут использоваться для развития научной деятельности в области изучения В-физики*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 30.04.2021).

2. Производственная безопасность:

- Анализ выявленных вредных и опасных факторов
- Обоснование мероприятий по снижению воздействия

*Вредные и опасные факторы:
– параметры микроклимата;
– шум;
– недостаток естественного и искусственного освещения;
– электробезопасность;
– пожаровзрывобезопасность.*

3. Безопасность в аварийных ситуациях

*– падение с высоты собственного роста;
– падение с лестницы;
– удар электрическим током;
– пожар.*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

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

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0А8Д	Каргина Полина Сергеевна		

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 (специальность) 14.03.02. Ядерные физика и технологии
 Уровень образования высшее
 Отделение школы (НОЦ) Отделение ядерно-топливного цикла
 Период выполнения (весенний семестр 2021 /2022 учебного года)

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	31.05.22
--	----------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
25.02.2022 – 27.02.2022	Составление и утверждение технического задания	15
27.02.2022 – 10.03.2022	Обзор литературы по детекторному комплексу ЛНСб	10
10.03.2022 – 01.04.2022	Разработка кода, выбор параметров моделирования	15
01.04.2022 – 30.04.2022	Выбор ограничений и проведение моделирования	10
30.04.2022 – 06.05.2022	Анализ и обработка полученных данных	10
06.05.2022 – 09.05.2022	Оценка эффективности полученных результатов	10
09.05.2022 – 15.05.2022	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
15.05.2022 – 20.05.2022	Социальная ответственность	5
20.05.2022 – 31.05.2022	Оформление расчетно-пояснительной записки	15
20.05.2022 – 31.05.2022	Оформление графического материала	5

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР/ Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Научный сотрудник ИШФВП	Шевелёв А.Э.	К.Т.Н		
Инженер ИШФВП	Харисова А.Е.			

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ООП

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОЯТЦ ИЯТШ	Бычков П.Н.	К.Т.Н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа: 82 страницы, 26 рисунков, 27 таблиц, 57 источников, 1 приложение.

Ключевые слова: БАК, LHCb, анализ данных, распад В-мезона, b-кварк.

Объектом исследования является: распад $B^\pm \rightarrow J/\psi \eta K^\pm$ ($J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$).

Цель работы – изучить распад $B^\pm \rightarrow J/\psi \eta K^\pm$ в данных, набранных экспериментом LHCb на Большом адронном коллайдере в протон-протонных столкновениях в 2011, 2012 и 2015-2018 годах при энергиях в системе центра масс 7, 8 и 13 ТэВ соответственно. Полная интегральная светимость составила 9 фбн⁻¹.

Практическое задание бакалаврской работы выполнялось в НИ ТПУ в корпусе № 11, аудитория № 248.

В результате исследования проведен физический анализ данных, методом наложения прямых ограничений на массовое окна дочерних частиц и кинематические переменные, в ходе которого наблюдался сигнал распада $B^\pm \rightarrow J/\psi \eta K^\pm$, реконструированный с помощью мод $J/\psi \rightarrow \mu^+ \mu^-$ и $\eta \rightarrow \pi^+ \pi^- \pi^0$. Статистическая значимость сигнала составила 24σ .

Степень внедрения: в настоящее время предмет исследования находится на этапе теоретической проработки.

Область применения: работа может быть интересна научным организациям, занимающимся исследованиями в области физики высоких энергий и элементарных частиц.

Коммерческий потенциал данного исследования отсутствует.

Содержание

РЕФЕРАТ.....	9
Введение	12
1. Эксперимент LHCb на ускорителе БАК.....	14
1.1 Большой Адронный коллайдер.....	14
1.2 Детекторный комплекс LHCb.....	15
1.2.1 Трековая система слежения.....	17
1.2.1.1 Дипольный магнит.....	17
1.2.1.2 Вершинный детектор.....	18
1.2.1.3 Трековые станции.....	19
1.2.2 Идентификация частиц	20
1.2.2.1 Детекторы черенковского излучения	20
1.2.2.2 Калориметрическая система.....	21
1.2.2.3 Мюонная система	23
1.2.3 Обработка данных	24
1.2.3.1 Триггер.....	24
1.2.3.2 Реконструкция треков	25
1.2.4 Математическое моделирование процессов	26
2. Поиск распадов $B^\pm \rightarrow J/\psi\eta K^\pm$	27
2.1 Используемые данные	28
2.2 Математическое моделирование данных	28
2.3 Предварительный отбор сигнальных B^\pm -кандидатов	29
2.4 Отбор B^\pm -кандидатов наложением прямых ограничений.....	32
2.4.1 Наложение ограничений на массовые окна частиц	32
2.4.2 Наложение ограничений на кинематические параметры	34
2.5 Наблюдение распада $B^\pm \rightarrow J/\psi\eta K^\pm$	38
2.6 Поиск промежуточных резонансов	39
2.7 Перекрестная проверка.....	42
3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	44

3.1	Потенциальные потребители результатов исследования.....	44
3.2	SWOT-анализ.....	45
3.3	Планирование научно-технических работ.....	47
3.3.1	Структура работ в рамках научного исследования.....	47
3.3.2	Определение трудоемкости выполнения работ.....	48
3.3.3	Разработка графика проведения научного исследования.....	49
3.4	Бюджет научно-технического исследования	51
3.4.1	Расчет затрат на оборудование для НТИ	52
3.4.2	Расчет материальных затрат НТИ.....	52
3.4.3	Базовая заработная плата	53
3.4.4	Дополнительная заработная плата	54
3.4.5	Взносы во внебюджетные фонды	55
3.4.6	Накладные расходы	55
3.4.7	Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта	56
3.5	Расчет научно-технического эффекта.....	56
3.6	Выводы по разделу	58
4.	Социальная ответственность.....	59
4.1	Организация рабочего места оператора ПК.....	59
4.2	Оценка вредных и опасных факторов.....	61
4.2.1	Отклонение параметров микроклимата.....	62
4.2.2	Шум.....	64
4.2.3	Недостаток естественного и искусственного освещения	65
4.2.4	Электробезопасность.....	68
4.2.5	Пожаровзрывобезопасность	71
4.3	Аварийные ситуации	72
4.4	Выводы по разделу	75
	Заключение.....	76
	Список литературы.....	77
	Приложение А.....	82

Введение

Существование третьего поколения кварков (известных сейчас под названиями beauty-кварк или b-кварк и top-кварк или t-кварк) было предсказано теоретиками Макото Кобаяши и Тошихиде Маскава в 1973 году, для объяснения механизма CP-нарушения в рамках Стандартной модели [2]. Спустя четыре года в эксперименте E288 (Фермилаб, США) группой Леона Ледермана был впервые обнаружен Y -мезон [3], представляющий собой связанное состояние b- и \bar{b} -кварков. Это наблюдение стало первым свидетельством в пользу предположения Кобаяши и Маскава. Позднее открытие B-мезонов в экспериментах ARGUS [4] и CLEO [5] подтвердило существование b-кварка. Дальнейшие исследования B-мезонов, проводившиеся экспериментами ARGUS [6] и CLEO [7], продемонстрировали, что в распадах этих частиц проявление эффекта нарушения CP-симметрии оказывается наиболее сильным. Это стало причиной большого интереса к физике B-мезонов.

Для физики элементарных частиц изучение и поиск новых распадов B-мезонов является актуальной задачей вследствие того, что исследования позволят продвинуться в понимании механизмов нарушения CP-симметрии и раскрыть загадку барионной асимметрии Вселенной. Изучением распадов B-мезонов занимаются специализированные «B-фабрики»: установка BaBar [8] (ускоритель PEP-II, США) и установка Belle [9] (ускоритель KEKB, Япония), не исключаются и исследования с помощью детекторов общего назначения.

На Большом адронном коллайдере (БАК) [10] эксперимент LHCb [11] посвящен в первую очередь изучению физики адронов, содержащих b-кварк. Протон-протонные столкновения с энергиями, достигаемыми на БАК, обеспечивают эксперимент большими сечениями рождения b- и c-кварков, а также возможностью получать все возможные мезоны и барионы, содержащие b-кварк.

Многие свойства B-мезонов были слабо изучены в предыдущих экспериментах. Изучение распадов этих частиц связано не только с измерениями их масс, собственных времен жизни, но и с возможным получением новых

знаний о проблемах квантовой хромодинамики, таких как перенос цвета и адронизация кварков.

Многие эксперименты, в том числе LHCb, проводили измерение отношений вероятностей распадов В-мезонов и Λ_b -барионов в конечные состояния, содержащие $\psi(2S)$ - и J/ψ -мезоны ($R_{\psi(2S)/J/\psi}$). Полученные ранее результаты показывают хорошее согласие значений таких отношений между разными модами распадов В-мезонов. Однако в случае распадов Λ_b -барионов эти отношения оказываются в 2-3 раза меньше. Для понимания причин расхождения и проверки факторизационного подхода, используемого для описания подобных распадов, крайне важным является поиск и исследование новых каналов распадов В-мезонов в конечные состояния с чармонием [12-14].

1. Эксперимент LHCb на ускорителе БАК

LHCb – эксперимент в ЦЕРН, посвященный изучению тяжелых ароматов с большой статистикой. Полученная в результате высокая экспериментальная точность данных позволяет наблюдать мельчайшие отклонения от предсказаний Стандартной модели в CP-нарушениях, а также наблюдать редкие явления, вариации которых могут намекать на процессы Новой физики (НФ). LHCb начал собирать данные в 2010 году. Так называемый, сеанс 1 начался с начальной энергии центра масс $\sqrt{s} = 7$ ТэВ, которая затем была увеличена до $\sqrt{s} = 8$ ТэВ, собирая интегральную светимость $3,23 \text{ фбн}^{-1}$ до конца 2012 года. После двухлетней остановки работа LHC продолжалась с 2015 по 2018 год (сеанс 2), когда в эксперименте были получены данные при $\sqrt{s} = 13$ ТэВ, зафиксировав интегральную светимость $\sim 6 \text{ фбн}^{-1}$.

В данном разделе кратко рассматривается описание экспериментальной установки LHCb, используемой для сбора данных, проанализированных в данной ВКР.

1.1 Большой Адронный коллайдер

Большой адронный коллайдер (БАК) – крупнейший в мире коллайдер заряженных частиц. Ускоритель расположен в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) и запущен 10 сентября 2008 года.

БАК представляет собой 27-километровое кольцо сверхпроводящих магнитов с рядом ускоряющих структур, предназначенных для повышения энергии частиц, движущихся в противоположных направлениях и сталкивающихся в точках пересечения пучков, где расположены детекторы ATLAS [15], CMS [16], ALICE [17] и LHCb. ATLAS и CMS – детекторы общего назначения по прямому наблюдению новых частиц. Детектор ALICE оптимизирован для изучения столкновений тяжелых ионов для изучения кварк-глюонной плазмы. Детектор LHCb создан для изучения распадов тяжелых кварков. Также, вблизи области взаимодействия сталкиваемых частиц расположены детекторы LHCf [18], TOTEM [19] и MoEDAL [20].

Перед попаданием в кольцо БАК (рисунок 1) протоны получают и ускоряют в четыре этапа: сначала их производят, ионизируя атомы водорода, затем их ускоряют в LINAC2 (начальный линейный ускоритель), который доводит их до энергии 50 МэВ. После протоны ускоряются в BOOSTER (синхротронный ускоритель) до 26 ГэВ, и, наконец, они ускоряются в SPS, до энергии 450 ГэВ.

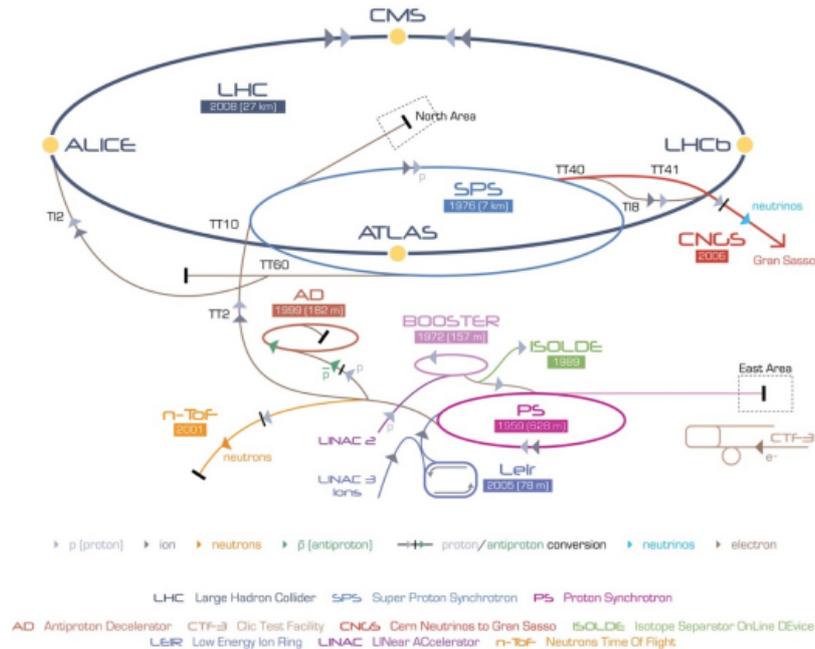


Рисунок 1 – Ускорительный комплекс Большого адронного коллайдера

1.2 Детекторный комплекс LHCb

Детектор LHCb является одноплечевым спектрометром и имеет вид конуса, на острие которого происходят столкновения встречных пучков протонов, чтобы отслеживать лишь те частицы, которые вылетают под небольшим углом (не более 15 градусов) к оси пучка. Такая геометрия детектора обусловлена тем, что в протон-протонных столкновениях при энергиях БАК пары $b\bar{b}$ -кварков рождаются главным образом в узком телесном угле вдоль оси пучка (рисунок 2). В данную область попадает примерно 40% всех рожденных в столкновениях частиц, содержащих b - и s -кварки. Длина детектора составляет около 20 м, а максимальные поперечные размеры – около $6 \times 5 \text{ м}^3$. Диапазон псевдо-быстрот находится в области от 1,8 до 4,9.

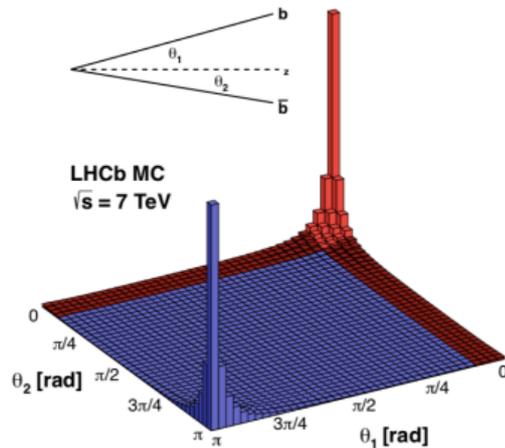


Рисунок 2 – Угол вылета b-кварков в протон-протонных столкновениях при энергии в системе центра масс $\sqrt{s} = 8$ ТэВ; θ_1 и θ_2 – углы между импульсами кварков и осью пучка

Детектор LHCb (рисунок 3) работает при мгновенной светимости, уменьшенной, относительно номинальной светимости БАК: $2 \cdot 5 \cdot 10^{32} \text{ см}^{-2} \text{ с}^{-1}$, что является необходимым для высокого координатного разрешения вершин взаимодействий.

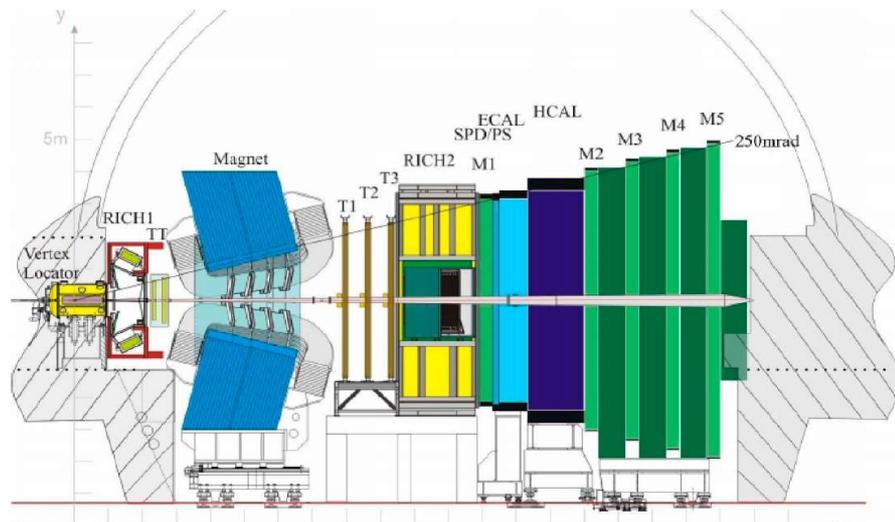


Рисунок 3 – Схема детекторного комплекса LHCb

Для отделения продуктов распада адронов, содержащего b- или c-кварк, от частиц, рожденных непосредственно при pp-столкновениях, используются первичная (точка, где произошло pp-столкновение) и вторичная (точка, где распалась образовавшаяся частица) вершины распада. На обнаружение

первичной вершины распада b -адрона негативно влияет наличие нескольких pp -взаимодействий в одном пересечении пучков, таким образом при работе с пониженной светимостью на одно пересечение пучков приходится от 1 до 5 pp -столкновений в LHCb, что значительно меньше, чем при работе с проектной светимостью БАК (на каждое пересечение пучков – 23 взаимодействия)

Детекторный комплекс LHCb содержит трековые системы, системы идентификации частиц и системы триггеров.

1.2.1 Трековая система слежения

Трековая система слежения состоит из кремниевого детектора VERtex Locator (VELO), окружающего область взаимодействия, и четырех планарных станций слежения, ТТ-трекера перед дипольным магнитом и трех станций слежения Т1-Т3 за магнитом. Станции Т1-Т3 содержат внутренний трекер IT, расположенный в центре станций и окружающий трубу луча, и внешний трекер OT, предназначенный для внешних областей.

1.2.1.1 Дипольный магнит

Для измерения импульсов заряженных частиц используется дипольный магнит [21], создающий вертикальное магнитное поле. Магнит обеспечивает интегральное поле до 4 Тс. Для соответствия требуемого приема детектора магнит представляет собой катушки в форме седла с наклонными полюсами, размещенными симметрично друг другу.

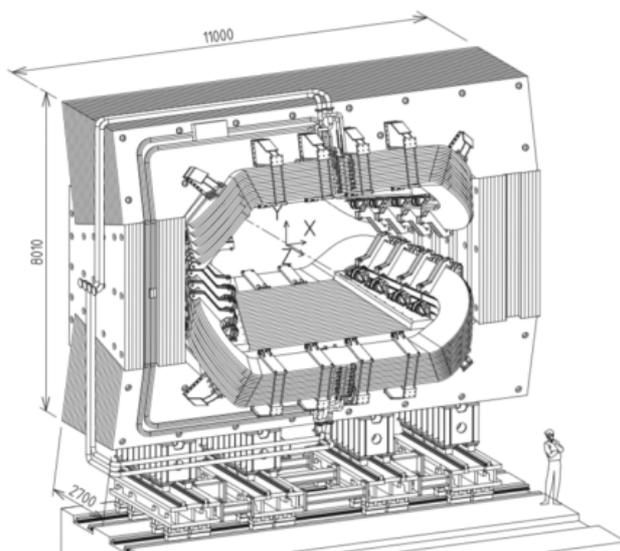


Рисунок 4 – Схема дипольного магнита

Точность измерения импульсов заряженных частиц, проходящих через всю трековую систему, составляет 0,4 % для частиц с импульсом до 5 ГэВ/с и до 0,6 % – для частиц с импульсом до 100 ГэВ/с.

1.2.1.2 Вершинный детектор

Роль стрипового вершинного детектора VELO заключается в реконструкции точек рождения и точек распада адронов, содержащих *b*- и *c*-кварки, а также в обеспечении точных измерений их среднего времени жизни.

Детектор VELO [22] – это кремниевый стриповый детектор, состоящий из модулей, представляющих собой пару склеенных между собой сенсоров (рисунок 5), изготовленных в форме полудисков. Один сенсор измеряет расстояние от оси *z* в радиальном направлении (*R*-сенсор), а второй – угол ϕ в системе координат детектора LHCb (ϕ -сенсор).

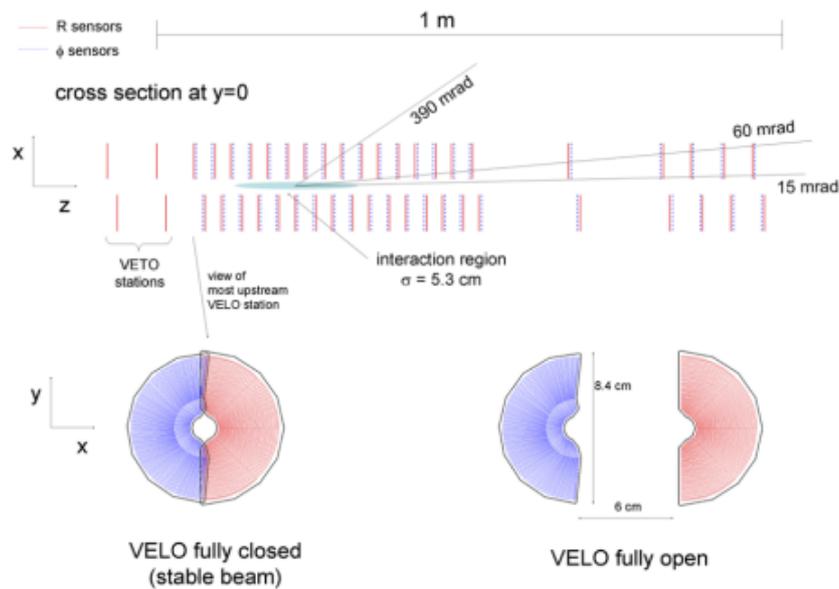


Рисунок 5 – Схема детектора VELO

Длина вершинного детектора составляет 1 м. VELO разделен на две половины, окружающих балочную трубу, каждая из которых содержит 21 модуль, 6 расположены до точки пересечения пучков, остальные 15 расположены после.

VELO позиционируется с точностью свыше 4 мкм на максимально близком расстоянии от луча (около 7 мм во время сбора данных). Датчики VELO работают в сосуде, расположенном внутри вторичного вакуума с давлением

менее $2 \cdot 10^{-7}$ мбар, отделенного от первичного вакуума БАК. Чтобы свести к минимуму радиационные повреждения и отвести выделяемое тепло, система охлаждения поддерживает диапазон температур от -10 до 0 °С.

VELO позволяет восстанавливать положение вершины с точностью 10 мкм, а точность определения времени жизни частиц, распадающихся в VELO, равна 45 фс.

1.2.1.3 Трековые станции

Задача трековых станций – эффективная реконструкция треков заряженных частиц и черенковских колец RICH-детекторов.

Трековая станция ТТ [23] (Tracker Turicensis) находится перед дипольным магнитом. ТТ состоит из четырех станций, сгруппированных попарно, называемых ТТа и ТТб, расположенных на расстоянии 30 см друг от друга. Каждая станция состоит из кремниевых микрополосковых планарных модулей, площадь $150 \text{ см} \times 130 \text{ см}$ (ширина умноженная на высоту), обеспечивающих акцептанс LHCb 300 мрад в горизонтальной плоскости и 250 мрад в вертикальной плоскости.

Каждая из станций слежения Т1–Т3 состоит из внутренней части (IT), окружающей трубу луча, и внешней части (OT), находящейся за ее пределами. Стриповый детектор IT (внутренний треккер, Inner Tracker) представляет собой кремниевый стриповый детектор (крестообразная область вокруг оси пучка). Как и в ТТ-детекторе, каждая из станций внутреннего треккера состоит из четырёх слоёв. Слои расположены в соответствии с «x – u – v – x» геометрии, расстояние между стрипами в каждом слое составляет 200 мкм.

OT [24] представляет собой дрейфовый детектор, состоящий из строу-трубок с внутренним диаметром 4,9 мм. Трубки заполнены газовой смесью 70% аргона, 28,5% CO₂ и 1,5% O₂ для достижения быстрого дрейфа (менее 50 нс).

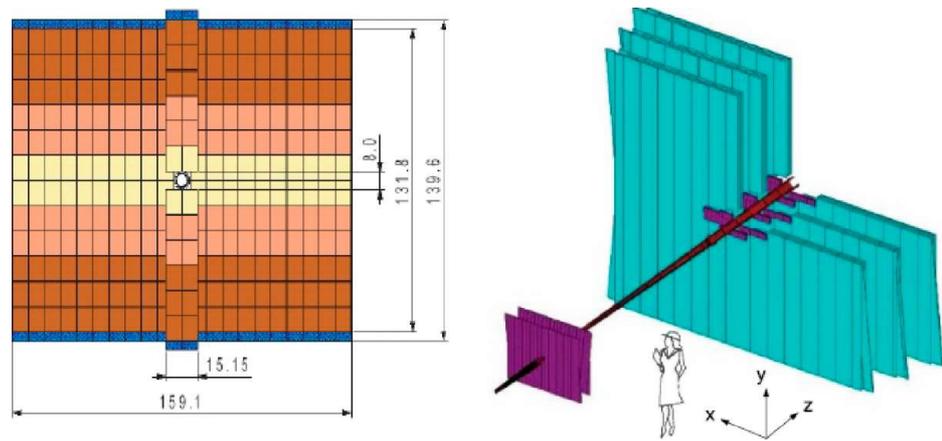


Рисунок 6 – Схема одного из слоев ТТ-детектора (слева). Схема относительного расположения ТТ-, IT- и OT-детекторов (справа)

1.2.2 Идентификация частиц

Идентификация заряженных частиц (e, μ, π, K, p), образующихся в результате распада частиц с тяжелыми ароматами, необходима для анализа данных, собранных LHCb [25]. Идентификация разряженных частиц происходит благодаря двум детекторам черенковского излучения (RICH), калориметрической и мюонной системам.

Нейтральные частицы, такие как фотоны или π^0 , возможно определить в электромагнитном калориметре, где π^0 может быть идентифицирован как два электромагнитных кластера, либо как один, являющийся результатом перекрытия двух кластеров ($\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$).

1.2.2.1 Детекторы черенковского излучения

Диапазон импульсов, который содержит 90% каонов, пионов и протонов от распада В-мезона, находится между 2 и 150 ГэВ/с, и для достижения разделения каонных, пионных и протонных кандидатов используются два черенковских детектора, RICH1 и RICH2.

RICH1 расположен между VELO и ТТ перед магнитом и имеет угловой прием от ± 25 до ± 300 мрад (горизонтальная плоскость) и до ± 250 мрад (вертикальная плоскость). Радиаторами в детекторе RICH1 являются прослойка аэрогеля толщиной 5 см и газовый слой C_4F_{10} длиной 85 см для идентификации частиц с малыми импульсами (порядка нескольких ГэВ /с).

Детектор RICH2, находится за дипольным магнитом, и имеет угловой прием от ± 15 до ± 120 мрад (горизонтальная плоскость) и до ± 100 мрад (вертикальная плоскость). Детектор RICH2 охватывает область, где наиболее распространены частицы с большим импульсом. В качестве радиатора применяется тетрафторит углерода.

На рисунке 7 представлены схемы черенковских детекторов RICH1 и RICH2. В детекторах установлены дополнительные плоские зеркала, необходимые для уменьшения области, в которой частицы взаимодействуют с материалом фотодетекторов.

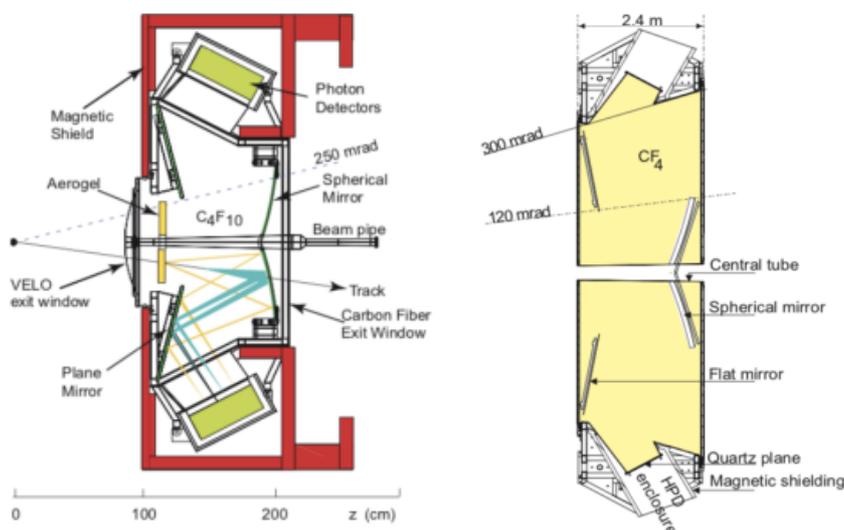


Рисунок 7 – Схемы детекторов RICH1 (слева) и RICH2 (справа)

Эффективность идентификации каонов системой RICH [26] составляет около 95%, а эффективность идентификации протонов – более 90%. Вероятность ошибочной идентификации пионов как каонов при этом менее 10%, а вероятность ошибочной идентификации пионов и каонов как протонов при этом равна 10%.

1.2.2.2 Калориметрическая система

Калориметрическая система [27] идентифицирует адроны, электроны и фотоны, а также измеряет их энергию и положение для триггера Уровня-0. Система включает четыре поддетектора: сцинтилляционный прокладочный

детектор (SPD), предливневый детектор (PS), электромагнитный калориметр (ECAL) и адронный калориметр (HCAL).

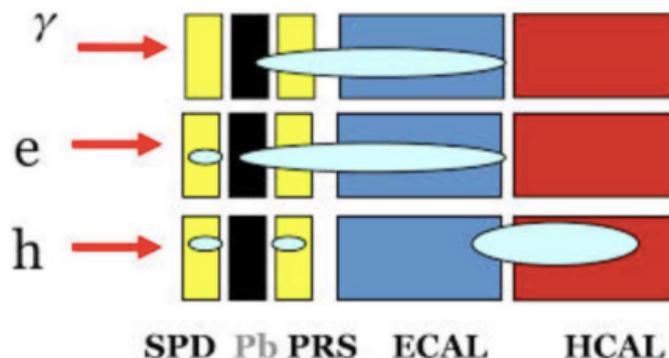


Рисунок 8 – Выделение энергии при прохождении разных видов частиц через калориметрическую систему детектора LHCb

SPD и PS используются на уровне запуска и в автономном режиме в сочетании с ECAL, чтобы указать на присутствие электронов, фотонов и нейтральных пионов. Детекторы имеют два пластиковых сцинтилляционных слоя, разделенных свинцовой пластиной толщиной 15 мм, через которую могут излучаться электроны и фотоны; а также измеряется излучаемая энергия. Свет от сцинтилляторов направляется на фотоумножители по оптическим волокнам со сдвигом длины волны (WLS).

В ECAL используется технология «Шашлык», в которой чередуются независимые модули, построенные из сцинтилляционных плиток и свинцовых пластин. ECAL состоит из 66 слоев таких модулей, состоящих из 2 мм свинца и 4 мм сцинтилляционного материала, а также использует оптические волокна WLS для направления света от детектора к фотоумножителям.

HCAL является гетерогенным калориметром. В качестве поглотителя используется железо со сцинтилляционными плитками, которые выступают в качестве активного материала. HCAL используется для измерения поперечной энергии адронных ливней для триггера Уровня-0 и для улучшения разделения электронов и адронов с большими импульсами.

1.2.2.3 Мюонная система

Идентификация мюонов является фундаментальным требованием эксперимента LHCb, так как мюоны присутствуют в конечных состояниях многих распадов B-мезонов.

Мюонная система LHCb [28] обеспечивает измерение поперечных импульсов мюонов для триггерной системы. Мюонная система состоит из пяти станций M1-M5 прямоугольной формы. Полная система состоит из 1368 многопроволочных пропорциональных камер, дополненных 12 тройными камерами GEM (трехкаскадные газовые электронные умножители) во внутренней части первой станции, необходимых для того, чтобы справиться с очень высокой скоростью частиц.

M1 расположена перед SPD, а M2-M5 расположены ниже по потоку от калориметра HCAL и чередуются с железными поглотителями толщиной 80 см для того, чтобы препятствовать прохождению адронов.

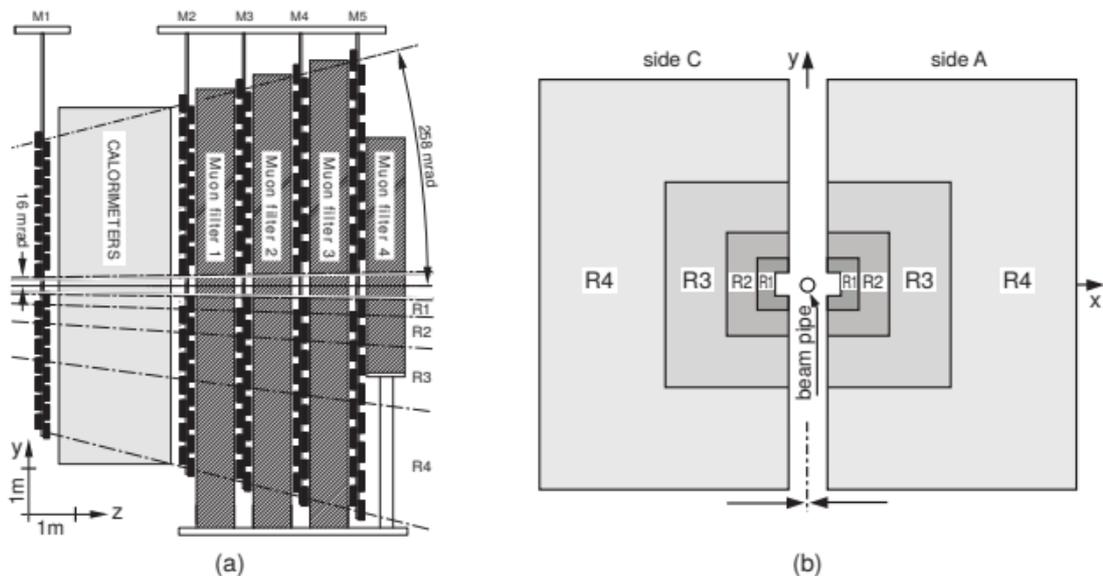


Рисунок 9 – Вид сбоку (a) и спереди (b) мюонной системы LHCb

Каждая мюонная станция предназначена для достижения эффективности идентификации мюонов выше 99% во временном окне 20 нс, с уровнем шума ниже 1 кГц на физический канал.

1.2.3 Обработка данных

Даже при относительно большом $b\bar{b}$ -сечении при энергиях ЛНС только примерно 1% видимых pp-взаимодействий приводят к $b\bar{b}$ -событию.

События, отбираемые триггерной системой, передаются на предварительную реконструкцию, которая классифицирует события посредством различных требований в соответствии с их свойствами.

1.2.3.1 Триггер

Цель триггера ЛНСб [29] заключается в том, чтобы добиться максимальной эффективности для событий, позже выбранных в автономном анализе, при этом резко отбрасывая большинство неинтересных фоновых событий. Для достижения этой цели триггер использует информацию со всех поддетекторов ЛНСб.

Триггер организован на двух разных уровнях: триггер уровня 0 (L0) и триггер высокого уровня (High Level Trigger, HLT). Уровень-0 получает информацию от поддетекторов калориметрической, мюонной и системы оценки множественности событий, выполняя выборку, чтобы снизить частоту событий с 40 МГц до менее 1 МГц. Триггер высокого уровня – это программное приложение, состоящее из нескольких тысяч процессов, которое дополнительно снижает частоту событий в диапазоне кГц для хранения.

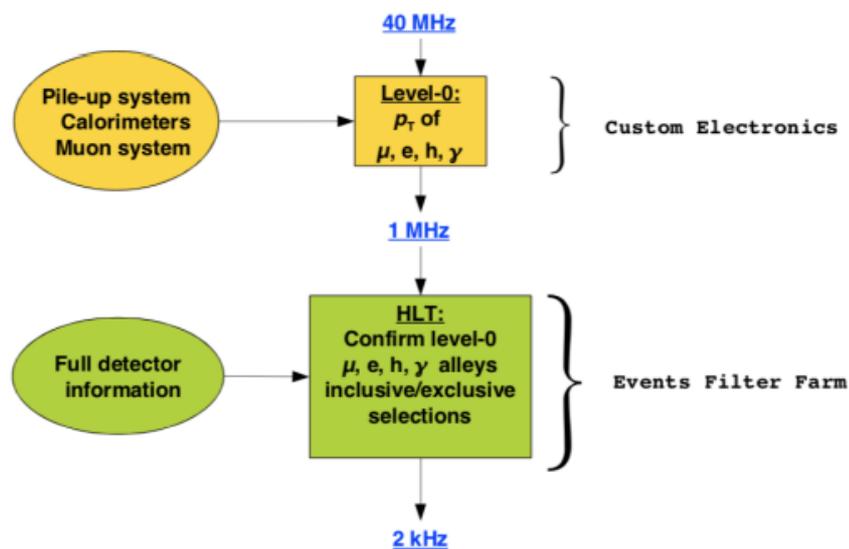


Рисунок 10 – Схема триггерной системы

Триггер L0 разделен на три независимых компонента: триггер L0-калориметр, триггер L0-мюон и триггер L0-PileUp. Последний используется для подавления множественных видимых взаимодействий при пересечении пучка с помощью «специального» детектора Pile-Up System, размещенного в VELO.

HLT делится на два этапа. Первый этап (HLT1) обрабатывает полную скорость L0 и использует частичную реконструкцию событий для снижения скорости примерно до 110 кГц. Второй этап (HLT2) снижает частоту примерно до 12,5 кГц, выполняя более полную реконструкцию события.

1.2.3.2 Реконструкция треков

Данные с детекторов VELO, TT, IT и OT объединяют при помощи программы реконструирования треков, таким образом реконструируются траектории частиц, которые идут из VELO до калориметров. Алгоритм реконструкции восстанавливает траектории всех частиц в событии, которые оставили необходимую информацию в детекторах [30]. В зависимости от траекторий внутри спектрометра и от детекторов, в которых были зарегистрированы частицы, треки подразделяют по следующим категориям (рисунок 11):

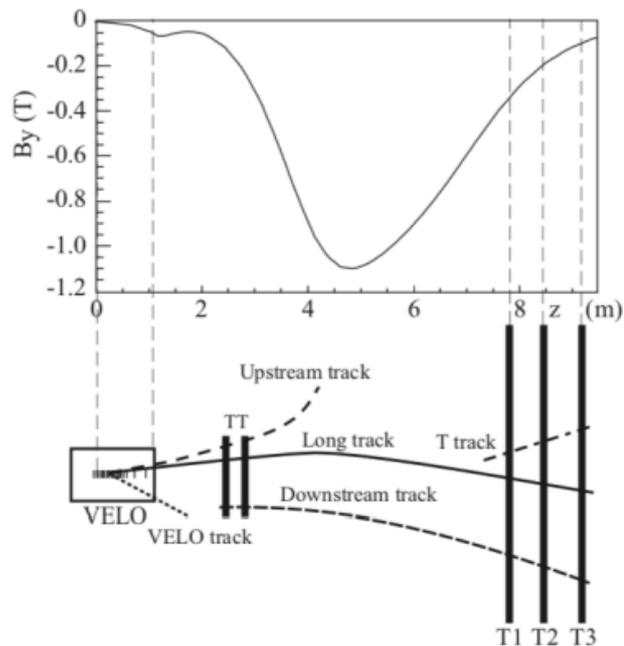


Рисунок 11 – График напряженности магнитного поля (сверху),
схематическое изображение категорий треков(снизу)

– «длинные» треки, которые пересекают полностью всю трекингую систему от VELO до T-станций. Данные треки важны для реконструкции распадов b -мезонов.

– «восходящие» треки, зарегистрированы только в станции VELO и TT-детекторах. Как правило, оставлены частицами с меньшим импульсом и отклоняются магнитным полем;

– «нисходящие» треки, которые проходят только через станции TT и T и остаются вне области VELO, основном происходят из распадов K_S^0 и Λ ;

– треки VELO, наблюдаемые только в VELO. Как правило, это треки с большим углом относительно z или обратным треком, которые используются для восстановления первичной вершины;

– T-треки, которые видны только в T станциях вследствие того, что производятся только во вторичных взаимодействиях. Они полезны для идентификации частиц в RICH2.

1.2.4 Математическое моделирование процессов

Роль симулированных данных в физике высоких энергий высока, так как они позволяют оценить алгоритмы реконструкции и физического анализа, а также оценить работу конструкции детектора.

Моделирование состоит из трех основных этапов: сначала моделируются протон-протонное столкновение и сопряженные с ним процессы, затем моделируется взаимодействие частиц с детектором, а после, моделированный отклик детектора обрабатывается теми же программами, что и реальные данные эксперимента.

Для моделирования в LHCb используется программное обеспечение Gauss [31], состоящее из набора библиотек для физического моделирования. С помощью пакета PYTHIA [32] генерируются процессы, происходящие при pp-столкновениях. В PYTHIA включены специальные настройки, позволяющие воспроизводить правильные множественности треков в области чувствительности эксперимента. Обнаружение частиц, родившихся в ходе

экспериментов, моделируются пакетом программ EvtGen [35], который был изначально разработан для экспериментов BaBar и CLEO.

С помощью пакета GEANT4 [34] моделируется отклик детектора. Моделирование отклика опирается на точное описание геометрии детектора и детали исследуемых физических процессов. Например, за реконструкцию событий отвечает программа Brunel, а программа Moore применяется для триггерного отбора.

Анализ экспериментальных и смоделированных данных проводится с помощью программ Bender и Ostar, являющихся частью программного обеспечения LHCb. Благодаря расширению Ostar значительно упрощаются интерактивные манипуляции с ROOT [35] через Python.

3. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

На сегодняшний день перспективность научного исследования определяется не столько масштабом открытия, оценить которое на первых этапах жизненного цикла высокотехнологического и ресурсоэффективного продукта бывает достаточно трудно, сколько коммерческой ценностью разработки.

Данная ВКР направлена на изучение распада В-мезона в конечное состояние с чармонием в эксперименте на Большом адронном коллайдере, путем физического анализа данных.

Целью данного раздела является проектирование и создание конкурентоспособных разработок и технологий, отвечающих предъявляемым требованиям в области ресурсоэффективности и ресурсосбережения.

Достижение цели обеспечивается решением задач:

- разработка общей экономической идеи проекта;
- организация работ по научно-исследовательскому проекту;
- планирование научно-исследовательских работ;
- оценки коммерческого потенциала и перспективности проведения научных исследований с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения;
- расчет научно-технического эффекта.

3.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Коммерческий потенциал данного исследования отсутствует. Моделирование полезно организациям, занимающимся научными исследованиями в области физики высоких энергий, физики элементарных частиц. В качестве заинтересованных сторон могут выступать крупные коллаборации, проводящие эксперименты на адронных коллайдерах различного типа, а также специализированные асимметричные «В-фабрики», например, установка Belle на ускорителе KEKB (КЕК, Япония) и установка BaBar на ускорителе PEP-II (SLAC, США).

3.2 SWOT-анализ

SWOT-анализ заключается в описании сильных и слабых сторон проекта, в выявлении возможностей и угроз для реализации проекта, которые проявились или могут появиться в его внешней среде.

Результаты первого этапа SWOT-анализа, заключающегося в выявлении сильных и слабых сторон проекта, возможностей его развития и угроз, представлены в таблице 13.

Таблица 13 – Первый этап SWOT-анализа

Сильные стороны	Слабые стороны
<ol style="list-style-type: none">1. Возможность работать удалённо.2. Большое сечение рождения с- и b-кварков в эксперименте LHCb.3. Собрана большая статистика.4. Существование набора расширений Ostar на языке программирования python.	<ol style="list-style-type: none">1. Необходимость знания нескольких языков программирования.2. Невозможность определить ошибки в коде по мере его разработки.3. Длительность расчетов.4. Большое количество дочерних частиц в распаде;5. Недостаточная точность расчетов.
Возможности	Угрозы
<ol style="list-style-type: none">1. Наличие подробного плана для реализации подобных задач;2. Код прост в освоении;3. Доступность программного обеспечения;4. Использование библиотек для разнообразных задач; увеличения статистики данных.	<ol style="list-style-type: none">1. Поломка ЭВМ;2. Сбои в подключении сети интернет; отсутствие коммерческого интереса к проекту;3. Параллельное проведение данного исследования конкурирующей лабораторией.

В таблице 14 представлен SWOT-анализ в виде таблицы, так же показаны результаты пересечений сторон, возможностей и угроз.

Таблица 14 – SWOT-анализ

	<p>Сильные стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. возможность работать удалённо; 2. большое сечение рождения с- и b-кварков в эксперименте LHCb; 3. собрана большая статистика; 4. существование набора расширений Ostar на языке программирования python. 	<p>Слабые стороны научно-исследовательского проекта:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. необходимость знания нескольких языков программирования; 2. невозможность определить ошибки в коде по мере его разработки; 3. длительность расчетов. 4. большое количество дочерних частиц в распаде; 5. недостаточная точность расчетов.
<p>Возможности:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. наличие подробного плана для реализации подобных задач; 2. код прост в освоении; 3. доступность программного обеспечения; 4. использование библиотек для разнообразных физических задач; 5. увеличения статистики данных. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможность проведения анализа различных распадов. 2. Возможность писать код для каждой задачи. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Возможен повторный запуск кода после обнаружения ошибок. 2. Возможность независимого пользования.
<p>Угрозы:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. поломка ЭВМ; 2. сбои в подключении сети интернет; 3. отсутствие коммерческого интереса к проекту; 4. параллельное проведение данного исследования конкурирующей лабораторией. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Улучшение безопасности работы с кодом; 2. Получение более точного результата. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Увеличение количества серверов для обработки и хранения больших объемов данных, благодаря чему увеличится точность расчётов и скорость их выполнения; 2. Привлечение большего количества сотрудников для физического анализа данных

На основе результатов проведенного анализа можно сделать вывод, что для улучшения точности результатов исследования необходимо набрать большую статистику за счет данных, набираемых на эксперименте за 2021-2023 гг, а также за счет проведения параллельной проверки. Для уменьшения внешних угрозы (поломка ЭВМ, сбои в подключении сети интернет) работу необходимо проводить через удаленный рабочий стол.

Для уменьшения внешних угрозы (поломка ЭВМ, сбои в подключении сети интернет) работу необходимо проводить через удаленный рабочий стол.

3.3 Планирование научно-технических работ

3.3.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование комплекса предполагаемых работ осуществляется в следующем порядке:

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

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

Примерный порядок составления этапов и работ, распределение исполнителей по данным видам работ приведен в таблице 15.

Таблица 15 – Перечень этапов, работ и распределение исполнителей

Основные этапы	№ раб	Содержание работы	Должность исполнителя
Разработка технического задания	1	Составление и утверждение технического задания	Научный руководитель, бакалавр

Выбор направления исследований	2	Выбор направления исследований	Научный руководитель, бакалавр
	3	Побор и изучение материалов по теме	Научный руководитель, бакалавр
	4	Разработка методики выполнения работ	Научный руководитель
	5	Составление календарного плана	Научный руководитель, бакалавр
Теоретическое исследование	6	Поиск литературы	Научный руководитель, бакалавр
	7	Изучение литературы	Бакалавр
Практическая часть	8	Разработка кода	Научный руководитель, бакалавр
	9	Отбор сигнальных событий	Бакалавр
	10	Поиск возможных вкладов	Бакалавр
Обобщение и оценка результатов	11	Оценка эффективности полученных результатов	Научный руководитель, бакалавр
Проведение ВКР			
Оформление комплекта документации по ВКР	12	Составление пояснительной записки	Бакалавр
	13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Научный руководитель, бакалавр

3.3.2 Определение трудоемкости выполнения работ

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

$$t_{ожі} = \frac{3t_{mini} + 2t_{maxi}}{5},$$

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

(оптимистическая оценка: в предположении наиболее благоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.; t_{maxi} – максимально возможная трудоемкость i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн..

Исходя из ожидаемой трудоемкости работ, определяется продолжительность каждой работы в рабочих днях, учитывающая параллельность выполнения работ несколькими исполнителями:

$$T_{pi} = \frac{t_{ожi}}{Ч_i},$$

где T_{pi} – продолжительность одной работы, раб.дн.; $Ч_i$ – численность исполнителей, выполняющих одновременно одну и ту же работу на данном этапе, чел.

3.3.3 Разработка графика проведения научного исследования

В соответствии с календарным планом выполнения работ был построен ленточный график выполнения дипломной работы в форме диаграммы Ганта.

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

$$T_{ki} = k_{кал} \cdot T_{pi},$$

где T_{ki} – продолжительность выполнения i -ой работы в календарных днях; $k_{кал}$ – коэффициент календарности.

Коэффициент календарности определяется по следующей формуле:

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

где $T_{кал}$ – количество календарных дней в году; $T_{вых}$ – количество выходных дней в году; $T_{пр}$ – количество праздничных дней в году.

Таким образом:

$$k_{кал} = \frac{365}{365 - 14 - 104} = 1,48$$

Все рассчитанные значения необходимо свести в таблицу 16.

Таблица 16 – Временные показатели проведения научного исследования

№	Содержание работы	Исполнитель	t_{min}	t_{max}	$t_{ож}$	Ч	$T_{п}$	$T_{к}$	$T_{к}$
1	Составление и утверждение технического задания	Руководитель, бакалавр	2	4	2,8	2	1,4	2,1	2
2	Выбор направления исследований	Руководитель, бакалавр	2	3	2,4	2	1,2	1,8	2
3	Подбор и изучение материалов по теме	Руководитель, бакалавр	5	7	5,8	2	2,9	4,3	5
4	Разработка методики выполнения работ	Руководитель, бакалавр	2	3	2,4	2	1,2	1,8	2
5	Составление календарного плана	Руководитель	1	2	1,4	1	1,4	2,1	2
6	Поиск литературы	Руководитель, бакалавр	2	4	2,8	2	1,4	2,1	2
7	Изучение литературы	Бакалавр	7	12	9	2	4,5	6,7	7
8	Разработка кода	Руководитель, бакалавр	6	10	7,6	2	7,6	9,8	10
9	Отбор сигнальных событий	Бакалавр	4	8	5,6	1	5,6	8,3	9
10	Поиск возможных вкладов	Бакалавр	4	8	5,6	1	5,6	8,3	9
11	Оценка эффективности полученных результатов	Руководитель	2	3	2,4	1	2,4	3,4	4
12	Составление пояснительной записки	Бакалавр	7	12	9	1	9	13,32	14
13	Проверка правильности выполнения ГОСТа пояснительной записки	Руководитель, бакалавр	2	3	2,4	2	1,2	1,8	2
Итого, дн.							70		

На основании полученных данных был построен план-график в виде диаграммы Ганта. График строится с разбивкой по месяцам и неделям (7 дней) за период времени дипломирования.

Календарный план-график (диаграмма Ганта) проведения ВКР представлен в таблице 17.

Таблица 17 – Календарный план-график (диаграмма Ганта) проведения ВКР

№ работ	Т _{ki}	Продолжительность выполнения работ						
		Март	Апрель			Май		
		3	1	2	3	1	2	3
1	2							
2	2							
3	5							
4	2							
5	2							
6	2							
7	7							
8	10							
9	9							
10	9							
11	4							
12	14							
13	2							

	Руководитель, бакалавр
	Бакалавр
	Научный руководитель

3.4 Бюджет научно-технического исследования

При планировании бюджета проекта необходимо обеспечить полное и достоверное отражение всех видов затрат, связанных с его реализацией. В процессе формирования бюджета проекта используется следующая группировка затрат по статьям:

1. Материалы;
2. Расходы на заработную плату сотрудников;
3. Взносы во внебюджетные фонды;
4. Работы, выполняемые третьими лицами;
5. Специальное оборудование для научных и экспериментальных работ;
6. Прочие прямые расходы;
7. Накладные расходы.

3.4.1 Расчет затрат на оборудование для НТИ

Расчет затрат на оборудование сводится к определению амортизационных отчислений, так как оборудование было приобретено до начала выполнения этой работы.

Норма амортизации вычисляется по следующей формуле:

$$N_a = \frac{1}{n},$$

где n – срок полезного использования, измеряемый в годах.

Амортизация оборудования линейным способом рассчитывается следующим образом:

$$A = \frac{N_a \cdot m \cdot N}{12},$$

где N – итоговая сумма, тыс. руб.; m – время использования, мес.

Единственным оборудованием, использованным в работе, был ноутбук Apple MacBook Air 2017, приобретенный в марте 2021 года за 54999 рублей. Срок полезного использования ПК составляет 5 лет. В итоге общая сумма амортизационных отчислений составила:

$$A = \frac{0,2 \cdot 3 \cdot 54999}{12} = 2749,95 \approx 2750 \text{ руб.}$$

3.4.2 Расчет материальных затрат НТИ

Все работы для ВКР проводились за компьютером в корпусе университета и на ноутбуке. Поэтому в качестве материальных затрат выступают затраты на электричество и интернет. Время, проведенное за работой: 1280 часов. Мощность рабочих станций: 0,5 кВт.

Затраты на электроэнергию рассчитываются по формуле (5):

$$C = C_{\text{эл}} \cdot F_{\text{об}} \cdot P = 5,8 \cdot 1280 \cdot 0,5 = 3712 \text{ руб.}$$

где $C_{\text{эл}}$ – тариф на промышленную электроэнергию (5,8 руб. за 1 кВт·ч); P – мощность оборудования, кВт; $F_{\text{об}}$ – время использования оборудования, ч.

Материальные затраты, необходимые для данной разработки, заносятся в таблицу 18.

Таблица 18 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Затраты на материалы, (З _м), руб.
1. Электроэнергия	кВт·ч	640	5,8	3712
2. Доступ в интернет	–	3 месяца	280	840
3. Распечатка ВКР	–	100	2	200
Итого, руб.				4752

Отсутствие в таблице разделения на источники финансирования говорит о том, что источник один. Источник финансов в данной работе – инженер.

3.4.3 Базовая заработная плата

Размер затрат на заработную плату определяется исходя из трудоемкости выполняемой работы и действующей системы оплаты труда. Базовая заработная плата включает в себя премию, выплачиваемую ежемесячно из фонда заработной платы (размер определяется Положением об оплате труда).

Зарботная плата исполнителя проекта рассчитывается по формуле:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп}$$

где $Z_{осн}$ – базовая заработная плата; $Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

Базовая заработная плата ($Z_{осн}$) исполнителя проекта рассчитывается по следующей формуле:

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_{раб}$$

где $T_{раб}$ – продолжительность работы, выполняемой научно-техническим работником, рабочие дни; $Z_{дн}$ – среднедневная заработная плата работника, руб.

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_{м} \cdot M}{F_{д}}$$

где $Z_{м}$ – месячная заработная плата работника, руб.; M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: с отпуском 48 часов работы. Дней $M = 10,4$ месяца, 6-дневная неделя; $F_{д}$ – фактический годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, рабочих дней.

Таблица 19 – Расчетный годовой фонд рабочего времени

Индикаторы рабочего времени	Научный руководитель	Студент
Календарное количество дней	365	365
Количество нерабочих дней - выходные - праздники	104 14	104 14
Потерянное рабочее время - отпуск - отсутствие по болезни	24 7	24 7
Действительный годовой фонд рабочего времени	216	216

Ежемесячная заработная плата работника:

$$Z_m = Z_b \cdot (1 + k_{пр} + k_d) \cdot k_p \quad (1.6)$$

где Z_b – базовая заработная плата, руб.; $k_{пр}$ – премиальный коэффициент, равный 0,3; k_d – коэффициент доплат и надбавок составляет примерно 0,2 – 0,5 (в расчетах принято $k_d = 0,2$); k_p – региональный коэффициент, равный 1,3 (для Томска).

Таблица 20 – Расчет основной заработной платы

Категория	$Z_{тс}$, руб	k_p	Z_m , руб	$Z_{дн}$, руб	T_p , раб. дн	$Z_{осн}$, руб
Руководитель						
Кандидат наук	37700	1,3	49010	2359,7	31	73150,7
Бакалавр						
ППС1	13900	1,3	18070	870	64	55680
Итого, руб.:						128830,7

3.4.4 Дополнительная заработная плата

В эту группу входят суммы выплат, предусмотренных трудовым законодательством, например, оплата очередных и дополнительных отпусков; оплата времени, связанного с выполнением государственных и общественных обязанностей; выплата вознаграждения за выслугу лет и т.д. (в среднем – 15% от базовой заработной платы).

Расчет дополнительной заработной платы ведется по следующей формуле:

$$Z_{доп} = k_{доп} \cdot Z_{осн}$$

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

Таблица 21 – Заработная плата исполнителей проекта

Зарплата	Научный руководитель	Студент
Базовая заработная плата, руб.	73150,7	55680
Дополнительная заработная плата, руб.	10972,6	8352
Итого, руб.:	148155,3	

3.4.5 Взносы во внебюджетные фонды

Эта группа отражает обязательные отчисления в соответствии с нормами, установленными законодательством Российской Федерации, в органы государственного социального страхования (ФСС), пенсионный фонд (ПФ) и медицинское страхование (ФФОМС) от расходов на заработную плату работников.

Размер отчислений во внебюджетные фонды определяется по следующей формуле:

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

где $k_{\text{внеб}}$ – коэффициент отчислений на оплату во внебюджетные фонды, равный 30,2%.

$$Z_{\text{внеб}} = 0,302 \cdot 148155,3 = 44742,9 \text{ руб.}$$

3.4.6 Накладные расходы

Эта группа включает в себя расходы на управление и техническое обслуживание. Кроме того, сюда входят расходы на техническое обслуживание, эксплуатацию и ремонт оборудования, производственных инструментов и инвентаря, зданий, сооружений и т.д.

Накладные расходы составляют 30% от суммы основной и дополнительной заработной платы сотрудников, непосредственно участвующих в выполнении научных исследований.

$$Z_{\text{накл}} = k_{\text{накл}} \cdot (Z_{\text{осн}} + Z_{\text{доп}}) = 0,3 \cdot 148155,3 = 44446,6 \text{ руб.}$$

3.4.7 Формирование бюджета затрат научно-исследовательского проекта

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

Определение бюджета затрат на исследовательский проект для каждого варианта реализации показано в таблице 22.

Таблица 22 – Бюджет расходов по проекту

Название	Сумма, руб.
Затраты на специальное оборудование	2750
Материальных затрат	4752
Расходы на базовую заработную плату исполнителей	128830,7
Расходы на дополнительную заработную плату исполнителей	19324,6
Взносы во внебюджетные фонды	44742,9
Накладные расходы	44446,6
Бюджет расходов по проекту	244846,8

Планируемая стоимость проекта составляет 244846,8 рублей.

Как видно из таблицы 22, основные затраты НИИ приходятся на заработную плату исполнителей.

3.5 Расчет научно-технического эффекта

Для оценки научной ценности, технической значимости и эффективности планируемых и выполняемых госбюджетных и хоздоговорных работ, получил распространение метод балльных оценок, который заключается в том, что каждому фактору по принятой шкале присваивается определенное количество баллов. Обобщенную оценку проводят по сумме баллов по всем показателям. На этой основе делается вывод о целесообразности НИИ. Сущность этой методики состоит в том, что на основе оценок признаков работы определяется коэффициент научно-технического эффекта НИИ по формуле:

$$H = \sum_{i=1}^3 k_i \cdot n_i$$

где H – показатель НТУ, k – весовой коэффициент i -го признака НТУ, n – оценка (в баллах) i -го признака.

Оценка уровня проводится по следующей шкале:

1...4 балла – низкий НТУ, 5...7 баллов – средний НТУ, 8...10 баллов – сравнительно высокий НТУ, 11...14 баллов – высокий НТУ.

Оценки и весовые коэффициенты по каждому из признаков НТУ сведены в таблицу 23, как и баллы, соответствующие данной НТИ.

Таблица 23 – Оценка характеристик выполнения проекта

Признак НТУ	Весовой коэфф.	Балл	Характеристика разработки	Выбранный балл
Уровень новизны	0.6	8...10	Принципиально новая	6
		5...7	Новая	
		2...4	Относительно новая Не обладает новизной	
Теоретический уровень результатов	0.4	10	Установление закона	2
		8	Глубокая разработка проблемы	
		6	Разработка способа (программы, устройства)	
		2 0.5	Элементарный анализ Изложение опыта	
Возможность реализации	0.2	Время реализации		10
		10	В течение первых лет	
		4	От 5 до 10 лет	
		2	Свыше 10 лет	
		Масштаб реализации		2
		10	Народное хозяйство	
4	Отрасль			
2	Одно или несколько предприятий			

Согласно таблице 23 показатель НТУ равен:

$$H = 0,6 \cdot 6 + 0,4 \cdot 2 + 0,2 \cdot (10 + 2) = 6,8$$

По шкале оценки уровня НТУ, показатель, приведенного научно-технического исследования, соответствует среднему уровню.

3.6 Выводы по разделу

В результате выполнения задач раздела можно сделать следующие выводы:

- определен рынок, на котором востребована предоставляемая услуга;
- в ходе планирования был разработан график выполнения этапа работ для менеджера и инженера, который позволяет оценивать и планировать рабочее время исполнителей. Общее количество дней для выполнения работ составляет 70 дней;
- для оценки затрат на проект был разработан бюджет проекта, который составляет 244846,8 руб;
- на основании расчета научно-технического эффекта по шкале оценки уровня НТУ, показатель, приведенного исследования, соответствует среднему уровню.

В завершенной выпускной квалификационной работе были достигнуты экономические и технические критерии эффективности за счет функциональных возможностей разработки, а также социальные из-за спроса на такую технологию на рынке.

4. Социальная ответственность

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы проводилось изучение распада тяжелых короткоживущих заряженных В-мезонов, рожденных в протон-протонных столкновениях, в конечном состоянии с чармонием. Основная часть работы выполнялась на ПК, расположенном в лабораторной аудитории № 248 11-го корпуса ТПУ.

Работа заключается в физическом анализе данных, с помощью программной среды ROOT, с использованием библиотеки RooFit и набора расширений Ostar.

4.1 Организация рабочего места оператора ПК

Рациональная планировка рабочего места предусматривает четкий порядок и постоянство размещения предметов, средств труда и документации. То, что требуется для выполнения работ, должно располагаться в зоне легкой досягаемости рабочего пространства (рисунок 24) [39].

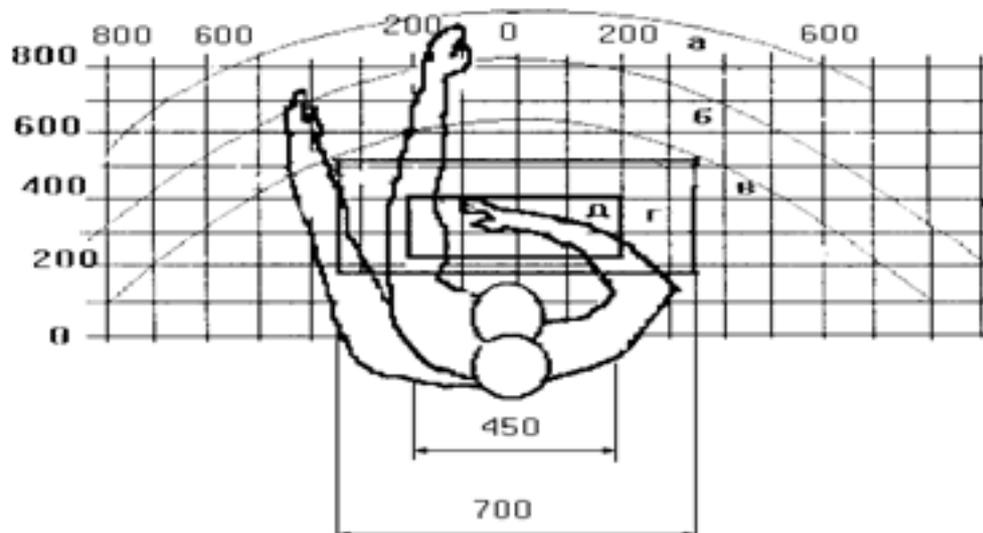


Рисунок 26 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости: а – зона максимальной досягаемости рук; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой ручной работы

Оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук: дисплей размещается в зоне, а (в центре); клавиатура – в зоне г, д; системный блок размещается в зоне б (слева); принтер находится в зоне а (справа); документация: в зоне легкой досягаемости ладони – в (слева) – литература и документация, необходимая при работе; в выдвижных ящиках стола – литература, не используемая постоянно.

При выборе рабочего места, а именно письменного стола должны быть учтены следующие требования:

- высота рабочей поверхности не должна превышать 680 – 800 мм;
- высота рабочей поверхности для клавиатуры не должна превышать 650 мм.
- ширина рабочего стола не должна быть менее 700 мм, а его длина не менее 1400 мм соответственно;
- под столом должно быть пространство для ног, в длину не менее 600 мм, в ширину – не менее 500 мм, глубина пространства на уровне колен должна быть не менее 450 мм, а на уровне вытянутых ног – не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно иметь возможность регулировки по высоте и углам наклона сиденья и спинки. Рекомендуемая высота сиденья от уровня пола не должна превышать 450 – 550 мм. Кресло должно обеспечивать глубину и ширину поверхности сиденья 400 мм, с возможностью заглабления переднего края.

Компьютерный монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии от 500 до 600 мм. Выбор монитора следует производить с учетом возможности регулировки яркости и контрастности изображения на экране. Также должна предусматриваться возможность регулировки экрана монитора:

- по высоте +3 см;
- наклон относительно вертикали 10-20 градусов;
- в левом и правом направлениях.

Для комфортной работы за клавиатурой ее следует располагать на расстоянии от 100 до 300 мм от края рабочей поверхности. Положение клавиатуры должно быть обеспечено таким образом, чтобы она располагалась на

уровне локтя оператора и имела угол наклона к горизонтальной поверхности в 15 градусов. Для обеспечения максимально комфорта во время работы конструкция клавиш должна иметь четырехугольную форму с закругленными углами, а поверхности иметь вогнутую форму. Также конструкция клавиш должна обеспечивать оператору ощущение щелчка при нажатии, для этого лучше всего подходят механические клавиатуры. Цвет клавиш должен совпадать с цветом рабочей панели.

В случае если работа оператора предполагает однообразную умственную работу, которая требует значительного нервного напряжения и большого сосредоточения, то лучше всего выбирать неяркие, малоконтрастные цветовые оттенки (слабонасыщенные оттенки холодного голубого или зеленого цветов), которые не ослабляют внимание. Если работа требует большой умственной и физической напряженности, тогда следует использовать более теплые оттенки, которые способствуют повышению концентрации внимания [39].

4.2 Оценка вредных и опасных факторов

В данном пункте приведен анализ всех вредных и опасных факторов, которые могут возникать при работе в лаборатории № 248 11-го корпуса ТПУ. Все вредные и опасные факторы, характерные для лабораторной среды представлены в таблице 24.

Таблица 24 – Возможные вредные и опасные факторы

Факторы (ГОСТ 12.0.003-2015 [2])	Нормативные документы
Микроклимат	ГОСТ 30494-96. Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях [41]
Шум	ГОСТ 12.1.003-83. Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) [42]
Освещенность рабочей зоны	СНиП 23-05-95*. Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1) [43]

Пожароопасность	СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643) [44] ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования [45]
Электробезопасность	ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ) [46] ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность [47] ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи [48]

4.2.1 Отклонение параметров микроклимата

Основными факторами, характеризующими микроклимат производственной среды, являются: температура, подвижность и влажность воздуха. Отклонение этих параметров от нормы приводит к ухудшению самочувствия работника, снижению производительности его труда и к возникновению различных заболеваний.

Вспомогательная техника, ПК, а также приборы освещения в процессе работы выделяют тепло. Высокая температура способствует быстрой утомляемости и перегреву организма при нахождении в непосредственной близости от источников тепла.

Высокая относительная влажность при высокой температуре воздуха способствует перегреву организма, при низкой же температуре увеличивается теплоотдача с поверхности кожи, что ведет к переохлаждению организма. Низкая влажность вызывает неприятные ощущения в виде сухости слизистых оболочек дыхательных путей работающего.

При нормировании метеорологических условий в производственных помещениях учитывают время года, физическую тяжесть выполняемых работ, а также количество избыточного тепла в помещении. Оптимальные

метеорологические условия температуры и влажности устанавливаются согласно [50] и приведены в таблице 25.

Для удобства работы в помещении необходимо нормирование параметров микроклимата, то есть необходимо проведение мероприятий по контролю способов и средств защиты от высоких и низких температур, системы отопления, вентиляции и кондиционировании воздуха и т.п.

Таблица 25 – Оптимальные показатели микроклимата на рабочих местах производственных помещений

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат, Вт	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относительная влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Ia (до 139)	22-24	21-25	60-40	Не более 0,1
Теплый	Ia (до 139)	23-25	22-26	60-40	Не более 0,1

Для обеспечения циркуляции воздушных масс в помещении лаборатории можно использовать вентилятор. Чтобы рассчитать кратность воздухообмена вентилятора в лаборатории, объем которой $V = 202,725 \text{ м}^3$ ($S = 79,5 \text{ м}^2$, $h = 2,55 \text{ м}$), воспользуемся формулой [51]:

$$W = V \cdot k,$$

где k – нормированная кратность воздухообмена (для лабораторий $k = 3$), 1/ч.

Подставляя данные в формулу кратности воздухообмена, получим характеристику кратности воздухообмена вентилятора:

$$W = 202,725 \cdot 3 = 608,175 \frac{\text{м}^3}{\text{ч}}.$$

Исходя из полученных параметров, для аудитории № 248 необходимо использовать Канальный вентилятор Shuft CFk 160 VIM белый с максимальной производительностью $610 \text{ м}^3/\text{ч}$ [49].

В зимний период необходима система центрального отопления, обеспечивающая заданный уровень температуры по [52]. Она должна обеспечивать достаточное, постоянное и равномерное нагревание воздуха. Для поддержания необходимой температуры используется система водяного

отопления. Эта система надежна в эксплуатации и обеспечивает возможность регулирования температуры в широких пределах. При устройстве системы вентиляции и кондиционирования воздуха в помещении лаборатории необходимо соблюдать определенные требования пожарной безопасности. В помещениях с повышенными требованиями к чистоте воздуха должно использоваться водяное отопление.

По защите исследователя от действия вредного фактора отклонения показателей микроклимата создаются микроклиматические условия отоплением, обменной вентиляцией и кондиционированием воздуха согласно [50–52].

В помещении № 248 11-корпуса параметры микроклимата соответствует установленным нормам [50–52].

4.2.2 Шум

Превышение уровня шума возникает при работе механических и электромеханических изделий.

Для оценивания шумовой обстановки допускается использовать числовую характеристику, называемую уровнем звука (измеряется в дБ). В соответствии с [53] допустимый уровень шума при работе, требующей сосредоточенности, работе с повышенными требованиями к процессам наблюдения и дистанционного управления производственными циклами на рабочих местах в помещениях с шумным оборудованием, составляет 75 дБ. Зоны с уровнем звука 80 дБ должны быть обозначены знаками безопасности согласно [54].

В аудитории № 248 основными источниками шума являются компьютеры (охлаждение внутри системного блока, оптические приводы DVD-ROM).

В соответствии со спецификацией на компьютер DNS Office XL, уровень шума блока питания компьютера составляет 5-10 дБ, уровень шума охлаждающего устройства процессора 15-20 дБ, остальные элементы охлаждения являются пассивными и их уровень шума не учитывается. Шум, вызываемый работой оптических приводов, также не учитывается, так как они используются в работе незначительно малое время.

В аудитории 248 11-го корпуса дополнительная звукоизоляция не требуется, так как предельное значение уровня шума не достигается.

Для доведения уровня шума до санитарных норм при организации труда в помещении следует своевременно осуществлять профилактическое обслуживание системных блоков компьютеров (очистка от пыли и смазывание движущихся частей охлаждающих установок, замена излишне шумных комплектующих).

Защита от повышенных уровней шума осуществляется методами его снижения в источнике образования и на пути распространения, устройством экранов и звукопоглощающих облицовок, средствами индивидуальной защиты согласно [53, 54].

В аудитории № 248 11-го корпуса уровень шума не превышает установленных параметров согласно [53].

4.2.3 Недостаток естественного и искусственного освещения

Недостаточная освещенность рабочей зоны также считается одним из факторов, влияющих на работоспособность человека. Причинами недостаточности естественного и искусственного освещений являются отдаленность рабочего места от источников освещения, недостаточная мощность и не качественность источников освещения, неподходящие погодные факторы или время суток.

Для промышленных предприятий оптимальная освещенность территории и помещений является важной и непростой технической задачей, решение которой обеспечивает нормальные гигиенические условия для работающего персонала. Правильно подобранные источники света и их проектирование создают условия для производственного труда, корректности выполнения технологических операций, соблюдения правил и техники безопасности.

Главной задачей светотехнических расчётов для искусственного освещения является определение требуемой мощности электрической осветительной установки для создания заданной освещённости.

Внутри помещений по способу размещения светильников и распределению освещенности различают следующие системы искусственного освещения: общее и комбинированное.

Общим называется освещение, светильники которого освещают всю площадь помещения, как занятую оборудованием или рабочими местами, так и вспомогательную. В зависимости от расположения светильников различают равномерное и локализованное общее освещение. При общем равномерном освещении светильники располагаются в верхней зоне помещения равномерно, обеспечивая тем самым одинаковую освещенность всего помещения. Оно применяется, как правило, когда расположение рабочих зон при проектировании неизвестно либо при гибкой планировке. При общем локализованном освещении светильники размещают с учетом расположения технологического оборудования, создавая на отдельных поверхностях требуемый уровень освещения [57].

Комбинированная система освещения состоит из общего и местного освещения. Общее освещение предназначено для освещения проходов и участков, где работы не производятся, а также для выравнивания яркости в поле зрения работающих. Местное освещение обеспечивается светильниками, располагаемыми непосредственно на рабочих местах. Ему следует отдавать предпочтение, если в нескольких рабочих зонах помещения должны решаться различные зрительные задачи и поэтому для них требуются различные уровни освещенности. Оно также необходимо, когда рабочие места территориально отдалены друг от друга. При этом следует иметь в виду, что устройство только местного освещения недопустимо, так как оно создает большую разность освещенности рабочих поверхностей и окружающего пространства, что неблагоприятно сказывается на зрении [43].

При учете особенностей процесса работ на компьютере допускается применение системы общего равномерно освещения.

Для общего освещения применяются газоразрядные лампы: дневной (ЛД), холодно-белой (ЛХБ), тепло-белой (ЛТБ) и белой цветности (ЛБ).

Определим необходимое количество источников света для полного освещения аудиторного помещения с рабочими компьютерами люминесцентными потолочными светильниками.

Световой поток для люминесцентных ламп, мощностью 56 Вт:

$$F = Ra \cdot P,$$

где $Ra = 80$ Лм/Вт – минимальный индекс цветопередачи для люминесцентной лампы.

$$F = 80 \cdot 56 = 4480 \text{ Лм.}$$

Необходимое количество ламп для освещения лабораторной аудитории:

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

где E – освещенность, Лк (при системе общего освещения $E = 300$ Лк);

K – переходный коэффициент, 4,5;

n – коэффициент использования светового потока осветительной установки, 45 %;

k – коэффициент запаса, 4,5;

S – площадь освещаемого помещения, 79,5 м²;

z – поправочный коэффициент, учитывающий неравномерность освещения, 0,9.

$$N = \frac{300 \cdot 79,5 \cdot 0,9 \cdot 4,5}{4,5 \cdot 4480 \cdot 0,45} = 10,64 \text{ шт.}$$

Рассчитанное значение количества светильников округляем в большую сторону до целого числа. Получаем, что для надлежащего освещения аудитории необходимо 11 светильников.

Для защиты от недостаточной освещенности рабочей зоны естественное освещение по своему спектру является наиболее приемлемым, но не всегда его оказывается достаточно. Это связано во многом с режимом работы. Обычно рекомендуется применять общее и комбинированное освещение.

Нормы освещенности рабочего места в аудитории №248 11-го корпуса соответствуют [43].

4.2.4 Электробезопасность

Электробезопасность – система организационных и технических мероприятий и средств, обеспечивающих защиту людей и вредного и опасного воздействия электрического тока, электродуги, электромагнитного поля и статического электричества согласно [46].

Источниками опасного фактора являются токопроводящие кабели, элементы электрооборудования. Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно. Электрический ток, проходя через живой организм оказывает термическое (ожоги, нагрев и повреждение кровеносных сосудов, перегрев сердца, мозга и других органов), электролитическое (разложение органической жидкости, в том числе крови, что вызывает значительное нарушение ее состава, а также ткани в целом) и биологическое действие (нарушение внутренних биоэлектрических процессов, свойственных нормально действующему организму и теснейшим образом связанных с его жизненными функциями).

Оператор работает с электроприборами: компьютером (дисплей, системный блок и т.д.) и периферийными устройствами. Опасность поражения электрическим током существует в следующих случаях [46, 47]:

- при непосредственном прикосновении к токоведущим частям во время ремонта;
- при прикосновении к нетоковедущим частям, оказавшимся под напряжением (в случае нарушения изоляции токоведущих частей);
- при прикосновении к полом, стенам, оказавшимся под напряжением;
- при коротком замыкании в высоковольтных блоках: блоке питания и блоке дисплейной развѐтки.

Электрический ток, проходя через тело человека, оказывает тепловое, химическое и биологическое воздействие.

Тепловое (термическое) действие проявляется в виде ожогов участка кожи, перегрева различных органов, а также возникающих в результате перегрева разрывов кровеносных сосудов и нервных волокон.

Химическое (электролитическое) действие ведет к электролизу крови и других содержащихся в организме человека растворов, что приводит к изменению их физико-химических составов, а значит, и к нарушению нормального функционирования организма.

Мероприятия по обеспечению электробезопасности электроустановок:

- отключение напряжения с токоведущих частей, на которых или вблизи которых будет проводиться работа, и принятие мер по обеспечению невозможности подачи напряжения к месту работы;
- вывешивание плакатов, указывающих место работы;
- заземление корпусов всех установок через нулевой провод;
- покрытие металлических поверхностей инструментов надежной изоляцией;
- недоступность токоведущих частей аппаратуры (заключение в корпуса электропоражающих элементов и токоведущих частей) [46, 47].

Помещение, в котором проходили работы, подходит под помещения 2 класса, в котором рабочие напряжения не превышают 1 000 В [47].

Также компьютер несет в себе опасность не только электрического тока, но и вредный фактор электромагнитного излучения.

Основными источниками электромагнитных излучений в рабочих помещениях являются дисплеи компьютеров и мобильных устройств, сеть электропроводки, системный блок, блоки питания, дисплеи дозиметрических приборов. Воздействие электромагнитного излучения может привести к нарушению функций сердечно-сосудистой, дыхательной и нервной систем, а также пищеварительного тракта, изменению состава крови. В таблице 26 приведены допустимые уровни параметров электромагнитных полей [55].

Таблица 26 – Временные допустимые уровни электромагнитных полей, создаваемые ПЭВМ

Наименование параметров		Величина допустимого уровня
Напряженность электрического поля	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	25 В/м
	В диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	2,5 В/м
Плотность магнитного потока	В диапазоне частот 5 Гц - 2 кГц	250 нТл
	В диапазоне частот 2 кГц - 400 кГц	25 нТл
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В

Распространение электромагнитного поля происходит с помощью электромагнитных волн, которые в свою очередь излучают заряженные частицы, молекулы и атомы. Вред электромагнитного излучения официально доказан и подтвержден соответствующими исследованиями ученых, поэтому по мере возможности нужно ограничивать его влияние на организм человека.

Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг экрана по электрической составляющей должна соответствовать [55].

Повышенный уровень электромагнитного излучения может негативно влиять на организм человека, а именно приводить к нервным расстройствам, нарушению сна, значительному ухудшению зрительной активности, ослаблению иммунной системы, расстройствам сердечно-сосудистой системы.

Существуют следующие способы защиты от электромагнитных полей:

- увеличение расстояния от источника (экран должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов и других средств индивидуальной защиты.

В аудитории № 248 излучение соответствуют нормам [55].

4.2.5 Пожаровзрывобезопасность

В зависимости от характеристик веществ и материалов, находящихся в помещении, по взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В, Г и Д в соответствии с [45].

Рассматриваемое помещение относится к категории В, так как в нем 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 [45]. 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, во избежание поражения электрическим током, целесообразно использовать углекислотные или порошковые огнетушители. Данные огнетушители предназначены для тушения загораний различных веществ и материалов, электроустановок под напряжением до 1000 В, горючих жидкостей. Химические и пенные огнетушители не допустимы. 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. Согласно требованиям пожарной безопасности [45, 46], на этаже находится 2 огнетушителя ОПЗ огнетушители переносные порошковые, лестничные пролеты оборудованы гидрантами, имеется кнопка пожарной сигнализации.

4.3 Аварийные ситуации

К опасностям несчастного случая относится внезапный и неуправляемый источник энергии: двигающийся предмет, неуправляемое движение или энергия.

Рассмотрим возможные аварийные ситуации в аудитории № 248 учебного корпуса № 11 ТПУ, а именно:

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

Мероприятия по предотвращению и ликвидации последствий вышеуказанных аварийных ситуаций представлены в таблице 27.

Таблица 27 – Примеры аварийных ситуаций и меры их предотвращения и ликвидации на рабочем месте

№	Аварийная ситуация	Мероприятия по предотвращению	Мероприятия по ликвидации последствий аварийной ситуации
1	Возникновение пожара	<ol style="list-style-type: none"> 1. Своевременное проведение инструктажа. 2. Установка средств автоматического пожаротушения в помещениях. 3. Установка датчиков дыма и огня. 4. Обеспечение путей эвакуации и поддержание их в надлежащем состоянии. 4. Контроль работы электроприборов. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Позвонить 112. 2. Обесточить помещение, прекратить поступление воздуха; 3. Немедленно сообщить о пожаре дежурному или на пост охраны; 4. По возможности принять меры по эвакуации людей, тушению пожара и спасению материальных ценностей.
2	Удар электрическим током	<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 [48]; 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.

3	Падение с высоты собственного роста	<ol style="list-style-type: none"> 1. Содержание помещения в надлежащем порядке. 2. Ограничение рабочего пространства. 3. Своевременное проведение инструктажа. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Осмотреть или опросить пострадавшего; 2. При необходимости вызвать скорую помощь (112); 3. Остановить кровотечение, если оно имеется; 4. Если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник (резкая боль в позвоночнике при малейшем движении), необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.
4	Падение с лестницы	<ol style="list-style-type: none"> 1. Установка поручней на лестницу. 2. Покрытие ступенек лестницы антискользящим покрытием. 3. Своевременное проведение инструктажа. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Вызвать скорую помощь (112); 2. Остановить кровотечение, если оно имеется; 3. Если есть подозрение, что у пострадавшего сломан позвоночник (резкая боль в позвоночнике при малейшем движении), необходимо обеспечить пострадавшему полный покой в положении лежа на спине до оказания квалифицированной медицинской помощи.

4.4 Выводы по разделу

Рассмотрены вредные и опасные факторы в аудитории № 248 11-го корпуса ТПУ:

- микроклимат [41];
- шум [42];
- освещенность рабочей зоны [43];
- пожаровзрывоопасность [44, 45];
- электробезопасность [46-48].

Помещение № 248 отнесено:

- к электробезопасности к 1 классу опасности [47];
- к пожаровзрывобезопасности к категории В [44].

Также рассмотрены аварийные ситуации, которые возможны в аудитории № 248 11-го корпуса, а также предложены мероприятия по предотвращению аварийных ситуаций и мероприятия по ликвидации последствий аварийных ситуаций.

Список литературы

1. T. Iwashita, Measurement of branching fractions for $B^\pm \rightarrow J/\psi \eta K^\pm$ decays and search for a narrow resonance in the $J/\psi \eta$ nal state, PTEP 2014, 043C01, arXiv:1310.2704v4.
2. M. Kobayashi and T. Maskawa, CP-Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction, Prog. Theor. Phys. 49, 652, 1973.
3. Herb, S.W., Phys.Rev.Lett. 39, 252-255, 1977.
4. H. Albrecht et al, Reconstruction of B Mesons, Phys.Lett. B185, 218, 1987.
5. C. Bebek et al, Exclusive decays and masses of the B mesons, Phys.Rev. D36, 1289, 1987.
6. H. Albrecht et al, Observation of B^0 - anti- B^0 Mixing, Phys.Lett7, vol. B192, p. 245, 1987.
7. R. V. Kowalewski et al, Status of B^0 anti- B^0 oscillations, p. 287,1988.
8. Aubert et al, The BaBar detector, Nucl.Instrum.Meth., vol. A479, pp. 1-116, 2002.
9. Abashian, K. Gotow, N. Morgan, L. Piilonen, S. Schrenk, *et al*, The Belle Detector, Nucl.Instrum.Meth., vol. A479, pp. 117-232, 2002.
10. L. Evans and P. Bryant, LHC machine, Journal of Instrumentation, vol. 08 S08001, 2008.
11. LHCb collaboration, LHCb reoptimized detector design and performance, Technical Design Report, CERN-LHCC-2003-030, 2003.
12. R. Aaij et al. (LHCb Collaboration), Observation of $J/\psi p$ Resonances Consistent with Pentaquark States in $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi K^- p$ Decays, Phys. Rev. Lett. p. 115, 072001, 2015.
13. R. Aaij et al. (LHCb Collaboration), Evidence for Exotic Hadron Contributions to $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi p \pi^-$ Decays, Phys. Rev. Lett. p. 117, 082003, 2016.
14. R. Aaij et al. (LHCb Collaboration), Observation of $\Lambda_b^0 \rightarrow \psi(2S) p K^-$ and $\Lambda_b^0 \rightarrow J/\psi \pi^+ \pi^- p K^-$ decays and a measurement of the Λ_b^0 baryon mass, JHEP 1605, p. 132, 2016.

15. G. Aad et al., Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-1, 2012.
16. S. Chatrchyan et al., Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC, Physical Review Letters, vol. B716-30, 2012.
17. ALICE: Technical proposal for a Large Ion collider Experiment at the CERN LHC, LHC Technical Proposal, Geneva: CERN, 1995.
18. O. Adriani et al., LHCf experiment: Technical Design Report, Technical Design Report LHCf, Geneva: CERN, 2006.
19. G. Ruggiero et al, The totem detector at the LHC, p. 5 p, 2010.
20. J. Pinfold, Technical design report of the model experiment, Tech. Rep. CERN-LHCC-2009-006, MoEDAL-TDR-001, CERN, Geneva, Jun 2009.
21. LHCb Collaboration, LHCb magnet: Technical Design Report, 2000.
22. P. R. Barbosa-Marinho et al, LHCb VELO (VVerteX LOcator): Technical Design Report. Technical Design Report LHCb, Geneva: CERN, 2001.
23. LHCb Collaboration, LHCb inner tracker: Technical Design Report, 2002.
24. LHCb Collaboration, LHCb outer tracker: Technical Design Report, 2001.
25. A. Powell et al, Particle identification at LHCb, PoS, vol. ICHEP2010, p. 20, 2010.
26. LHCb Collaboration, LHCb RICH: Technical Design Report, 2000.
27. S. Amato et al, LHCb calorimeters: Technical Design Report, Technical Design Report LHCb, Geneva: CERN, 2000.
28. LHCb Collaboration, LHCb muon system: Technical Design Report, 2001.
29. LHCb Collaboration, LHCb trigger system: Technical Design Report, 2003.
30. M Needham, Performance of the LHCb Track Reconstruction Software, Technical Report, CERN-LHCb-2007-144, CERN, Geneva, Jan 2008.
31. Warwick Development Team [Электронный ресурс] // The gauss project – Режим доступа: <http://evtgen.warwick.ac.uk/> (дата обращения: 29.06.22).
32. Torbjorn Sjostrand, Stephen Mrenna, and Peter Skands, PYTHIA 6.4 physics and manual, Journal of High Energy Physics, vol. 05 026, 2006.

33. LHCb Collaboration [Электронный ресурс] // The evtgen project – Режим доступа: <http://lhcb-release-area.web.cern.ch/LHCb-releasearea/DOC/gauss/> (дата обращения: 25.04.22).
34. S. Agostinelli et al, GEANT4: A Simulation toolkit, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research, vol. A506, pp. 250–303, 2003.
35. R. Brun, F. Rademakers, ROOT: An object-oriented data analysis framework, Nuclear Instruments and Methods, vol. A389, 1997.
36. R.Aaij, Evidence for the decay $B^0 \rightarrow J/\psi \omega$ and measurement of the relative branching fractions of B^0_s meson decays to $J/\psi \eta$ and $J/\psi \eta'$ [Электронный ресурс] // LHCb Collaboration – Режим доступа: <https://inspirehep.net/literature/1189991> (дата обращения 09.06.22).
37. S. Kullback and R. A. Leibler, On information and sufficiency, Annals of Mathematical Statistics, vol. 22, no. 1, pp. 79-86, 1951.
38. Giovanni Punzi, Sensitivity of searches for new signals and its optimization, PHYSTAT2003, SLAC Sep. 8-11, 2003.
39. СанПиН 2.2.2/2.5.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
40. ГОСТ 12.0.003-2015 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200136071/> (дата обращения: 14.04.22).
41. ГОСТ 30494-96 Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003003> (дата обращения: 15.04.22).
42. ГОСТ 12.1.003-83 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Шум. Общие требования безопасности (с Изменением N 1) Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200291> (дата обращения: 15.04.22).
43. СНиП 23-05-95* Естественное и искусственное освещение (с Изменением N 1) Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001026> (дата обращения: 15.04.22).

44. СП 12.13130.2009. Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности (в ред. изм. № 1, утв. приказом МЧС России от 09.12.2010 № 643). [Электронный ресурс]. Доступ из сборника НСИС ПБ. – 2011. – № 2 (45).
45. ГОСТ 12.1.004-91 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность. Общие требования. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/9051953> (дата обращения: 19.04.2022).
46. ГОСТ 12.1.009-76 Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Электробезопасность. Термины и определения Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200278> (дата обращения: 19.04.22).
47. ГОСТ Р 12.1.019-2017 ССБТ Электробезопасность Режим доступа: <https://beta.docs.cntd.ru/document/1200161238> (дата обращения 20.04.22).
48. ГОСТ Р МЭК 61140-2000 Защита от поражения электрическим током. Общие положения по безопасности, обеспечиваемой электрооборудованием и электроустановками в их взаимосвязи. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200017996> (дата обращения: 01.05.2022).
49. Круглый канальный вентилятор Shuft CFk 160 VIM. Режим доступа: <https://market.yandex.ru/product--kanalny-ventiliator-shuft-cfs-160-vim/761860013?clid=703&sku=101107512789&сра=1> (дата обращения: 16.05.22).
50. СанПиН 2.2.4.548-96 Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 15.04.22).
51. ГОСТ 32548-2013 Вентиляция зданий. Воздухораспределительные устройства. Общие технические условия. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200110084> (дата обращения: 01.05.22).
52. СНиП 41-01-2003 Отопление, вентиляция и кондиционирование Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035579> (дата обращения: 15.04.22).
53. ГОСТ 12.1.029-80 Средства и методы защиты от шума. Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200292> (дата обращения: 15.04.22).

54. ГОСТ 12.4.026-76* Система стандартов безопасности труда. Цвета сигнальные и знаки безопасности Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003391> (дата обращения: 18.04.22).
55. ГОСТ 12.1.006-84 Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/5200272> (дата обращения: 20.04.22).
56. ГОСТ Р 22.0.02-2016 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Термины и определения. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200139176> (дата обращения: 01.05.2022).
57. ГОСТ Р 55710-2013 "Освещение рабочих мест внутри зданий. Нормы и методы измерений" Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200105707> (дата обращения: 16.05.22).