

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
Отделение экспериментальной физики

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Оптимизация процедуры реконструкции физических событий в эксперименте NA64
УДК <u>519.876:53.05:004.032.26</u>

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В41	Мисютин Роман Владимирович		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Дусаев Ренат Рамильевич	—		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к. филос. н., доцент		

По разделу «Социальная ответственность»

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

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Крицкий Олег Леонидович	к.ф.-м.н., доцент		

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результата	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<i>Профессиональные компетенции</i>	
ПК-1	К самостоятельной работе
ПК-2	Использовать современные прикладные программные средства и осваивать современные технологии программирования
ПК-3	Использовать стандартные пакеты прикладных программ для решения практических задач на ЭВМ, отлаживать, тестировать прикладное программное обеспечение
ПК-4	Настраивать, тестировать и осуществлять проверку вычислительной техники и программных средств
ПК-5	Демонстрировать знание современных языков программирования, операционных систем, офисных приложений, Интернета, способов и механизмов управления данными; принципов организации, состава и схемы работы операционных систем
ПК-6	Решать проблемы, брать на себя ответственность
ПК-7	Проводить организационно-управленческие расчеты, осуществлять организацию и техническое оснащение рабочих мест
ПК-8	Организовывать работу малых групп исполнителей
ПК-9	Определять экономическую целесообразность принимаемых технических и организационных решений
ПК-10	Владеть основными методами защиты производственного персонала и населения от возможных последствий аварий, катастроф, стихийных бедствий
ПК-11	Знать основные положения законы и методы естественных наук; выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, использовать для их решения соответствующий естественнонаучный аппарат
ПК-12	Применять математический аппарат для решения поставленных задач, способен применять соответствующую процессу математическую модель и проверять ее адекватность
ПК-13	Применять знания и навыки управления информацией
ПК-14	Самостоятельно изучать новые разделы фундаментальных наук
<i>Универсальные компетенции</i>	
ОК-1	Владеть культурой мышления, иметь способности к обобщению, анализу, восприятию информации, постановке цели и выбору путей ее достижения
ОК-2	Логически верно, аргументировано и ясно строить устную и письменную речь
ОК-3	Уважительно и бережно относиться к историческому наследию и культурным традициям, толерантно воспринимать социальные и культурные различия; понимать движущие силы и закономерности исторического процесса, место человека в историческом процессе, политической организации общества

ОК-4	Понимать и анализировать мировоззренческие, социально и личностно значимые философские проблемы
ОК-5	Владеть одним из иностранных языков на уровне бытового общения, а также переводить профессиональные тексты с иностранного языка

ОК-6	К кооперации с коллегами, работе в коллективе
ОК-7	Находить организационно-управленческие решения в нестандартных ситуациях и готов нести за них ответственность
ОК-8	Использовать нормативно-правовые документы в своей деятельности
ОК-9	Стремиться к саморазвитию, повышению своей квалификации и мастерства
ОК-10	Осознавать социальную значимость своей будущей профессии, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности
ОК-11	Использовать основные положения и методы социальных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач
ОК-12	Анализировать социально значимые проблемы и процессы
ОК-13	Использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и моделирования, теоретического и экспериментального исследования
ОК-14	Понимать сущность и значение информации в развитии современного информационного общества, осознавать опасности и угрозы, возникающие в этом процессе, соблюдать основные требования информационной безопасности, в том числе защиты государственной тайны
ОК-15	Оформлять, представлять и докладывать результаты выполненной работы
ОК-16	Создавать и редактировать тексты профессионального назначения
ОК-17	Использовать для решения коммуникативных задач современные технические средства и информационные технологии
ОК-18	Владеть средствами самостоятельного, методически правильного использования методов физического воспитания и укрепления здоровья, быть способным к достижению должного уровня физической подготовленности для обеспечения полноценной социальной и профессиональной деятельности

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

Инженерная школа ядерных технологий
Направление подготовки 01.03.02 «Прикладная математика и информатика»
Отделение экспериментальной физики

УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель ООП

(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ
на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы

Студенту:

Группа	ФИО
0В41	Мисютин Роман Владимирович

Тема работы:

Оптимизация процедуры реконструкции физических событий в эксперименте NA64	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Таблица показаний сэмплирующего АЦП электромагнитного калориметра для 5000 событий
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	<ol style="list-style-type: none">1. Обзор литературы по технике физического эксперимента с применением оптических приборов лавинного типа в физической калориметрии2. Построение математической модели описывающей показания фотоумножителей реального калориметра по исходным данным3. Выбор и обоснование подходящей модели искусственной нейронной сети для реконструкции энергии депонированной в электромагнитном калориметре

	4. Построение и апробация численных критериев оценки качества модели
--	--

Перечень графического материала	
--	--

Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы

Раздел	Консультант
«Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»	Меньшикова Екатерина Валентиновна
«Социальная ответственность»	Федорчук Юрий Митрофанович

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

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Инженер	Дусаев Ренат Рамильевич	—		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В41	Мисютин Роман Владимирович		

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

Студенту:

Группа	ФИО
0В41	Мисютин Роман Владимирович

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

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

<i>1. Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	<i>1. Стоимость расходных материалов 2. Стоимость расхода электроэнергии 3. Норматив заработной платы</i>
<i>2. Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	<i>1. Тариф на электроэнергию 2. Коэффициенты для расчета заработной платы;</i>
<i>3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	<i>1. Отчисления во внебюджетные фонды (27,1%)</i>

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

<i>1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения НИ с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения</i>	<i>1. Анализ конкурентных решений 2. SWOT-анализ</i>
<i>2. Планирование и формирование бюджета научных исследований</i>	<i>1. Структура работ в рамках научного исследования 2. Определение трудоемкости выполнения работ и разработка графика проведения научного исследования 3. Бюджет научно-технического исследования(НТИ)</i>

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

- 1. Оценка конкурентоспособности технических решений*
- 2. Матрица SWOT*
- 3. График проведения и бюджет НИ*

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Меньшикова Екатерина Валентиновна	к. филос. н., доцент		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
0В41	Мисютин Роман Владимирович		

**ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА
«СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»**

Студенту:

Группа	ФИО
0В41	Мисютин Роман Владимирович

Школа	ИЯТШ	Отделение	Экспериментальной физики
Уровень образования	Бакалавр	Направление/специальность	Прикладная математика и информатика

**Тема дипломной работы: Оптимизация процедуры реконструкции
физического события в эксперименте NA64**

Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:

- Целью данной работы является исследование возможности ускорения задачи фитирования амплитудного профиля сигнала с калориметров эксперимента NA64 нейросетевыми методами*
- Описание рабочего места на предмет возникновения:*
 - вредных проявлений факторов производственной среды (освещение, шумы, вибрации, электромагнитные поля, ионизирующие излучения)*
 - опасных проявлений факторов производственной среды (механической природы, термического характера, электрической, пожарной и взрывной природы)*

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

- Анализ выявленных вредных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности:*
 - приводятся данные по оптимальным и допустимым значениям микроклимата на рабочем месте, перечисляются методы обеспечения этих значений; приводится расчет освещенности на рабочем месте;*
 - приводятся данные по реальным значениям шума на рабочем месте и мероприятия по защите персонала от шума, при этом приводятся значения ПДУ, средства коллективной защиты, СИЗ;*
 - приводятся данные по реальным значениям электромагнитных полей на рабочем месте, в том числе от компьютера или процессора, если они используются, перечисляются СКЗ и СИЗ;*
 - приведение допустимых норм с необходимой размерностью (с ссылкой на соответствующий нормативно-технический документ);*
 - предлагаемые средства защиты (сначала коллективной защиты, затем – индивидуальные защитные средства)*
- Анализ выявленных опасных факторов проектируемой производственной среды в следующей последовательности*
 - приводятся данные по значениям напряжения используемого оборудования,*

<p>классификация помещения по электробезопасности, допустимые безопасные для человека значения напряжения, тока и заземления (в т.ч. статическое электричество, молниезащита - источники, средства защиты); перечисляются СКЗ и СИЗ;</p> <ul style="list-style-type: none"> - приводится классификация пожароопасности помещений, указывается класс пожароопасности помещения, перечисляются средства пожарообнаружения и принцип их работы, средства пожаротушения, принцип работы, назначение, маркировка; - пожаровзрывобезопасность (причины, профилактические мероприятия).
<p>3. Охрана окружающей среды:</p> <ul style="list-style-type: none"> - анализ воздействия при работе на ПЭВМ на атмосферу, гидросферу, литосферу; - наличие отходов (бумага, картриджи, компьютеры и т. д.); - методы утилизации отходов.
<p>4. Защита в чрезвычайных ситуациях:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Приводятся возможные для Сибири ЧС; Возможные ЧС: морозы, диверсия - разрабатываются превентивные меры по предупреждению ЧС; - разработка мер по повышению устойчивости объекта к данной ЧС; разработка действий в результате возникшей ЧС и мер по ликвидации её последствий
<p>5. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - специальные (характерные для проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства.
<p>Перечень графического материала:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) Пути эвакуации 2) План размещения светильников на потолке рабочего помещения

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

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Профессор	Федорчук Юрий Митрофанович	Д.Т.Н.		

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
ОВ41	Мисютин Роман Владимирович		

Реферат

Пояснительная записка к выпускной квалификационной работе выполнена на 76 страницах машинописного текста и содержит 11 рисунков, 12 таблиц, 10 источников, 4 приложения.

Ключевые слова: машинное обучение, аппроксимация данных, электромагнитный калориметр, темная материя.

Объектом исследования является таблица показаний сэмплирующего АЦП электромагнитного калориметра.

Цель работы: оптимизация процедуры восстановления энергии физических событий эксперимента NA64.

В результате исследования были описаны и обучены нейросетевые модели, ускоряющие оценку параметров функции, аппроксимирующей показания сэмплирующего АЦП электромагнитного калориметра.

Содержание

Введение	12
1 Эксперимент NA64	14
1.1 Цель эксперимента	14
2 Теоретическая часть	17
2.1 Формулировка задачи	17
2.2 Метод наименьших квадратов	17
2.3 Многослойный персептрон	18
2.4 Сверточные нейронные сети	22
3 Практическая часть	26
3.1 Генерация синтетических данных	26
3.2 Метод наименьших квадратов	26
3.3 Нейросетевые модели	27
3.4 Результаты	28
4 Социальная ответственность	31
4.1 Описание рабочего места	31
4.2 Анализ опасных и вредных факторов производственной среды	32
4.3 Микроклимат в помещении	36
4.4 Освещенность рабочей зоны	38
4.5 Производственный шум	42
4.6 Электромагнитное поле	44
4.7 Психофизиологические факторы	45
4.8 Электростатическое поле	46
4.9 Электробезопасность	47
4.10 Пожарная безопасность	49
4.11 Охрана окружающей среды	51
4.12 Защита в чрезвычайных ситуациях	52
4.13 Перечень нормативно-технической документации	53
4.14 Выводы и рекомендации	53
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	55
5.1 Потенциальные потребители результатов исследования	55

5.2	Анализ конкурентных решений	55
5.3	SWOT-анализ	56
5.4	Планирование научно-исследовательских работ	57
5.5	Бюджет научно-исследовательского исследования	61
	Заключение	68
	Список использованных источников	69
	Приложение А. Листинг программы, генерирующей синтетические данные	70
	Приложение Б. Листинг программы для обучения многослойного персептрона	72
	Приложение В. Листинг для обучения сверточной нейронной сети. .	74
	Приложение Г. План эвакуации в случае пожара	76

Введение

В последние десятилетия одной из главных тем для исследований в физике элементарных частиц является изучение феномена темной материи. Одним из экспериментов, занимающихся изучением темного сектора является эксперимент NA64, проводимый в Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН) на протонном суперсинхротроне (SPS — Super-Proton Synchrotron).

Важнейшей прикладной задачей при обработке данных эксперимента является определение энергии выделившейся в калориметре по цифровому сигналу фотодетектора. Особенности, используемого в настоящее время метода, приводят к тому, что доля событий исключённых из анализа составляет 5-25%, в зависимости от интенсивности пучка, что значительно увеличивает время необходимое для набора статистики, требуемой для подтверждения физических гипотез. Коллаборацией рассматривался более гибкий и точный метод основанный на аппроксимации точек сигнала модельной кривой, но в силу необходимости применять нелинейный метод наименьших квадратов для каждого сигнала, скорость обработки понижается настолько, что, по оценкам членов коллаборации, только реконструкция энергии запланированного числа событий, займет от двух лет при непрерывном использовании 86 процессорного кластера.

Целью данной работы является оптимизация процедуры восстановления энергии физических событий эксперимента NA64. Для этого, следуя работе [1], мы ставим следующие задачи:

- 1) Разработать генератор синтетически данных, на основе используемой модельной функции
- 2) Оценить качество и время аппроксимации синтетических данных методом наименьших квадратов
- 3) Разработать и обучить несколько нейросетевых моделей, предназначенных для предсказания параметров модельной функции аппроксимирующей синтетические данные. Оценить время тренировки и предсказания, а так же качество полученных оценок параметров.

4) Сделать вывод, о допустимости применения рассмотренных нейросетевых моделей, и выбрать из них наиболее предпочтительную.

1 Эксперимент NA64

1.1 Цель эксперимента

Эксперимент NA64 проводится на ускорителе SPS в ЦЕРНе. Эксперимент основан на методе недостающей энергии для поиска редких событий [2]. Этот эксперимент использует полностью герметичный детектор, расположенный на линии Н4 в Превессане (Франция). Основной целью эксперимента является поиск легких бозонов из темного сектора, которые могут взаимодействовать с обычными фотонами, таких как, например, темные фотоны (A').

Экспериментальная установка специально разработана для поиска гипотетической частицы тёмной материи по распаду в невидимую моду $A' \rightarrow invisible$. Схема установки изображена на рисунке. Установка состоит из 4 трековых детектора, два из которых размещены до двух магнитов и два – после вакуумную трубу диаметром 159 мм, помещённую в магнитное поле, создаваемое двумя магнитами с напряжённостью магнитного поля $\approx 1,46$ Т, высокоэффективные veto счётчики 1 и 2, три сцинтилляционных счётчика (пропорциональные камеры), комбинацию электромагнитного калориметра типа шашлык и адронного калориметра высокой степени герметичности, для детектирования всех финальных состояний продуктов реакции $e^- Z \rightarrow e^- Z A'$. Магниты также служат для фильтрации низкоэнергетических компонент пучка

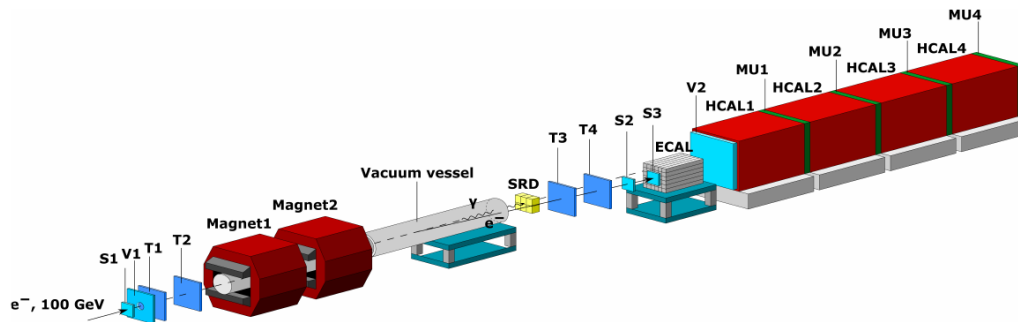


Рисунок 1 — Экспериментальная установка

В эксперименте используется пучок электронов с энергией 100 ГэВ с линии Н4. Максимальная интенсивность пучка составляет $10^5 - 10^7$

электронов, производимых пучком интенсивностью порядка 10^{12} протонов, при столкновении с мишенью.

Методика регистрации искомой частицы состоит в следующем. Тёмные фотоны A' образуются в результате смешивания с квази-реальными фотонами электромагнитных взаимодействий, которые, в свою очередь, образуются в результате рассеяния первичных электронов на ядрах в ЭМ-калориметре:

$$eZ \rightarrow eZA', A' \rightarrow invisible$$

Образовавшийся A' далее проходит всю установку без взаимодействия и распадается на e^-e^+ вне детектора, или может распасться на две гипотетических частицы, которые тоже пройдут всё вещество детекторного комплекса без взаимодействий. В случае, если в процессе развития электромагнитного ливня A' не образуется, электромагнитный калориметр служит поглотителем ($\approx 30X_0$) для всей энергии первичного электрона, и утечки в вето счётчик 1 незначительны. В случае, если в результате развития ЭМ-ливня образуется A' , в ЭМ-калориметре остаётся $E_1 < E_0$. Оставшаяся часть энергии $E_2 = E_0 - E_1$ первичного электрона уносится тёмным фотоном (A') или продуктами реакции $A' \rightarrow invisible$ без дальнейшего взаимодействия с установкой.

Кандидат на роль сигнала искомого события должен проявлять следующую сигнатуру [3]:

$$S_{A'} = T(1 - 4) \times ECAL(E_{ECAL} < E_0) \times \overline{V2 \times HCAL},$$

то есть должны наблюдаться сигналы от трековых детекторов, сигнал от ЭМ-калориметра (с энергией меньшей энергии начального электрона), при отсутствии сигналов от вето-счётчика 2 и адронного калориметра.

В качестве электромагнитного калориметра коллаборацией используется массив 6×6 детекторов типа «шашлык» [4], изображённый на рисунке ???. Калориметр также выступает в роли активной мишени, на которой происходит развитие электромагнитного ливня с образованием A' с вероятностью 10^{-12} [4].

После оцифровки сигнал с калориметра представляет собой по 32 измерения напряжения на ФЭУ сопряженных с каждой из 36 поперечных

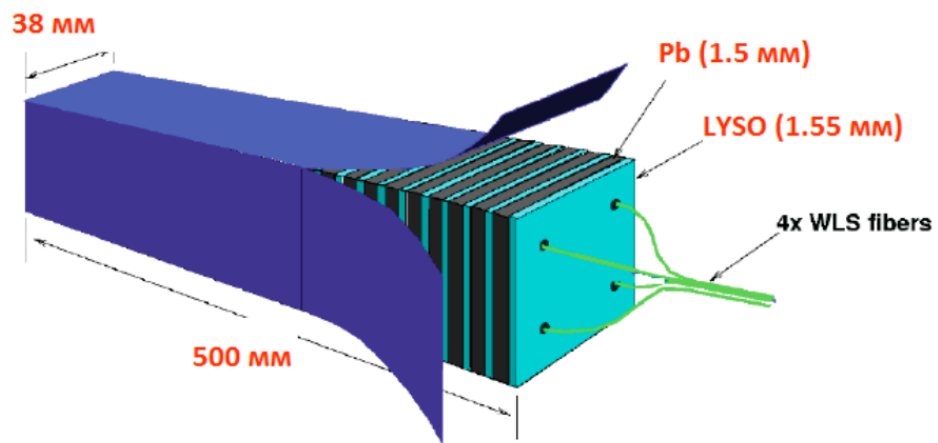


Рисунок 2 — Ячейка электромагнитного калориметра

ячеек калориметра. По этим данным далее проводится реконструкция энергии выделенной в ячейках, а также времени начала ливня и его формы.

2 Теоретическая часть

2.1 Формулировка задачи

Пусть имеется набор из m точек $\mathbf{x} = (x_1, \dots, x_m)$ и N наборов по m значений $\mathbf{T} = \mathbf{t}^1, \dots, \mathbf{t}^N$, $\mathbf{t}^i = (t_1^i, \dots, t_m^i)$. Предположим что существует параметрическое семейство функций $f(\mathbf{x}, \theta)$, такое что $f(\mathbf{x}, \theta_i) = \mathbf{t}^i$, $\forall i \in (1, \dots, N)$. Поставим задачу об определении параметров $\theta^{(i)}$ по известным \mathbf{x} и $\mathbf{t}^{(i)}$. Классическим подходом к решению такой задачи будет применение метода наименьших квадратов независимо к каждому набору $\mathbf{t}^{(i)}$. В работе [1] для ускорения процесса определения параметров θ в случае больших значений N было предложено определить параметры θ_i для малого числа наборов ($i \in (1, \dots, K)$ $K < N$). После чего по полученным парам $(\mathbf{t}^{(i)}, \theta^{(i)})$ обучается регрессионная модель машинного обучения, предсказывающая значения параметров для остальных примеров.

2.1.1 Задача регрессии

Постановка задачи регрессии заключается в следующем. Пусть имеется N пар значений (возможно многомерных) $(\mathbf{x}_i; \mathbf{t}_i)_{i=1}^N$, и необходимо построить отображение $\mathbf{x} \rightarrow \mathbf{t}$, позволяющее предсказывать значения \mathbf{t} по новым значениям \mathbf{x} . Типичным подходом является решение задачи оптимизации вида:

$$\arg \min_{\mathbf{w}} \mathcal{L} = \arg \min_{\mathbf{w}} \left(\sum_{i=1}^N (\mathbf{t}_i - y(\mathbf{x}_i, \mathbf{w}))^2 \right) \quad (1)$$

где $y(\mathbf{x}, \mathbf{w})$ — некое параметрическое семейство функций. Способ решения оптимизационной задачи 1 зависит от вида функции

2.2 Метод наименьших квадратов

В методе наименьших квадратов параметры модельной функции определяются из решения оптимизационной задачи

$$\arg \min_{\theta} \mathcal{L}(\theta), \quad (2)$$

где

$$\mathcal{L}(\theta) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N (t_i - f(x_i, \theta))^2 \quad (3)$$

Минимум функции 3 достигается в нуле ее градиента по параметрам θ

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta} = - \sum_{i=1}^N (t_i - f(x_i, \theta)) \frac{\partial f(x_i, \theta)}{\partial \theta} = 0 \quad (4)$$

В общем случае полученная система не имеет решения в закрытой форме и поэтому приходится прибегать к итеративным процедурам оптимизации. В качестве примера кратко опишем суть одного из таких методов — алгоритма Гаусса-Ньютона.

- 1) Задается начальное значение параметров функции $\theta^{(0)}$
- 2) Производится итеративная процедура обновления параметров по правилу:

$$\theta^{(s+1)} = \theta^{(s)} - (\mathbf{J}^T \mathbf{J})^{-1} \mathbf{J}^T (\mathbf{t} - f(\mathbf{x}, \theta^{(s)})), \quad (5)$$

где

$$(\mathbf{J})_{ij} = - \frac{\partial f(x_i, \theta^{(s)})}{\partial \theta_j^{(s)}} \quad (6)$$

- 3) Процедура прекращается, когда последовательные изменения параметров становятся меньше заданного заранее порога.

2.3 Многослойный перцептрон

Многослойный перцептрон (Multilayer perceptron — MLP) является одним из примеров искусственной нейронной сети (ИНС). MLP состоит из входного, выходного и скрытых слоев, состоящих из простых вычислительных элементов, называемых также искусственными нейронами.

Входной слой состоит из K вещественнозначных чисел x_i , $i \in (1, \dots, K)$, выходной слой состоит из M вещественнозначных чисел y_j , $j \in (1, \dots, M)$. Схема типичного перцептрона представлена на рисунке 3, нейроны изображены кружками, а линии указывают на связи между нейронами соседних слоев. Каждый нейрон в скрытом слое имеет набор входов и выходов (с единственным значением). Выходное значение

нейрона вычисляется на основе значения входных связей, являющимися выходами нейронов предыдущего слоя. С математической точки зрения

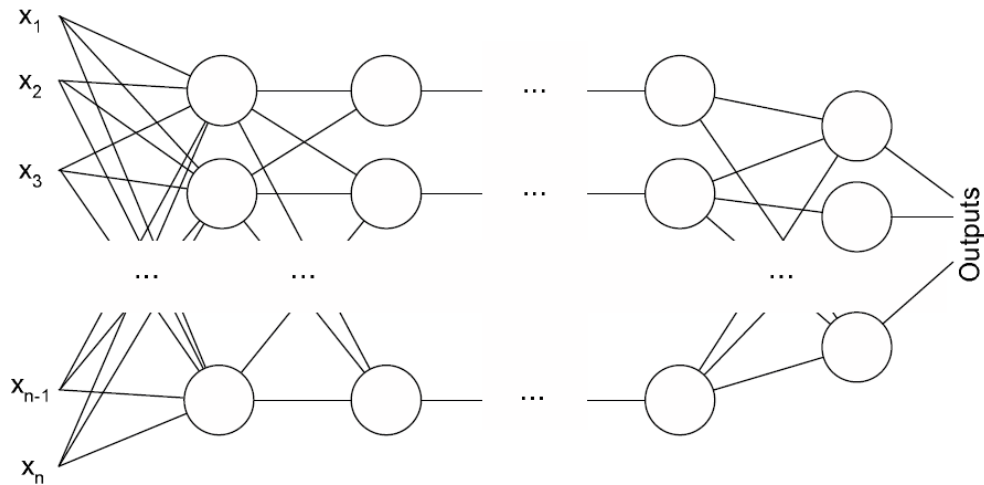


Рисунок 3 — Многослойный персептрон

многослойный персептрон представляет собой отображение $\mathcal{R}^K \rightarrow \mathcal{R}^M$, т.е. персептрон можно представить как функцию его входов $\mathbf{y} = y(\mathbf{x}, \mathbf{W})$, где $\mathbf{W} = w_{ij}^{(l)}, l \in (1, \dots, L), i \in (1, \dots, D_l), j \in (1, \dots, D_{l-1})$ — веса связей между нейронами персептрона, L — число слоев в персептроне, D_l — число нейронов на l -ом слое. Вычисление выходного значения персептрона производится вычислением значений нейронов скрытых слоев, от входа к выходу. Процесс вычисления значения конкретного нейрона состоит из двух этапов, сначала вычисляется так называемая активация нейрона:

$$a_i^{(l)} = \sum_{j=1}^{D_{l-1}} w_{ij}^{(l)} z_j^{(l-1)} + w_{i0}^{(l)}, \quad (7)$$

после чего выходное значение получается применением функции активации:

$$z_i^{(l)} = h^{(l)}(a_i) \quad (8)$$

Типичным выбором функции активации являются так называемые s-образные функции, например гиперболический тангенс:

$$\tanh(a) = \frac{e^{2x} - 1}{e^{2x} + 1} \quad (9)$$

или сигмойда:

$$\sigma(a) = \frac{1}{1 + e^{-a}}. \quad (10)$$

Но в последнее время большей популярностью пользуются так называемые Rectified Linear Units (ReLU):

$$ReLU(a) = \max(0, a) \quad (11)$$

Графики функций 9,10 и 11 представлены на рисунке 4

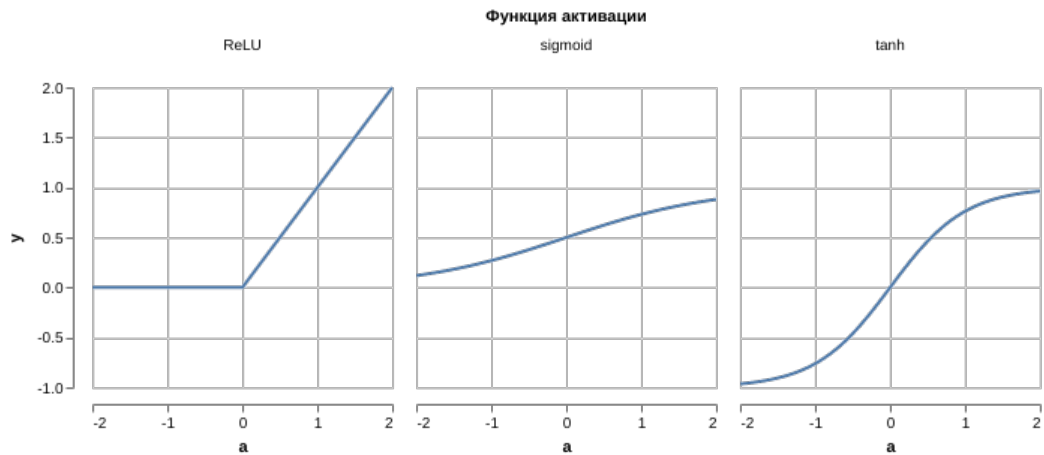


Рисунок 4 — Популярные функции активации

Важным теоретическим результатом о свойствах MLP, является **универсальная теорема аппроксимации**, гласящая что при правильном выборе весов \mathbf{W} и достаточном числе нейронов, многослойный персептрон может аппроксимировать любую непрерывную функцию с произвольным уровнем точности, независимо от выбора функций активации.

Это свойство позволяет эффективно использовать многослойные персептроны для решения задач регрессии и классификации.

Процесс подбора весов для аппроксимации конкретного отображения называется этапом обучения нейронной сети и производится в соответствии с заданной функцией ошибки, т.е. происходит решение задачи оптимизации:

$$\arg \min_{\mathbf{w}} \mathcal{L}(\mathbf{X}, \mathbf{T}, \mathbf{w}), \quad (12)$$

где $\mathbf{X} = \{\mathbf{x}^{(1)}, \dots, \mathbf{x}^{(N)}\}^T$ – матрица входных данных, а $\mathbf{T} = \{\mathbf{t}^{(1)}, \dots, \mathbf{t}^{(N)}\}$ – матрица целевых значений.

Обычно функция ошибки представляет собой сумму отдельных слагаемых вычисляемых на каждом тренировочном примере в отдельности, т.е.

$$\mathcal{L}(\mathbf{X}, \mathbf{T}, \mathbf{w}) = \sum_{i=1}^N L(\mathbf{x}_i, \mathbf{t}_i, \mathbf{w}), \quad (13)$$

что позволяет производить оптимизацию задачи 12 методом стохастического градиента или его модификациями. Отличие стохастического спуска от обычного заключается в том что для обновления значения аргумента на каждом шаге используется не полный градиент функции, а градиент функции $L(\mathbf{x}_i, \mathbf{t}_i, \mathbf{w})$ где $i \in (1, \dots, N)$ выбирается случайным образом.

$$\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k - \lambda \frac{\partial L_n}{\partial \theta} \quad (14)$$

Показано, что на больших объемах данных стохастический градиент сходится быстрее обычного, а также полученные в результате модели обладают лучше обобщающей способностью [5].

Для эффективного вычисления значения градиента функции ошибки, вводится понятие графа вычислений. Граф вычислений — это направленный ациклический граф $G = (V, E)$, описывающий вычисление сложной составной функции f . Вершинами графа являются функции $g \in V$, а ребра связывают функции и их аргументы. Причем в графе имеются узлы не имеющие входящих ребер, такие узлы соответствуют входным переменным графа, а также есть одна вершина не имеющая выходящих ребер, выход которой соответствует значению функции описываемой графом. Для того чтобы получить значение функции в некоторой точке достаточно подставить эту точку в входные узлы графа и последовательно проходить граф, вычисляя значение функций в вершинах графа, такая процедура называется прямым распространением.

Алгоритм обратного распространения позволяет получить градиент функции описываемой графом и состоит из следующих шагов:

- 1) инициализируем $\frac{\partial f}{\partial f} = 1$

2) для каждой вершины $g \in V$, у которой все дети уже обработаны алгоритмом, вычисляем

$$\frac{\partial f}{\partial g} = \sum_{g' \in \text{Children}(g)} \frac{\partial f}{\partial g'} \frac{\partial g'}{\partial g} \quad (15)$$

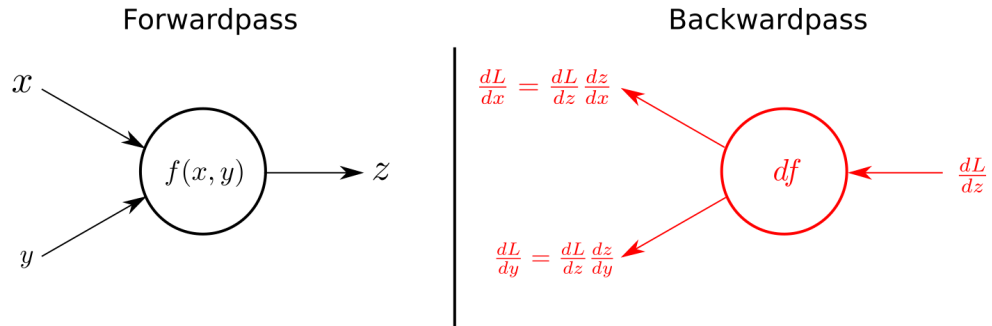


Рисунок 5 — Обратное распространение через одну вершину

Структура нейронной сети естественным образом представляется в виде графа вычислений, причем входными вершинами являются как входные данные \mathbf{x} , так и параметры сети \mathbf{w} , что позволяет эффективно вычислять градиент выходного значения сети по её параметрам.

Благодаря высокой выразительной способности многослойных перцептронов они являются популярным выбором в качестве регрессионной функции. Оптимизация задачи ?? в случае MLP, осуществляется методом стохастического градиента спуска, так как градиент функции $\mathcal{L}(\mathbf{w})$ можно записать в виде:

$$\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \mathbf{w}} = \sum_{i=1}^N \frac{\partial L_i}{\partial \mathbf{w}}, \quad (16)$$

где

$$\frac{\partial L_i}{\partial \mathbf{w}} = -2(\mathbf{t}_i - y(\mathbf{x}_i, \mathbf{w})) \frac{\partial y(\mathbf{x}_i, \mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}} \quad (17)$$

Определение $\frac{\partial y(\mathbf{x}_i, \mathbf{w})}{\partial \mathbf{w}}$ эффективно осуществляется методом обратного распространения.

2.4 Сверточные нейронные сети

Несмотря на достоинства многослойного перцептрона, он явно не учитывает наличие локальных корреляций между входами нейронной сети.

Такие связи возникают, например, при анализе изображений (значения соседних пикселей часто коррелированы) или при анализе временных рядов. Так как данные, рассматриваемые в данной работе, представляют собой временные ряды, то закономерным является рассмотрение архитектур нейронных сетей, предназначенных для работы с временными рядами. Популярными архитектурами для работы с временными рядами являются рекуррентные нейронные сети [6, 7] и сверточные нейронные сети с одномерными свертками [8]. Мы ограничиваемся рассмотрением сверточных сетей, поскольку на текущий момент используемое аппаратное обеспечение оптимизировано именно на выполнение сверточных операций, из чего следует высокая скорость, как этапа тренировки так и этапа предсказаний, при использовании сверточных сетей по сравнению с рекуррентными.

Основными идеями, лежащими за сверточными нейронными сетями, являются

- введение локального рецептивного поля нейронов, т.е. каждый нейрон зависит только от некоторой связной области входных данных, а не от всех входов как в персептроне

- переиспользование весов, между разными нейронами.

Основным строительным блоком сверточной нейронной сети является операция дискретной свертки. Двумерная свертка изображения I с ядром K размерности $h \times w$ обозначается $I * K$ и вычисляется следующим образом:

$$(I * K)_{x;y} = \sum_{i=1}^h \sum_{j=1}^w K_{ij} I_{x+i-1;y+j-1} \quad (18)$$

Пример вычисления двумерной свертки представлен на рисунке 6

Одномерная свертка последовательности I с ядром K длины h получается аналогично

$$(I * S)_x = \sum_{i=1}^h K_i I_{x+i-1} \quad (19)$$

Сверточный слой представляет собой f сверток (число f называется количество фильтров сверточного слоя), которые применяются к карте

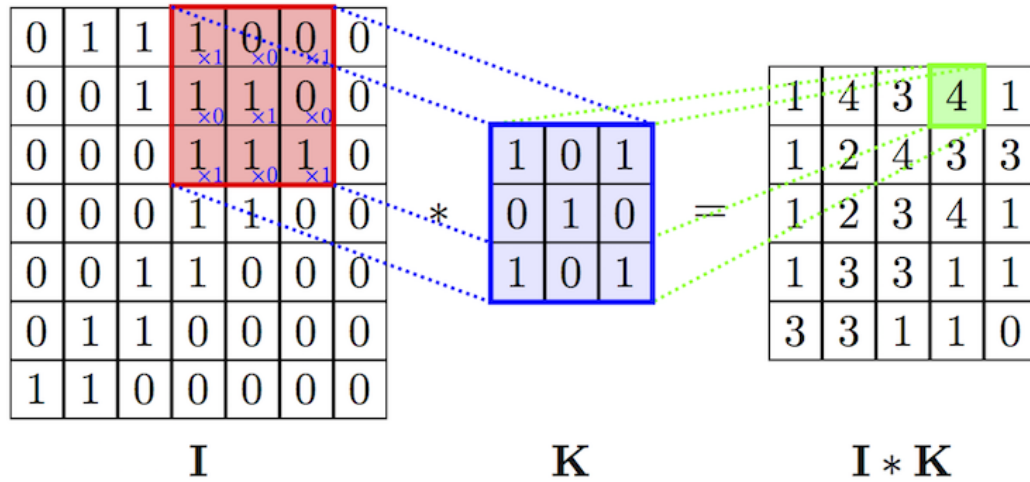


Рисунок 6 — Вычисление двумерной свертки

признаков предыдущего слоя и производят f новых карт признаков. Для выделения наиболее полезных признаков слоев используется слой субдискретизации, который получает на вход маленькие отдельные фрагменты изображения (обычно 2×2) и объединяет каждый фрагмент в одно значение. Существует несколько возможных способов агрегации, наиболее часто из четырех пикселей выбирается максимальный. Этот способ схематически показан на рис 7

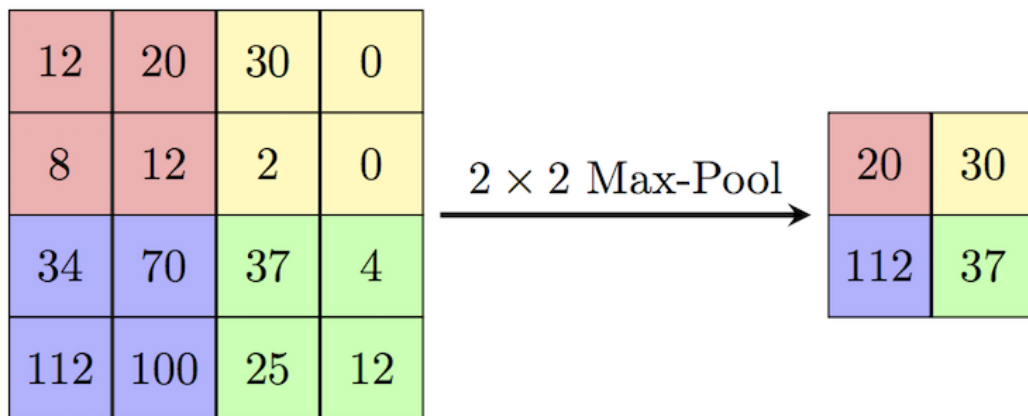


Рисунок 7 — Процесс максимальной субдискретизации

Типичная сверточная сеть состоит из чередующихся сверточных слоев и слоев субдискретизации с несколькими полносвязными слоями на конце. Сверточные слои служат для генерации признаков используемых,

полносвязными слоями для решения поставленной задачи(классификации или регрессии).

3 Практическая часть

3.1 Генерация синтетических данных

Следуя работе [1] будем тренировать наши модели на синтетических данных, поскольку это позволит нам точно оценивать качество предсказаний используемых моделей.

Для генерации будем использовать модельную функцию предложенную в [9]

$$F(t, A, t_0, \tau_1, \tau_2) = A \frac{e^{-\frac{t-t_0}{\tau_1}}}{1 + e^{-\frac{t-t_0}{\tau_2}}} \quad (20)$$

где A, t_0, τ_1, τ_2 — варьируемые параметры.

Одно событие состоит из 32 значений функции 20 взятых в точках $\mathbf{t} = (0, 1, 2, \dots, 31)$. Для каждого события i сэмплируем значения параметров из соответствующих распределений.

$$y_j^{(i)} = F(j, A^{(i)}, t_0^{(i)}, \tau_1^{(i)}, \tau_2^{(i)}), j \in (0, 1, \dots, 31) \quad (21)$$

где $A \sim \mathcal{U}(0, 4095)$, $t_0 \sim \mathcal{N}(10, 2)$, $\tau_d \sim \mathcal{U}(3, 7)$, $\tau_s \sim \mathcal{U}(0.3, 0.5)$. Вид и параметры модельных распределений соответствуют пределам физически-допустимых значений, и выбраны на основе общих соображений включающих в первую очередь характерные средние для детекторов подобного класса (сцинтилляционные сэндвичевые детекторы и однофотонный спектр ФЭУ). Код осуществляющей генерацию заданного числа подобных событий приведен в приложении А. Были сгенерированы тренировочный набор, состоящий из 10^6 событий, и тестовый, состоящий из 10^5 событий.

3.2 Метод наименьших квадратов

Для аппроксимации синтетических данных использовалась функция `curve_fit` пакета `scipy` для языка `python`. Для оценки времязатрат на применение метода, было проведено фитирование событий из тестовой выборки. Так для полного фитирования тестового набора данных (10^5 сигналов) функции `curve_fit` необходимо в среднем 530.7 секунд при однопоточном режиме выполнения. Здесь и далее для оценки качества

модели используем среднеквадратичную невязку между истинным сигналом и сигналом, восстановленным на основе оценок параметров модельной функции, с последующим усреднением по всем тестовым примерам:

$$L = \frac{1}{32N} \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{32} (f(t, \theta) - f(t, \hat{\theta}))^2 \quad (22)$$

Так при фитирования методом наименьших квадратов ошибка реконструкции составила $L = 112047,109$. На рисунке показаны 3 случайных сигнала из тестовой выборки вместе с соответствующими реконструкциями.

3.3 Нейросетевые модели

Для решения задачи регрессии на параметры модельной функции будем применять две нейросетевые модели:

- 1) Многослойный персептрон
- 2) Сверточную нейронную сеть

Код для определения, тренировки и применения неронных сетей написан на языке программирования python с использованием фреймворка **keras** с бэкендом **tensorflow**. Все модели тренировались на графическом чипе Nvidia GeForce 840m.

3.3.1 Многослойный персептрон

Схематическое представление архитектуры используемой сети показана на рисунке 8. Сеть состоит из 5 пар, чередующихся полносвязных слоев и dropout слоев [10], применяемых в качестве регуляризатора.

Обучение проводилось в течении 20 эпох с размеров минибатча в 128 примеров. В качестве оптимизатора использовался Adam с настройками по умолчанию и среднеквадратичной функцией ошибки. Процесс обучения занимает в среднем 35.4 секунды на одну эпоху. Процесс предсказания 10^6 примеров занимает в среднем 21,2 секунды. Так для многослойного персептрона ошибка реконструкции составила $L = 83830,745$

Листинг программы осуществляющей обучение персептрона представлен в приложении Б

3.3.2 Сверточная нейронная сеть для регрессии параметров модельной функции

Принимая во внимание факт, что наши данные представляют собой временной ряд, мы считаем оправданным использование архитектуры сети специализирующейся на работе с данными обладающими локальной структурой. В данном случае мы применяем сверточную нейронную сеть с одномерными свертками, схема которой представлена на рисунке 9. Обучение проводилось в течении 20 эпох с размеров минибатча в 128 примеров. В качестве оптимизатора использовался Adam с настройками по умолчанию и среднеквадратичной функцией ошибки. Процесс обучения занимает в среднем 33.3 секунды на одну эпоху. Процесс предсказания 10^6 примеров составляет в среднем 30,1 секунды. Для сверточной нейронной сети ошибка реконструкции составила $L = 399327,061$

Листинг программы осуществляющей обучение сверточной нейронной сети представлен в приложении В

3.4 Результаты

Нейросетевые модели производят оценку параметров аппроксимирующей функции примерно на 2 порядка быстрее метода наименьших квадратов. Причем качество реконструкции персептрона сравнимо с качеством классической аппроксимации, в то время как сверточная сеть показывает худшее качество реконструкции.

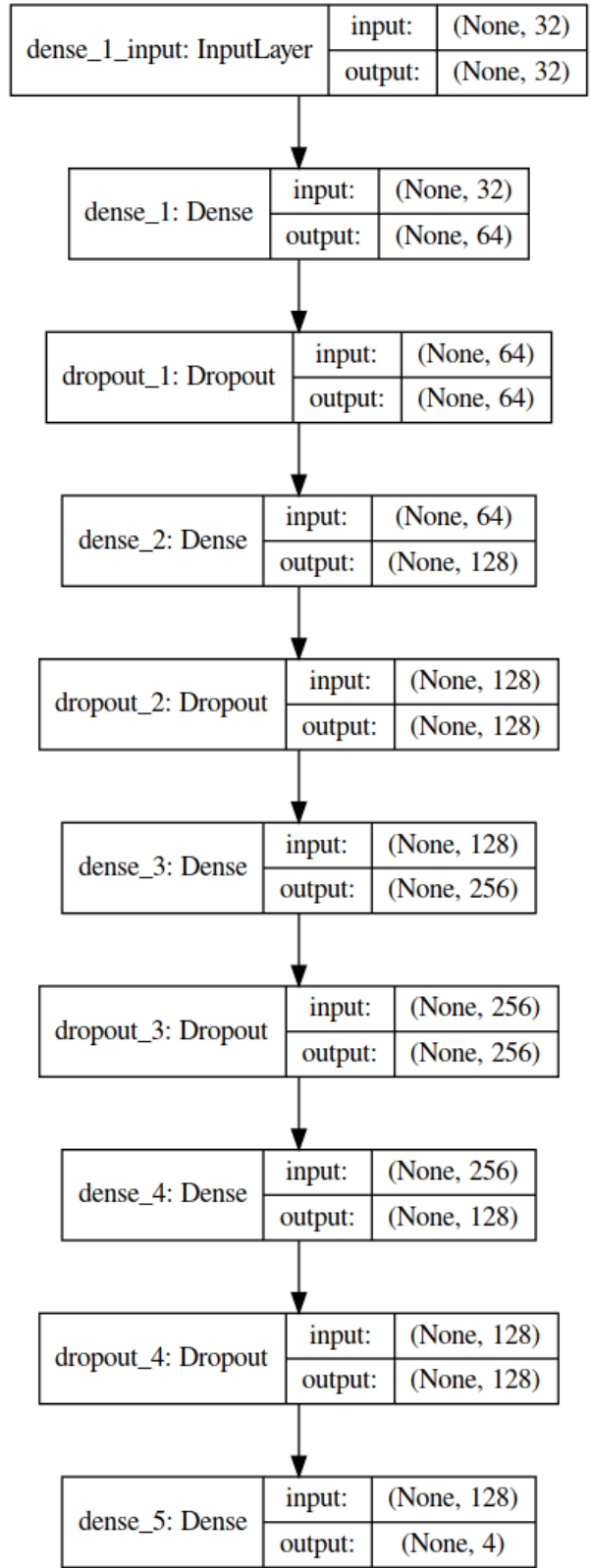


Рисунок 8 — Архитектура используемого персептрона

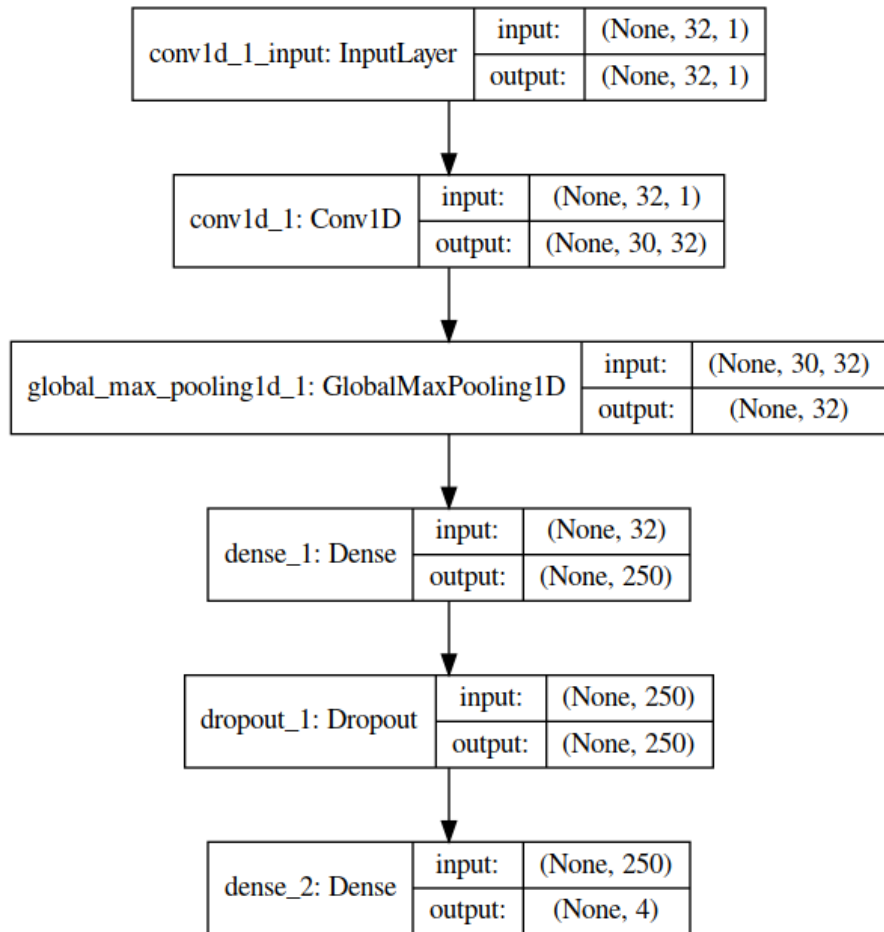


Рисунок 9 — Архитектура используемой сверточной сети

4 Социальная ответственность

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам безопасности трудящихся на рабочем месте. Одной из основных задач является охрана здоровья сотрудников предприятий, сведение к минимуму или ликвидация различных видов производственных травм и снижение риска заболеваний.

Скорость создания и усовершенствования электронно-вычислительных машин (ЭВМ) привела к их повсеместному внедрению как на производстве, так в научно-исследовательских и конструкторских целях, а также в сфере управления и образования. Компьютеры на данный момент являются одной из важных составляющих деятельности большинства предприятий и организаций, а также в домашних условиях. Однако компьютер является источником вредного воздействия на организм человека, а, следовательно, и источником профессиональных заболеваний. Это влечет за собой требование: каждый пользователь персонального компьютера должен быть осведомлен о вредном воздействии ПЭВМ на организм человека и необходимых мерах защиты от этих воздействий.

4.1 Описание рабочего места

В данном разделе рассмотрены вопросы, связанные с организацией рабочего места в соответствии с нормами производственной санитарии, техники производственной безопасности и охраны окружающей среды.

В данной работе рассмотрена проектировка рабочего места и помещения, в котором оно находится.

Под проектированием рабочего места понимается целесообразное пространственное размещение в горизонтальной и вертикальной плоскостях функционально взаимосвязанных средств производства (оборудования, оснастки, предметов труда и др.), необходимых для осуществления трудового процесса.

При проектировании рабочих мест должны быть учтены освещенность, температура, влажность, давление, шум, наличие вредных веществ, электромагнитных полей и другие санитарно-гигиенические требования к организации рабочих мест. Работа выполняется преимущественно за компьютером, поэтому в соответствии СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 в помещении на одного работника, работающего за ПК с ЖК мониторами предусмотрено 4,5 кв.м.

При проектировании рабочей зоны необходимо уделить внимание охране окружающей среды, а в частности, организации безотходного производства.

Также необходимо учитывать возможность чрезвычайных ситуаций. Так как рабочая зона находится в городе Томске, наиболее типичной ЧС является мороз. Так же, в связи с неспокойной ситуацией в мире, одной из возможных ЧС может быть диверсия.

4.2 Анализ опасных и вредных факторов производственной среды

Вредным называется производственный фактор, воздействие которого на сотрудника в определенных условиях приводит к заболеванию или снижению работоспособности. При изменении уровня и времени воздействия вредные производственные факторы могут стать опасными. Опасными считаются производственные факторы, воздействие которых на работающего в конкретных условиях может привести к травмам, а также другим внезапным резким ухудшениям здоровья.

При работе с ПЭВМ пользователь (оператор, программист) подвергается воздействию опасных и вредных производственных факторов:

1. электромагнитных полей;
2. электростатических полей;
3. шума;
4. микроклимата в помещении;

5. освещенности рабочей зоны;
6. психофизиологических факторов.

Эти факторы могут привести к ухудшению здоровья пользователя, а также к профессиональным заболеваниям.

Отрицательное воздействие ПЭВМ на человека носит комплексный характер комбинации вредных и опасных производственных факторов:

1. монитор компьютера является источником: электромагнитного поля (ЭМП); электростатического поля; рентгеновского излучения; вредного действия светового потока и отраженного света;
2. значительной нагрузке подвергается зрительный аппарат в результате несовершенства способов создания изображения на экране монитора;
3. работа компьютера сопровождается акустическими шумами;
4. несоблюдение эргономических параметров, обеспечивающих безопасность приёмов работы пользователя ПЭВМ: гигиенических и психофизиологических, антропометрических и эстетических, может повлечь снижение эффективности действий человека.

Характеристика помещения, где была разработана бакалаврская работа: ширина комнаты составляет $b = 4$ м, длина $a = 6$ м, высота $H = 2,8$ м. Тогда площадь помещения будет составлять $S = a \cdot b = 24$ м², объем помещения $S = a \cdot b \cdot h = 72$ м³. В помещении имеется окно, через которое осуществляется вентиляция помещения. В помещении отсутствует принудительная вентиляция. В зимнее время помещение отапливается. В помещении используется комбинированное освещение - искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛБ. Рабочая поверхность имеет высоту 0,75 м. Электроснабжение сети переменного напряжения 220 В. Помещение без повышенной опасности в отношении поражения человека электрическим током по ГОСТ Р 12.1.019-2009.

Компьютер, расположенный на рабочей поверхности высотой 0.77 м, обладает следующими характеристиками: процессор Intel Core i5, оперативная память 6 ГБ, операционная система Microsoft Windows 10, частота процессора 2,5ГГц, дисплей HD с диагональю 39,6 см (15,6 дюйма) разрешением 1366 на 768.

Место для работы на компьютере и взаиморасположение всех его элементов должно соответствовать антропометрическим, физическим и психологическим требованиям. При устройстве рабочего места человека, работающего за ПК необходимо соблюсти следующие основные условия: наилучшее местоположение оборудования и свободное рабочее пространство.

Основными элементами рабочего места являются стол и стул, т.к. рабочим положением является положение сидя. Рациональная планировка рабочего места определяет порядок и местоположение предметов, в особенности тех, которые для работ необходимы чаще.

Основные зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости показаны на рис. 1.

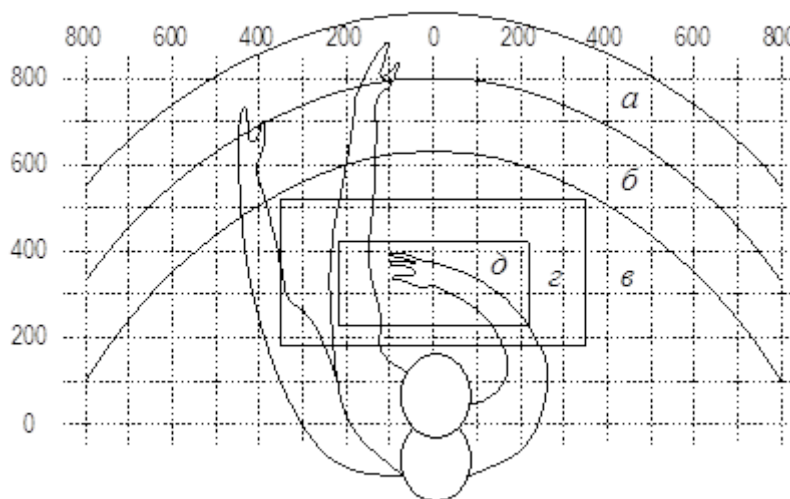


Рисунок 10 – Зоны досягаемости рук в горизонтальной плоскости:
а – зона максимальной досягаемости; б – зона досягаемости пальцев при вытянутой руке; в – зона легкой досягаемости ладони; г – оптимальное пространство для грубой ручной работы; д – оптимальное пространство для тонкой работы

В соответствии с этим рассмотрим оптимальное размещение предметов труда и документации в зонах досягаемости рук:

1. Дисплей размещается в зоне а (в центре);
2. Клавиатура - в зоне г/д;
3. Системный блок размещается в зоне б (слева);
4. Принтер (если он есть) находится в зоне а (справа);
5. Документация располагается в зоне легкой досягаемости ладони - в (слева) - литература и документация, необходимая при работе или в выдвижных ящиках стола - литература, неиспользуемая постоянно.

При проектировании письменного стола должны быть учтены следующие требования.

Высота рабочей поверхности стола рекомендуется в пределах 680–800 мм. Высота рабочей поверхности, на которую устанавливается клавиатура, должна быть 650 мм. Рабочий стол должен быть шириной не менее 700 мм и длиной не менее 1400 мм. Должно иметься пространство для ног высотой не менее 600 мм, шириной — не менее 500 мм, глубиной на уровне колен — не менее 450 мм и на уровне вытянутых ног — не менее 650 мм.

Рабочее кресло должно быть подъёмно-поворотным и регулируемым по высоте и углам наклона сиденья и спинки, а также расстоянию спинки до переднего края сиденья. Рекомендуется высота сиденья над уровнем пола 420–550 мм. Конструкция рабочего кресла должна обеспечивать: ширину и глубину поверхности сиденья не менее 400 мм.

Монитор должен быть расположен на уровне глаз оператора на расстоянии 500–600 мм. Согласно нормам, угол наблюдения в горизонтальной плоскости должен быть не более 45° к нормали экрана. Лучше если угол обзора будет составлять 30°. Кроме того должна быть возможность выбирать уровень контрастности и яркости изображения на экране. Должна предусматриваться возможность регулирования экрана.

Рабочие места с компьютерами должны размещаться так, чтобы расстояние от экрана одного монитора до тыла другого было не менее 2,0 м, а расстояние между боковыми поверхностями мониторов - не менее 1,2 м.

4.3 Микроклимат в помещении

Микроклимат производственных помещений – это климат внутренней среды помещений, который определяется действующими на организм человека сочетаниями температур воздуха и поверхностей, относительной влажности воздуха, скорости движения воздуха и интенсивности теплового излучения. Показатели микроклимата должны обеспечивать сохранение теплового баланса человека с окружающей средой и поддержание оптимального или допустимого теплового состояния организма.

Оптимальные микроклиматические при воздействии на человека в течение рабочей смены обеспечивают сохранение теплового состояния организма и не вызывают отклонений в состоянии здоровья. Допустимые микроклиматические условия могут приводить к незначительным дискомфортным тепловым ощущениям. Возможно временное (в течение рабочей смены) снижение работоспособности, без нарушения здоровья.

Нормы оптимальных и допустимых показателей микроклимата при работе с ЭВМ устанавливает СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений изложены в СанПиН 2.2.4.548-96. Все категории работ разграничиваются на основе интенсивности энергозатрат организма в ккал/ч (Вт). Работа, производимая сидя и сопровождающаяся незначительным физическим напряжением, относится к категории Ia – работа с интенсивностью энергозатрат до 120 ккал/ч (до 139 Вт). Для данной категории допустимые нормы микроклимата представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Допустимые нормы микроклимата в рабочей зоне
производственных помещений

Период года	Категория тяжести	Температура, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
		Фактическое	Допустимое	Фактическое	Допустимое	Фактическое	Допустимое
		Холодный	Ia	(20÷24)	(15÷28)	55	(15÷75)
Теплый	Ia	(23÷25)	(15÷28)	55	(15÷75)	0.1	≤ 0.2

Анализируя таблицу 1, можно сделать вывод, что в рассматриваемом помещении параметры микроклимата соответствуют нормам СанПиН. Допустимый уровень микроклимата помещения обеспечивается системой водяного центрального отопления и естественной вентиляцией.

В производственных помещениях, где допустимые нормативные величины микроклимата поддерживать не представляется возможным, необходимо проводить мероприятия по защите работников от возможного перегревания и охлаждения. Это достигается различными средствами:

- применением систем местного кондиционирования воздуха;
- использованием индивидуальных средств защиты от повышенной или пониженной температуры;

- регламентацией периодов работы в неблагоприятном микроклимате. и отдыха в помещении с микроклиматом, нормализующим тепловое состояние;
- сокращением рабочей смены и др.

Профилактика перегревания работников в нагревающем микроклимате включает следующие мероприятия: нормирование верхней границы внешней термической нагрузки на допустимом уровне применительно к 8-часовой рабочей смене; регламентация продолжительности воздействия нагревающей среды (непрерывно и за рабочую смену) для поддержания среднесменного теплового состояния на оптимальном или допустимом уровне.

4.4 Освещенность рабочей зоны

Свет является естественным условием жизни человека. Правильно спроектированное и выполненное освещение обеспечивает высокий уровень работоспособности, оказывает положительное психологическое действие на человека и способствует повышению производительности труда. На рабочей поверхности должны отсутствовать резкие тени, которые создают неравномерное распределение поверхностей с различной яркостью в поле зрения, искажает размеры и формы объектов различия, в результате повышается утомляемость и снижается производительность труда.

Существует три вида освещения: естественное – за счёт солнечного излучения, искусственное – за счёт источников искусственного света и совмещенное – освещение, включающее в себя как естественное, так и искусственное освещения. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий изложены в СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03.

Оценка освещенности рабочей зоны проводится в соответствии с СанПиНом 2.2.2/2.4.1.1340-03.

В данном рабочем помещении используется комбинированное освещение: искусственное и естественное. Искусственное освещение создается люминесцентными лампами типа ЛД.

Расчёт общего равномерного искусственного освещения горизонтальной рабочей поверхности выполняется методом коэффициента светового потока, учитывающим световой поток, отражённый от потолка и стен. Длина помещения $a = 6$ м, ширина $b = 4$ м, высота $H = 2,8$ м. Высота рабочей поверхности над полом $h_p = 0,75$ м. Интегральным критерием оптимальности расположения светильников является величина λ , которая для люминесцентных светильников с защитной решёткой лежит в диапазоне 1,1–1,3.

Выбираем лампу дневного света ЛД-40, световой поток которой равен $\Phi_{ЛД} = 2300$ Лм.

Выбираем светильники с люминесцентными лампами типа ОДОР-2-40. Этот светильник имеет две лампы мощностью 40 Вт каждая, длина светильника равна 925 мм, ширина – 265 мм.

На первом этапе определим значение индекса освещенности i .

$$i = \frac{S}{(a+b) \cdot h}, \quad (1)$$

где S – площадь помещения;

h – расчетная высота подвеса светильника, м;

a и b – длина и ширина помещения, м.

Высота светильника над рабочей поверхностью h

$$h = H - h_p - h_c = 2,8 - 0,75 - 0,3 = 1,55, \quad (2)$$

где H – высота помещения, м;

h_p – высота рабочей поверхности, м;

h_c – расстояние светильников от перекрытия (свес).

В результате проведенных расчетов, индекс освещенности i равен

$$i = \frac{S}{(a+b) \cdot h} = \frac{24}{(4+6) \cdot 1,55} = 1,5 \quad (3)$$

Расстояние между соседними светильниками или рядами определяется по формуле:

$$L = \lambda \cdot h = 1,1 \cdot 1,55 = 1,6 \text{ м} \quad (4)$$

Число рядов светильников в помещении:

$$Nb = \frac{b}{L} = \frac{4}{1,6} = 2,5 \approx 3 \quad (5)$$

Число светильников в ряду:

$$Na = \frac{a}{L} = \frac{6}{1,6} = 3,75 \approx 4 \quad (6)$$

Общее число светильников:

$$N = Na \cdot Nb = 4 \cdot 3 = 12 \quad (7)$$

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении $N = 24$.

Расстояние от крайних светильников или рядов до стены определяется по формуле:

$$l = \frac{L}{3} = \frac{1,6}{3} = 0,53 \text{ м} \quad (8)$$

Размещаем светильники в три ряда. План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами представлен на рисунке 2.

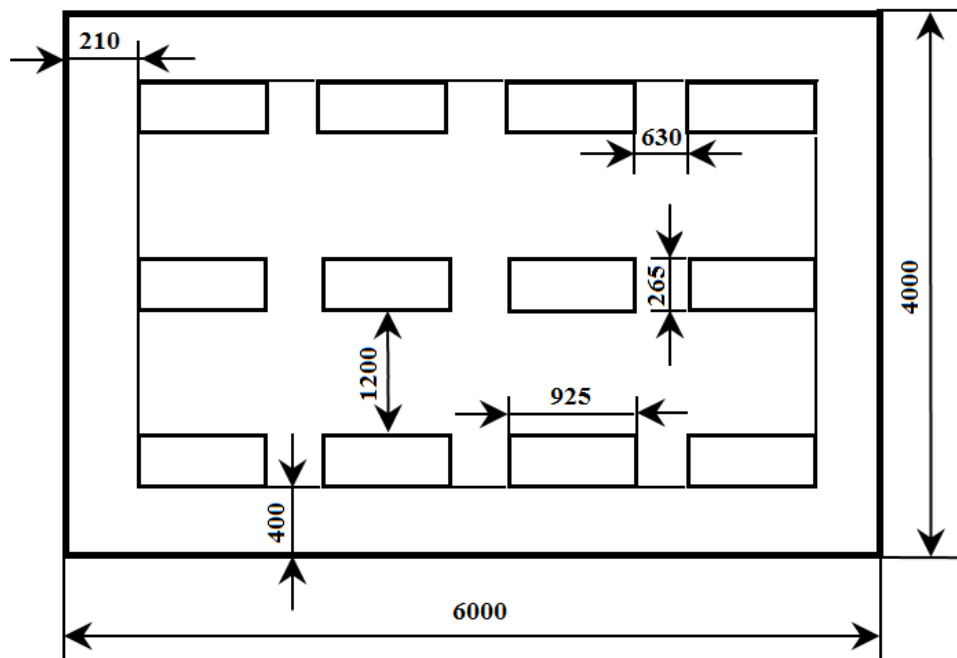


Рисунок 11 – План размещения светильников с люминесцентными лампами
(размеры указаны в мм)

Световой поток лампы определяется по формуле:

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta}, \quad (9)$$

- где E_H – нормируемая минимальная освещённость по СНиП 23-05-95, лк;
 S – площадь освещаемого помещения, м²;
 K_3 – коэффициент запаса, учитывающий загрязнение светильника (источника света, светотехнической арматуры, стен и пр., т.е. отражающих поверхностей), наличие в атмосфере цеха дыма, пыли;
 Z – коэффициент неравномерности освещения, отношение E_{cp} / E_{min} .

Для люминесцентных ламп он равен 1,1;

N – число ламп в помещении;

η – коэффициент использования светового потока.

Данное помещение относится к типу помещения со средним выделением пыли, поэтому коэффициент запаса $K_3 = 1,5$; состояние потолка –

свежепобеленный, поэтому значение коэффициента отражения потолка $\rho_n = 70\%$; состояние стен – побеленные бетонные стены, поэтому значение коэффициента отражения стен $\rho_c = 50\%$. Коэффициент использования светового потока, показывающий какая часть светового потока ламп попадает на рабочую поверхность, для светильников типа ОДОР с люминесцентными лампами при $\rho_n = 70\%$, $\rho_c = 50\%$ и индексе помещения $i = 1,5$ равен $\eta = 0,47$.

Нормируемая минимальная освещенность при использовании ЭВМ и одновременной работе с документами должна быть равна 600 лк.

$$\Phi = \frac{E_H \cdot S \cdot K_3 \cdot Z}{N \cdot \eta} = \frac{600 \cdot 24 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{24 \cdot 0,47} = 2106 \text{ Лм}$$

Для люминесцентных ламп с мощностью 40 Вт и напряжением сети 220В, стандартный световой поток ЛД равен 2300 Лм.

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

Подставляя данные, получим:

$$\frac{\Phi_{ЛД} - \Phi_{П}}{\Phi_{ЛД}} \cdot 100\% = \frac{2300 - 2106}{2300} \cdot 100\% = 8,43\%$$

$$- 10\% \leq 8,43\% \leq 20\%$$

Таким образом необходимый световой поток лампы не выходит за пределы требуемого диапазона.

4.5 Производственный шум

Вентиляция производственных помещений предназначена для уменьшения запыленности, задымленности и очистки воздуха от вредных выделений производства, а также для сохранности оборудования. Она служит одним из главных средств оздоровления условий труда, повышения

производительности и предотвращения опасности профессиональных заболеваний. Система вентиляции обеспечивает снижение содержания в воздухе помещения пыли, газов до концентрации, не превышающей ПДК. Проветривание помещения проводят, открывая форточки. Проветривание помещений в холодный период года допускается не более однократного в час, при этом нужно следить, чтобы не было снижения температуры внутри помещения ниже допустимой. Воздухообмен в помещении можно значительно сократить, если улавливать вредные вещества в местах их выделения, не допуская их распространения по помещению. Для этого используют приточно-вытяжную вентиляцию. Кратность воздухообмена не ниже 3.

Предельно допустимый уровень (ПДУ) шума – это уровень фактора, который при ежедневной (кроме выходных дней) работе, но не более 40 часов в неделю в течение всего рабочего стажа, не должен вызывать заболеваний или отклонений в состоянии здоровья, обнаруживаемых современными методами исследований в процессе работы или в отдаленные сроки жизни настоящего и последующих поколений. Соблюдение ПДУ шума не исключает нарушения здоровья у сверхчувствительных лиц.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-83 и СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002. Уровень шума на рабочем месте математиков-программистов и операторов видеоматериалов не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах - 65дБА.

При значениях выше допустимого уровня необходимо предусмотреть СКЗ и СИЗ.

1. СКЗ

- устранение причин шума или существенное его ослабление в источнике образования;
- изоляция источников шума от окружающей среды средствами звукоизоляции (бетон, кирпич, гипсокартон и другие материалы,

способные отражать звук) и звукопоглощения(стекловата, минеральная вата, многослойная панель);

- применение средств, снижающих шум на пути их распространения;

2. СИЗ

- применение спецодежды, спецобуви и защитных средств органов слуха: наушники, беруши, антифоны.

Защита от шумов – заключение вентиляторов в защитный кожух и установление их внутри корпуса ЭВМ. Для снижения уровня шума стены и потолок помещений, где установлены компьютеры, могут быть облицованы звукопоглощающими материалами с максимальными коэффициентами звукопоглощения в области частот 63 - 8000 Гц.

4.6 Электромагнитное поле

ЭМП обладает способностью биологического, специфического и теплового воздействия на организм человека, что может повлечь следующие последствия: биохимические изменения в клетках и тканях; нарушения условно-рефлекторной деятельности, снижение биоэлектрической активности мозга, изменения межнейронных связей, отклонения в эндокринной системе; вследствие перехода ЭМП в тепловую энергию может наблюдаться повышение температуры тела, локальный избирательный нагрев тканей и так далее.

Согласно СанПиН 2.2.2.542-96:

1. Напряженность электромагнитного поля на расстоянии 50 см вокруг ВДТ по электрической составляющей должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 25В/м;
- в диапазоне частот 2кГц/400кГц - 2,5В/м.

2. Плотность магнитного потока должна быть не более:

- в диапазоне частот 5Гц-2кГц - 250нТл;
- в диапазоне частот 2кГц/400кГц - 25нТл.

Защита человека от опасного воздействия электромагнитного излучения осуществляется следующими способами:

1. Применение СКЗ

- защита временем;
- защита расстоянием;
- снижение интенсивности излучения непосредственно в самом источнике излучения;
- экранирование источника;
- защита рабочего места от излучения;

2. Применение средств индивидуальной защиты (СИЗ), которые включают в себя:

- Очки и специальная одежда, выполненная из металлизированной ткани (кольчуга). При этом следует отметить, что использование СИЗ возможно при кратковременных работах и является мерой аварийного характера. Ежедневная защита обслуживающего персонала должна обеспечиваться другими средствами.
- Вместо обычных стекол используют стекла, покрытые тонким слоем золота или диоксида олова (SnO_2).

4.7 Психофизиологические факторы

Значительное умственное напряжение и другие нагрузки приводят к переутомлению функционального состояния центральной нервной системы, нервно-мышечного аппарата рук. Нерациональное расположение элементов рабочего места вызывает необходимость поддержания вынужденной рабочей позы. Длительный дискомфорт вызывает повышенное позвоночное напряжение мышц и обуславливает развитие общего утомления и снижение работоспособности.

При длительной работе за экраном дисплея появляется выраженное напряжение зрительного аппарата с появлением жалоб на неудовлетворительность работы, головные боли, усталость и болезненное ощущение в глазах, в пояснице, в области шеи, руках.

Режим труда и отдыха работника: при вводе данных, редактировании программ, чтении информации с экрана непрерывная продолжительность работы не должна превышать 4-х часов при 8-часовом рабочем дне. Через каждый час работы необходимо делать перерыв на 5-10 минут, а через два часа на 15 минут.

С целью снижения или устранения нервно-психологического, зрительного и мышечного напряжения, предупреждение переутомления необходимо проводить комплекс физических упражнений и сеансы психофизической разгрузки и снятия усталости во время регламентируемых перерывов, и после окончания рабочего дня.

4.8 Электростатическое поле

Электризация заключается в следующем: нейтральные тела, в нормальном состоянии не проявляющие электрических свойств, при условии отрицательных контактов или взаимодействий становятся электростатически заряженными. Опасность возникновения статического электричества проявляется в возможности образования электрической искры и вредном воздействии его на человеческий организм, и не только в случае непосредственного контакта с зарядом, но и за счет действий электрического поля, которое возникает при заряде. При включенном питании компьютера на экране дисплея накапливается статическое электричество. Электрический ток искрового разряда статического электричества мал и не может вызвать поражение человека. Тем не менее, вблизи экрана электризуется пыль и оседает на нем. В результате чего искажается резкость восприятия информации на

экране. Кроме того, пыль попадает на лицо работающего и в его дыхательные пути.

Основные способы защиты от статического электричества следующие: заземление оборудования, увлажнение окружающего воздуха. Также целесообразно применение полов из антистатического материала.

4.9 Электробезопасность

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

Электроустановки классифицируют по напряжению: с номинальным напряжением до 1000 В (помещения без повышенной опасности), до 1000 В с присутствием агрессивной среды (помещения с повышенной опасностью) и свыше 1000 В (помещения особо опасные).

В отношении опасности поражения людей электрическим током различают:

1. Помещения без повышенной опасности, в которых отсутствуют условия, создающие повышенную или особую опасность.
2. Помещения с повышенной опасностью, которые характеризуются наличием в них одного из следующих условий, создающих повышенную опасность: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы (металлические, земляные, железобетонные, кирпичные и т.п.), высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям, технологическим аппаратам, с одной стороны, и к металлическим корпусам электрооборудования - с другой.

3. Особо опасные помещения, которые характеризуются наличием оборудования свыше 1000 В и одного из следующих условий, создающих особую опасность: особой сырости, химически активной или органической среды, одновременно двух или более условий повышенной опасности. Территории размещения наружных электроустановок в отношении опасности поражения людей электрическим током приравниваются к особо опасным помещениям.

Помещение, где была разработана бакалаврская работа, принадлежит к категории помещений без повышенной опасности по степени вероятности поражения электрическим током, вследствие этого к оборудованию предъявляются следующие требования:

- экран монитора должен находиться на расстоянии не менее 50 см от пользователя (расстояния от источника);
- применение приэкранных фильтров, специальных экранов.

Защитное заземление — это преднамеренное электрическое соединение с землей или ее эквивалентом металлических нетоковедущих частей, которые могут оказаться под напряжением.

Сопротивление заземления — основной показатель заземляющего устройства, определяющий его способность выполнять свои функции и определяющий его качество в целом.

Сопротивление заземления зависит от площади электрического контакта заземлителя (заземляющих электродов) с грунтом (“стекание” тока) и удельного электрического сопротивления грунта, в котором смонтирован этот заземлитель (“впитывание” тока). Согласно ПЭУ, изложенным в ГОСТ 12.1.030-81 номинальное сопротивление заземления должно быть не более 4 Ом, ток не более 0.1 А и напряжение 12-36 В.

К основным электрозащитным средствам в электроустановках напряжением до 1000 В относятся:

- изолирующие штанги;

- изолирующие и электроизмерительные клещи;
- диэлектрические перчатки; изолированный инструмент.

Работать со штангой разрешается только специально обученному персоналу в присутствии лица, контролирующего действия работающего. При операциях с изолирующей штангой необходимо пользоваться дополнительными изолирующими защитными средствами – диэлектрическими перчатками и изолирующими основаниями (подставками, ковриками) или диэлектрическими ботами.

Перед началом работы следует убедиться в отсутствии свешивающихся со стола или висящих под столом проводов электропитания, в целостности вилки и провода электропитания, в отсутствии видимых повреждений аппаратуры и рабочей мебели, в отсутствии повреждений и наличии заземления приэкранный фильтра.

4.10 Пожарная безопасность

По взрывопожарной и пожарной опасности помещения подразделяются на категории А, Б, В1 - В4, Г и Д, а здания - на категории А, Б, В, Г и Д. По пожарной опасности наружные установки подразделяются на категории A_n , B_n , B_n , Γ_n и D_n .

Согласно НПБ 105-03 класс или офисное помещение относится к категории В - горючие и трудногорючие жидкости, твердые горючие и трудногорючие вещества и материалы (в том числе пыли и волокна), вещества и материалы, способные при взаимодействии с водой, кислородом воздуха или друг с другом только гореть, при условии, что помещения, в которых они имеются в наличии или обращаются, не относятся к категориям А или Б. По степени огнестойкости данное помещение относится к 1-й степени огнестойкости по СНиП 2.01.02-85 (выполнено из кирпича, которое относится к трудно сгораемым материалам). Возникновение пожара при работе с

электронной аппаратурой может быть по причинам как электрического, так и неэлектрического характера. Основной причиной возникновения пожара неэлектрического характера в офисном помещении может стать халатное неосторожное обращение с огнем (курение, оставленные без присмотра нагревательные приборы, использование открытого огня). Причины возникновения пожара электрического характера: короткое замыкание, перегрузки по току, искрение и электрические дуги, статическое электричество и т. п.

Согласно общим требованиям пожарной безопасности по ГОСТ 12.1.004-91 для устранения причин возникновения пожаров в помещении должны проводиться следующие мероприятия:

- а) использование только исправного оборудования;
- б) проведение периодических инструктажей по пожарной безопасности;
- в) назначение ответственного за пожарную безопасность помещений;
- г) издание приказов по вопросам усиления пожарной безопасности
- д) отключение электрооборудования, освещения и электропитания по окончании работ;
- е) курение в строго отведенном месте;
- ж) содержание путей и проходов для эвакуации людей в свободном состоянии.

Для локализации или ликвидации загорания на начальной стадии используются первичные средства пожаротушения. Первичные средства пожаротушения обычно применяют до прибытия пожарной команды.

Воздушно-пенные огнетушители очагов пожара, без наличия электроэнергии. Углекислотные и порошковые огнетушители предназначены для тушения электроустановок, находящихся под напряжением до 1000 В. Кроме того, порошковые применяют для тушения документов.

Для тушения токоведущих частей и электроустановок применяется переносной порошковый закачной огнетушитель ОП-3. Тушение

электроустановок нужно производить на расстоянии не менее 1 метра (имеется в виду расстояние от сопла огнетушителя до токоведущих частей). Зарядку порошковых огнетушителей следует производить один раз в пять лет. При возникновении необходимости ремонта или зарядки, следует обращаться в специализированные фирмы.

В общественных зданиях и сооружениях на каждом этаже должно размещаться не менее двух переносных огнетушителей. Огнетушители следует располагать на видных местах вблизи от выходов из помещений на высоте не более 1,35 м. Размещение первичных средств пожаротушения в коридорах, переходах не должно препятствовать безопасной эвакуации людей.

Здание должно соответствовать требованиям пожарной безопасности, а именно, наличие охранно-пожарной сигнализации, плана эвакуации, порошковых огнетушителей с поверенным клеймом, табличек с указанием направления к запасному (эвакуационному) выходу (Приложение А).

4.11 Охрана окружающей среды

Охрана окружающей среды – это комплексная проблема и наиболее активная форма её решения - это сокращение вредных выбросов промышленных предприятий через полный переход к безотходным или малоотходным технологиям производства.

С точки зрения потребления ресурсов компьютер потребляет сравнительно небольшое количество электроэнергии, что положительным образом сказывается на общей экономии потребления электроэнергии в целом.

Основными отходами при выполнении данной бакалаврской работы являются черновики бумаги, отработавшие люминесцентные лампы и картриджи. Израсходованная бумага не содержала никаких закрытых сведений, поэтому была направлена на утилизацию без использования shreddera, а

люминесцентные лампы собраны и направлены на утилизацию в соответствующую организацию. Израсходованные картриджи аналогично были разобраны на отдельные комплектующие (пластик, винты, графит и т.д.) и были отправлены в соответствующие организации.

4.12 Защита в чрезвычайных ситуациях

В Томске преобладает континентально-циклонический (переходный от европейского умеренно континентального к сибирскому резко континентальному) климат. Природные явления (землетрясения, наводнения, засухи, ураганы и т. д.) отсутствуют. Возможными ЧС могут быть сильные морозы и диверсия.

Для Сибири в зимнее время года характерны морозы. Достижение критически низких температур приведет к авариям систем теплоснабжения и жизнеобеспечения, приостановке работы, обморожениям и даже жертвам среди населения. В случае переморозки труб должны быть предусмотрены запасные обогреватели. Их количества и мощности должно хватать для того, чтобы работа на производстве не прекратилась. Кроме того, необходимо иметь альтернативные источники тепла, электроэнергии и транспорта.

Чрезвычайные ситуации, возникающие в результате диверсий, возникают все чаще. Зачастую такие угрозы оказываются ложными. Но случаются взрывы и в действительности.

Для предупреждения вероятности осуществления диверсии предприятие необходимо оборудовать системой видеонаблюдения, круглосуточной охраной, пропускной системой, надежной системой связи, а также исключения распространения информации о системе охраны объекта, расположении помещений и оборудования в помещениях, системах охраны, сигнализаторах, их местах установки и количестве. Должностные лица раз в полгода проводят тренировки по отработке действий на случай экстренной эвакуации.

4.13 Перечень нормативно-технической документации

1. СанПиН 2.2.4.548-96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
2. СанПиН 2.2.1/2.1.1.1278-03. Гигиенические требования к естественному, искусственному и совмещенному освещению жилых и общественных зданий.
3. СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы.
4. СанПиН 2.2.2.542-96 Гигиенические требования к видеодисплейным терминалам, персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы
5. СНиП 23-05-95 Естественное и искусственное освещение
6. СанПиН 2.2.4/2.1.8.10-32-2002 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки
7. ГОСТ 12.1.003-83 ШУМ. Общие требования безопасности
8. ГОСТ Р 12.1.019-2009. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
9. ГОСТ 12.1.030-81. Электробезопасность. Защитное заземление. Зануление.
10. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования
11. СНиП 21-01-97 Пожарная безопасность зданий и сооружений
12. ГОСТ 30775-2001 Ресурсосбережение. Обращение с отходами. Классификация, идентификация и кодирование отходов.

4.14 Выводы и рекомендации

Проанализировав условия труда на рабочем месте, где была разработана бакалаврская работа, можно сделать вывод, что помещение удовлетворяет необходимым нормам и в случае соблюдения техники безопасности и правил пользования компьютером работа в данном помещении не приведет к ухудшению здоровья работника.

Само помещение и рабочее место в нем удовлетворяет всем нормативным требованиям. Кроме того, действие вредных и опасных факторов сведено к минимуму, т.е. микроклимат, освещение и электробезопасность соответствуют требованиям, предъявленным в соответствующих нормативных документах.

Относительно рассмотренного вопроса об экологической безопасности можно сказать, что деятельность помещения не представляет опасности окружающей среде.

Важно добавить, что монитор компьютера служит источником ЭМП – вредного фактора, который отрицательно влияет на здоровье работника при продолжительной непрерывной работе и приводит к снижению работоспособности. Поэтому во избежание негативного влияния на здоровье необходимо делать перерывы при работе с ЭВМ и проводить специализированные комплексы упражнений для глаз.

5. Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

5.1 Потенциальные потребители результатов исследования

Для анализа потребителей результатов исследования необходимо рассмотреть целевой рынок и провести его сегментирование.

Целевой рынок – сегменты рынка, на котором будет продаваться в будущем разработка. В свою очередь, сегмент рынка – это особым образом выделенная часть рынка, группы потребителей, обладающих определенными общими признаками.

Потенциальные потребители результатов исследования:

- физические лаборатории и коллаборации имеющие фотоэлектронные умножители в составе своих экспериментальных установок.

5.2 Анализ конкурентных решений

Оценка энергии, выделенной в детекторе, связанном с фотоэлектронным умножителем, может производиться умножением соответствующей калибровочной константы на:

- значение пика сэмплированной амплитуды напряжения на фотоумножителе;
- площадь под модельной кривой, аппроксимирующей сэмплы амплитудного профиля напряжения на фотоумножителе.

Метод оценки с помощью модельной кривой является более точной и позволяет обрабатывать даже, так называемые, pile-up события (что уменьшает долю отбракованных в процессе анализа событий), но требует непопулярных, для большинства экспериментов, временных затрат. Поэтому метод, использующий значение пика амплитуды, является наиболее распространённым по причине его скорости.

В работе предложен подход для ускорения вычисления параметров модельной кривой, позволяющий сделать метод модельной кривой достаточно быстрым для реального применения и при этом сохранить его преимущества.

Сравнение моделей представлено в Таблице 2, где K_1 – метод использующий значение пика, а K_2 — метод, использующий модельную кривую, Φ — предложенная в работе модификация K_2 . Для оценочной карты были выбраны следующие критерии:

- скорость вычислений;
- доля отбракованных событий;
- точность оценки;

Таблица 2 – Оценочная карта для сравнения конкурентных решений

Критерии оценки	Вес критерия	Баллы			Конкурентоспособность		
		Ф	К ₁	К ₂	Ф	К ₁	К ₂
Критерии оценки эффективности							
Скорость вычислений	0,5	4	5	1	2	2,5	0,5
Доля отбракованных событий	0,3	4	2	5	1,2	0,6	1,5
Точность оценки	0,2	4	3	5	0,8	0,6	1
Итого:	1	17	11	16	4	3,7	3

Таким образом, можно сделать вывод, что оптимизированный метод модельной кривой является наиболее предпочтительным.

5.3 SWOT-анализ

SWOT-анализ представляет собой сводную таблицу, иллюстрирующую связь между внутренними и внешними факторами компании. Целью SWOT-анализа является предоставление возможности оценки риска и конкурентоспособности компании или товара в данной отрасли производства.

Методика SWOT-анализа необходима, для того, чтобы определить наиболее прозрачное на положение компании, продукции или услуги в данной отрасли.

Таблица 3 – Матрица SWOT-анализа

	Сильные стороны	Слабые стороны
	<p>С1. Возможность применения метода при обработке событий в реальном времени</p> <p>С2. Низкая, в сравнении с применяющимся в эксперименте методом, доля отбракованных</p>	<p>Сл1. Необходимость в этапе обучения модели.</p> <p>Сл2. Отсутствие реализации модели, позволяющей немедленную интеграцию с используемым потенциальными</p>

	событий	потребителями ПО.
Возможности В1. Использование модели в обработке данных экспериментов проводимых в ЦЕРН	Скорость обработки делает метод применимым для реального анализа, а понижение числа отбракованных событий позволит уменьшить, необходимое для набора заданного объема данных, время	Научные коллективы ЦЕРН имеют ресурсы необходимые для интеграции прототипа и для проведения эффективного обучения модели.
Угрозы У1. Нежелание возможных потребителей вносить изменения в свой процесс обработки данных	Наглядный успех при использовании метода в эксперименте NA64 может переубедить потенциальных потребителей	Успешное применение прототипа в эксперименте NA64, может убедить другие научные коллективы в необходимости самостоятельной интеграции нашего прототипа в используемое ими ПО

5.4 Планирование научно-исследовательских работ

5.4.1 Структура работ в рамках научного исследования

Планирование выполнения комплекса работ по ВКР 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 работы должна быть сформирована рабочая группа, в состав которой входит научный руководитель проекта (НР) и инженер (И). После чего, в рамках проведения научного исследования, необходимо было выполнить ряд основных этапов, представленных в Таблице 4.

Таблица 4 – Комплекс работ по разработке проекта

Основные этапы	№ раб.	Содержание работ	Должность исполнителей
Подготовительный	1	Составление и утверждение задания ВКР	И, НР
	2	Календарное планирование работ по теме	И
	3	Подбор и изучение материалов по теме	И
Исследование и анализ предметной области	4	Анализ исходных данных	И
	5	Выбор метода выполнения работ	И, НР
Теоретические и экспериментальные исследования	6	Написание программы	И
	7	Тестирование программы	И
Обобщение и оценка результатов	8	Анализ полученных результатов работы	И, НР
	9	Составление отчета по работе	И

5.4.2 Определение трудоемкости выполнения работ

Трудовые затраты в большинстве случаев образуют основную часть стоимости разработки, поэтому важным моментом является определение трудоемкости работ каждого из участников научного исследования.

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 выполнения заданной i -ой работы (пессимистическая оценка: в предположении наиболее неблагоприятного стечения обстоятельств), чел.-дн.

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

$$T_{p_i} = \frac{t_{ожі}}{Ч_i},$$

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

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

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

5.4.3 Разработка графика проведения научного исследования

Одним из наиболее удобных и наглядных способов представления календарного плана работы является построение ленточного графика проведения ВКР в форме диаграммы Ганта.

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

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

$$T_{k_i} = T_{p_i} k_{\text{кал}},$$

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

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

$k_{\text{кал}}$ – коэффициент календарности, который определяется по следующей формуле:

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

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

$T_{\text{вых}}$ – количество выходных дней в году (52 дня при шестидневной рабочей неделе);

$T_{\text{пр}}$ – количество праздничных дней в году (14).

Таким образом, коэффициент календарности $k_{\text{кал}}$ равен 1,23. Временные показатели проведения научной работы представлены на Таблице 5.

Таблица 5 – Временные показатели проведения научной работы



№ раб.	Трудоемкость работ, чел-дни			Исполнители	T_{p_i}	T_{k_i}
	t_{mini}	t_{maxi}	$t_{\text{ожі}}$			

1	1	5	3	И, НР	1	1
2	2	3	2	И	2	3
3	20	25	22	И	22	27
4	15	20	17	И	17	21
5	1	3	2	И, НР	1	1
6	15	25	19	И	19	23
7	2	7	4	И	4	5
8	5	7	6	И, НР	3	4
9	7	10	8	И	8	10

Таблица 6 – Календарный план-график проведения работ

№ раб.	Наименование работы	Исполнители	Т _{кз} , кал-дн	Продолжительность выполнения работ, дни															
				Март			Апрель			Май									
				10	10	10	10	10	10	10	10	10							
1	Составление и утверждение задания ВКР	И, НР	1	■															
2	Календарное планирование работ по теме	И	3	■															
3	Подбор и изучение материалов по теме	И	27	■															
4	Анализ исходных данных	И	21			■													
5	Выбор	И,	1							■									

	метода выполнения работ	НР											
6	Написание программы	И	23										
7	Тестирование программы	И	5										
8	Анализ результатов работы	И, НР	4										
9	Составление отчета по работе	И	10										

-  - Научный руководитель
 - Инженер

5.5 Бюджет научно-исследовательского проекта

При планировании бюджета научно-исследовательского проекта должно быть обеспечено полное и достоверное отражение всех видов расходов, связанных с его выполнением. Определение полных затрат на выполнение ВКР производится путем суммирования расходов по следующим статьям:

- материальные затраты;
- основная заработная плата исполнителей;
- дополнительная заработная плата исполнителей;
- отчисления во внебюджетные фонды (страховые отчисления);
- услуги сторонних организаций;
- накладные расходы.

5.5.1 Расчет материальных затрат

Покажем отражение стоимости всех материалов, используемых при разработке проекта, включая расходы на их приобретение и, при необходимости, доставку. Расчет затрат на материалы производится по форме, приведенной в Таблице 7.

Таблица 7 – Материальные затраты

Наименование	Единица измерения	Количество	Цена за ед., руб.	Сумма, руб.
Бумага	пачка	1	300	300
Картридж для принтера	шт.	1	6000	6000
Канцелярские принадлежности	шт.	1	300	300
Итого				6600

5.5.2 Расчет заработной платы для исполнителей

В данной статье расходов планируется и учитывается основная заработная плата исполнителей, непосредственно участвующих в проектировании выпускной квалификационной работы:

$$Z_{зп} = Z_{осн} + Z_{доп},$$

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

$Z_{доп}$ – дополнительная заработная плата.

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

$$Z_{осн} = Z_{дн} \cdot T_p,$$

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

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

Среднедневная заработная плата рассчитывается по формуле:

$$Z_{дн} = \frac{Z_m \cdot M}{F_d},$$

где F_d – действительный годовой фонд рабочего времени научно-технического персонала, раб. дн. (Таблица 8);

M – количество месяцев работы без отпуска в течение года: при отпуске в 48 раб. дней

$M=10,4$ месяца, 6-дневная неделя;

Z_m – месячный должностной оклад работника, руб.

Таблица 8. Баланс рабочего времени

Показатели рабочего времени	Научный руководитель	Инженер
Календарное число дней	365	365
Количество нерабочих дней: <ul style="list-style-type: none"> • выходные дни и праздничные дни 	66	66
Потери рабочего времени <ul style="list-style-type: none"> • отпуск • невыходы по болезни 	52	52
Действительный годовой фонд рабочего времени	248	248

Месячный должностной оклад работника:

$$З_m = З_{тс} \cdot (1 + k_{пр}) \cdot k_p,$$

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

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

k_p – районный коэффициент, равный 1,3 г.Томск.

Таблица 9. Расчет основной заработной платы

Исполнители	$З_{ок}$, руб	$k_{пр}$	k_p	$З_m$, руб	$З_{дн}$, руб	T_p , дн	$З_{осн}$, руб
Руководитель	14874	0,3	1,3	25137,06	1054,13	5	5270,68
Инженер	9893	0,3	1,3	16719,17	701,13	77	53986,74

5.5.3 Отчисления во внебюджетные фонды

Отчисления во внебюджетные фонды являются обязательными по установленным законодательством Российской Федерации нормам органам государственного социального страхования (ФСС), пенсионного фонда (ПФ) и медицинского страхования (ФФОМС) от затрат на оплату труда работников.

Величина отчислений во внебюджетные фонды определяется исходя из следующей формулы:

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

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

В соответствии с Федеральным законом от 24.07.2009 №212-ФЗ установлен размер страховых взносов равный 30%. На основании пункта 1 ст.58 закона №212-ФЗ для

учреждений осуществляющих образовательную и научную деятельность водится пониженная ставка – 27,1%.

Отчисления во внебюджетные фонды представлены в Таблице 9.

Таблица 9 – Отчисления во внебюджетные фонды

Исполнитель	Основная заработная плата, руб.
Научный руководитель	5270,68
Инженер	53986,74
Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды	0,271
Отчисления во внебюджетные фонд	
Научный руководитель	1428,35
Инженер	14630,41
Итого отчислений во внебюджетные фонды	16058,76

5.5.4 Услуги сторонних организаций и накладные расходы

Накладные расходы учитывают прочие затраты организации, не попавшие в предыдущие статьи расходов: печать и ксерокопирование материалов исследования, оплата услуг связи, электроэнергии, почтовые и телеграфные расходы, размножение материалов и т.д. Рассчитаем затраты на электроэнергию, потребляемую оборудованием. Компьютер потребляет примерно 220 Вт, учитывая 6 часов в день непрерывной работы с компьютером получаем, что затраченная электроэнергия составила $33,6 \cdot 6 \cdot 77 = 15523 \text{Вт} \cdot \text{ч}$, по стоимости $15,52 \cdot 5,8 = 90,03 \text{руб.}$

5.5.5 Формирование бюджета затрат НИИ

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 научно-исследовательский проект приведен в Таблице 10.

Таблица 10 – Расчет бюджета затрат НИИ

Наименование статьи	Сумма, руб.
----------------------------	--------------------

Материальные затраты	6600
Основная заработная плата	59257,42
Отчисления во внебюджетные фонды	16058,76
Накладные расходы	90,03
Бюджет затрат НИИ	76066,21

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

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

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

Интегральный финансовый показатель разработки определяется как:

$$I_{\text{финр}}^{\text{исп.}i} = \frac{\Phi_{\text{pi}}}{\Phi_{\text{max}}},$$

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

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

Φ_{max} – максимальная стоимость исполнения научно-исследовательского проекта (в т.ч. аналоги). За максимально возможную стоимость исполнения примем 150000 руб.

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

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

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

a_i – весовой коэффициент i -го варианта исполнения разработки;

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

n – число параметров сравнения.

Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности представлен в Таблице 10.

Таблица 11 – Расчет интегрального показателя ресурсоэффективности.

Критерии	Весовой коэффициент параметра	Оценка	Максимальная оценка
Скорость обработки данных	0,3	5	5
Наличие этапа обучения	0,1	3	5
Возможность интеграции в используемое ПО	0,25	4	5
Конкурентоспособность (с другими моделями)	0,2	4	5
Возможность применения в любом эксперименте с ФЭУ	0,15	5	5
ИТОГО:	1	4,25	5

Интегральный показатель эффективности вариантов исполнения разработки ($I_{исп.i}$) определяется на основании интегрального показателя ресурсоэффективности и интегрального финансового показателя по формуле:

$$I_{исп.1} = \frac{I_{р-исп1}}{I_{финр.1}}, \quad I_{исп.2} = \frac{I_{р-исп2}}{I_{финр.2}} \text{ и т.д.}$$

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

$$\mathcal{E}_{ср} = \frac{I_{исп.1}}{I_{исп.2}}$$

Так как исследование выполнено в одном варианте исполнения, рассчитаем интегральный показатель эффективности относительно максимально возможного варианта. Сравнительная эффективность разработки представлена в Таблице 12.

Таблица 12 – Сравнительная эффективность разработки

Показатели	Исп. 1	Исп. max
Интегральный финансовый показатель	0,577	1
Интегральный показатель ресурсоэффективности разработки	4,25	5
Интегральный показатель эффективности	7,37	5
Сравнительный показатель эффективности	1,47	

Сравнение значений интегральных показателей эффективности позволяет понять и выбрать более эффективный вариант решения поставленной в бакалаврской работе технической задачи с позиции финансовой и ресурсной эффективности.

Заключение

В рамках проделанной работы были решены следующие задачи:

1) Разработан генератор синтетических данных для упрощения процесса сравнения качества применяемых моделей.

2) Получена оценка времени выполнения приближения экспериментальных данных методом наименьших квадратов, а также среднеквадратичная невязка реконструкции исходных сигналов модельной функцией.

3) Разработаны и обучены нейросетевые модели (многослойный перцептрон и сверточная нейронная сеть), предсказывающие параметры модельной функции, аппроксимирующей экспериментальные данные. Получены оценки времени обучения, предсказания, а также среднеквадратичная невязка реконструкции исходных сигналов модельной функцией.

4) На основе полученных результатов, сделан вывод о допустимости применения многослойного перцептрона для оценки параметров аппроксимирующей функции.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Bishop C. M. [и др.]. Fast curve fitting using neural networks // Review of Scientific Instruments. 1992. Т. 63. С. 4450–4456.
2. Proposal for an Experiment to Search for Light Dark Matter at the SPS / S Andreas, SV Donskov, P Crivelli [и др.] // arXiv preprint arXiv:1312.3309. 2013.
3. Gninenko SN. Search for MeV dark photons in a light-shining-through-walls experiment at CERN // Physical Review D. 2014. Т. 89, № 7. с. 075008.
4. New fixed-target experiments to search for dark gauge forces / James D Bjorken, Rouven Essig, Philip Schuster [и др.] // Physical Review D. 2009. Т. 80, № 7. с. 20.
5. Kiefer J., J. Wolfowitz. Stochastic Estimation of the Maximum of a Regression Function // The Annals of Mathematical Statistics. 1952. Т. 23, № 3. С. 462–466.
6. Lipton Zachary Chase. A Critical Review of Recurrent Neural Networks for Sequence Learning // CoRR. 2015. Т. abs/1506.00019. URL: <http://arxiv.org/abs/1506.00019>.
7. Hochreiter Sepp, Schmidhuber Jürgen. Long Short-term Memory // Neural Computation. 1997. Т. 9. с. 1735.
8. Hochreiter Sepp, Schmidhuber Jürgen. Convolutional networks for images, speech, and time series // The handbook of brain theory and neural networks. 1998. С. 255–258.
9. Optimal Pulse Processing, Pile-Up Decomposition, and Applications of Silicon Drift Detectors at LCLS / G. Blaj, C. J. Kenney, A. Dragone [и др.] // IEEE Transactions on Nuclear Science. 2017. Nov. Т. 64, № 11. С. 2854–2868.
10. Dropout: A Simple Way to Prevent Neural Networks from Overfitting / Nitish Srivastava, Geoffrey Hinton, Alex Krizhevsky [и др.] // Journal of Machine Learning Research. 2014. Т. 15. С. 1929–1958. URL: <http://jmlr.org/papers/v15/srivastava14a.html>.

**Приложение А. Листинг программы, генерирующей
синтетические данные**

```
import numpy as np

a_min = 0
a_max = 4095
t0_m = 10
t0_s = 2
td_min = 3
td_max = 7
ts_min = 0.1
ts_max = 0.4
N_train = 10**6
N_test = 10**5
def f(t, a, t0, td, ts):
    delta = t - t0
    return a*np.exp(-delta/td)/(1+ np.exp(-delta/ts))

def make_data(n, a_gen, t0_gen, td_gen, ts_gen):

    a = a_gen(n)
    t0 = t0_gen(n)
    td = td_gen(n)
    ts = ts_gen(n)
    y = np.concatenate([a, t0, td, ts], axis=1)
    x = np.apply_along_axis(arr=y, axis=1, func1d=lambda x: f(1
    x = x.reshape((-1,32,1))
    return (x,y)
a_gen = lambda n: np.random.uniform(a_min, a_max, (n,1))
t0_gen = lambda n: np.random.normal(t0_m, t0_s, (n,1))
td_gen = lambda n: np.random.uniform(td_min, td_max, (n,1))
```

```
ts_gen = lambda n: np.random.uniform(ts_min,ts_max,(n,1))

x_train, y_train = make_data(N_train,a_gen,t0_gen,td_gen,ts_gen)

np.save('./data/x_train',x_train)
np.save('./data/y_train',y_train)
x_test, y_test = make_data(N_test,a_gen,t0_gen,td_gen,ts_gen)

np.save('./data/x_test',x_test)
np.save('./data/y_test',y_test)
```

**Приложение Б. Листинг программы для обучения
многослойного персептрона**

```
import numpy as np
import keras
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout
from keras.optimizers import Adam

batch_size = 128
num_output = 4
epochs = 20

# the data, split between train and test sets
x_train = np.load('data/x_train.npy')
y_train = np.load('data/y_train.npy')
x_test = np.load('data/x_test.npy')
y_test = np.load('data/y_test.npy')
x_train = x_train.reshape((-1,32))
x_test = x_test.reshape((-1,32))
x_train /= 4095
x_test /= 4095
min_y = y_train.min(axis=0)
max_y = y_train.max(axis=0)
y_train -= min_y
y_train /= max_y
y_test -= min_y
y_test /= max_y

print(x_train.shape[0], 'train samples')
print(x_test.shape[0], 'test samples')
```



```

model = Sequential()
model.add(Dense(64, activation='relu', input_shape=(32,)))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(128, activation='relu', input_shape=(32,)))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(256, activation='relu', input_shape=(32,)))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(128, activation='relu'))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(num_output))

model.summary()

model.compile(loss='mean_squared_error',
              optimizer=Adam())

history = model.fit(x_train, y_train,
                    batch_size=batch_size,
                    epochs=epochs,
                    verbose=1,
                    validation_data=(x_test, y_test))
score = model.evaluate(x_test, y_test, verbose=0)
print('Test loss:', score)
model.save('models/mlp.h5')
from keras.utils import plot_model
plot_model(model, to_file='models/mlp.png')

```

Приложение В. Листинг для обучения сверточной нейронной сети.

```
import numpy as np
import keras
from keras.models import Sequential
from keras.layers import Dense, Dropout, Conv1D, GlobalMaxPooling
from keras.optimizers import Adam

batch_size = 128
num_output = 4
epochs = 20
filters = 32
kernel_size = 3
hidden_dims = 250

# the data, split between train and test sets
x_train = np.load('data/x_train.npy')
y_train = np.load('data/y_train.npy')
x_test = np.load('data/x_test.npy')
y_test = np.load('data/y_test.npy')

print(x_train.shape[0], 'train samples')
print(x_test.shape[0], 'test samples')

model = Sequential()
model.add(Conv1D(filters,
                 kernel_size,
                 padding='valid',
                 activation='relu',
                 strides=1, input_shape=(32,1,))
)
```

```
model.add(GlobalMaxPooling1D())

model.add(Dense(hidden_dims))
model.add(Dropout(0.2))
model.add(Dense(num_output))

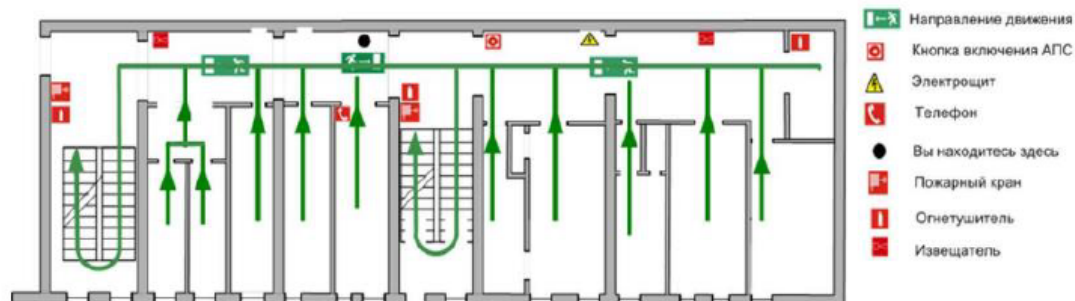
model.summary()

model.compile(loss='mean_squared_error',
              optimizer=Adam())

history = model.fit(x_train, y_train,
                   batch_size=batch_size,
                   epochs=epochs,
                   verbose=1,
                   validation_data=(x_test, y_test))
score = model.evaluate(x_test, y_test, verbose=0)
print('Test loss:', score)
model.save('models/cnn.h5')
```

Приложение Г. План эвакуации в случае пожара

ПЛАН ЭВАКУАЦИИ 2-го этажа



Действия при пожаре Сохранять спокойствие

1	Сообщить по телефону		<ul style="list-style-type: none"> • Адрес объекта • Место возникновения пожара • Свою фамилию
2	Эвакуировать людей		<ul style="list-style-type: none"> • Ориентироваться по знакам направления движения • Взять с собой пострадавших
3	По возможности принять меры по тушению пожара		<ul style="list-style-type: none"> • Использовать средства противопожарной защиты • При необходимости обеспечить помещение

Ответственный за эвакуацию и включение системы оповещения