

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

Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки 09.04.02 «Информационные системы и технологии»  
 Отделение информационных технологий

### МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

Тема работы
Разработка библиотеки нейросетевого распознавания рукописных символов на машинопечатаемых бланках

УДК 004.93:004.032.26:372.277.2

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич		

Руководитель

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ ИШИТР	Иванова Юлия Александровна	к.т.н.		

Консультант

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель ОИТ ИШИТР	Лепустин Алексей Владимирович			

### КОНСУЛЬТАНТЫ ПО РАЗДЕЛАМ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Конотопский Владимир Юрьевич	к. э. н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД ШБИП	Горбенко Михаил Владимирович	к. т. н.		

### ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

Руководитель ООП	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
09.04.02 "Информационные системы и технологии", профиль "Геоинформационные системы"	Шерстнев Владислав Станиславович	к. т. н., доцент		

## ЗАПЛАНИРОВАННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ООП

Код результатов	Результат обучения (выпускник должен быть готов)
<b>Общепрофессиональные компетенции</b>	
P1	Воспринимать и самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте.
P2	Владеть и применять методы и средства получения, хранения, переработки и трансляции информации посредством современных компьютерных технологий, в том числе в глобальных компьютерных сетях.
P3	Демонстрировать культуру мышления, способность выстраивать логику рассуждений и высказываний, основанных на интерпретации данных, интегрированных из разных областей науки и техники, выносить суждения на основании неполных данных, анализировать профессиональную информацию, выделять в ней главное, структурировать, оформлять и представлять в виде аналитических обзоров с обоснованными выводами и рекомендациями.
P4	Анализировать и оценивать уровни своих компетенций в сочетании со способностью и готовностью к саморегулированию дальнейшего образования и профессиональной мобильности. Владеть, по крайней мере, одним из иностранных языков на уровне социального и профессионального общения, применять специальную лексику и профессиональную терминологию языка.
<b>Профессиональные компетенции</b>	
P5	Разрабатывать стратегии и цели проектирования, критерии эффективности и ограничения применимости, новые методы, средства и технологии проектирования геоинформационных систем (ГИС) или промышленного программного обеспечения.
P6	Планировать и проводить теоретические и экспериментальные исследования в области создания интеллектуальных ГИС и ГИС технологии или промышленного программного обеспечения с использованием методов системной инженерии.
P7	Осуществлять авторское сопровождение процессов проектирования, внедрения и сопровождения ГИС и ГИС технологий или промышленного программного обеспечения с использованием методов и средств системной инженерии, осуществлять подготовку и обучение персонала.
P8	Формировать новые конкурентоспособные идеи в области теории и практики ГИС и ГИС технологий или системной инженерии программного обеспечения. Разрабатывать методы решения нестандартных задач и новые

	методы решения традиционных задач. Организовывать взаимодействие коллективов, принимать управленческие решения, находить компромисс между различными требованиями как при долгосрочном, так и при краткосрочном планировании.
<b>Общекультурные компетенции</b>	
Р9	Использовать на практике умения и навыки в организации исследовательских, проектных работ и профессиональной эксплуатации современного оборудования и приборов, в управлении коллективом.

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии  
 Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:  
 Руководитель ООП

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

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

В форме:

<b>магистерской диссертации</b> <small>(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)</small>
--

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич

Тема работы:

<b>Разработка библиотеки нейросетевого распознавания рукописных символов на машинопечатаемых бланках</b>	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	28.02.2020, № 59-47/с

Срок сдачи студентом выполненной работы:

--	--

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:**

<b>Исходные данные к работе</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Информационная система «Репетитор»</li> <li>• База данных, используемая информационной системой с описанием</li> <li>• Машиночитаемые бланки</li> </ul>
---------------------------------	--

<b>Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Исследование алгоритмов распознавания символов русского алфавита, а также цифр минусов и запятых</li> <li>Разработка библиотеки нейросетевого распознавания рукопечатного текста</li> </ul>
---	--

<b>Перечень графического материала</b>	Бланки участников экзамена
--	----------------------------

**Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы**  
(с указанием разделов)

Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Конотопский Владимир Юрьевич
Социальная ответственность	Горбенко Михаил Владимирович

**Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:**

Обзор существующих методов распознавания
Реализация методов распознавания на основе сверточной нейронной сети

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

**Задание выдал руководитель / консультант (при наличии):**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Иванова Юлия Александровна	к.т.н.		
Старший преподаватель ОИТ	Лепустин Алексей Владимирович			

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич		

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

Школа Инженерная школа информационных технологий и робототехники  
 Направление подготовки (специальность) 09.04.02 Информационные системы и технологии

Уровень образования магистратура

Отделение школы (НОЦ) Отделение информационных технологий

Период выполнения (осенний / весенний семестр 2019/2020 учебного года)

Форма представления работы:

магистерская диссертация
--------------------------

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

### КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	
--	--

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
03.09.2019	Постановка целей и задач, получение исходных данных	5
13.09.2019	Ознакомление с предметной областью	5
07.10.2019	Составление и утверждение ТЗ	5
25.11.2019	Подбор и изучение материалов по тематике	10
13.01.2020	Подготовка обучающей выборки	10
05.02.2020	Подбор архитектуры нейронных сетей	10
28.02.2020	Обучение нейронных сетей	10
13.03.2020	Реализация модуля распознавания	10
27.03.2020	Тестирование и отладка модуля распознавания	10
30.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	5
03.06.2020	Социальная ответственность	5
06.06.2020	Обязательное приложение на иностранном языке	5
10.06.2020	Расчетно-пояснительная записка	10

#### СОСТАВИЛ:

#### Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Иванова Юлия Александровна	к.т.н.		

#### Консультант (при наличии)

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший	Лепустин Алексей			

преподаватель ОИТ	Владимирович			
-------------------	--------------	--	--	--

**СОГЛАСОВАНО:**

**Руководитель ООП**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОИТ	Шерстнев Владислав Станиславович	к. т. н., доцент		

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

Студенту:

Группа	ФИО
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич

Школа	ИШИТР	Отделение школы (НОЦ)	ОИТ
Уровень образования	Магистратура	Направление/специальность	Информационные системы и технологии

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

1. <i>Стоимость ресурсов научного исследования (НИ): материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих</i>	Использовать действующие ценники и договорные цены на потребленные материальные и информационные ресурсы, а также указанную в МУ величину тарифа на эл. энергию
2. <i>Нормы и нормативы расходования ресурсов</i>	—
3. <i>Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования</i>	Действующие ставки единого социального налога и НДС, ставка дисконтирования = 0,1 (см. МУ)

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

1. <i>Оценка коммерческого и инновационного потенциала НТИ</i>	Дать характеристику существующих и потенциальных потребителей (покупателей) результатов ВКР, ожидаемых масштабов их использования
2. <i>Разработка устава научно-технического проекта</i>	Разработать проект такого устава в случае, если для реализации результатов ВКР необходимо создание отдельной организации или отдельного структурного подразделения внутри существующей организации
3. <i>Планирование процесса управления НТИ: структура и график проведения, бюджет, риски и организация закупок</i>	Построение плана-графика выполнения ВКР, составление соответствующей сметы затрат, расчет цены результата ВКР.
4. <i>Определение ресурсной, финансовой, экономической эффективности</i>	Оценка экономической эффективности использования результатов ВКР, характеристика других видов эффекта

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

<ol style="list-style-type: none"> <li>1. «Портрет» потребителя результатов НТИ</li> <li>2. Сегментирование рынка</li> <li>3. Оценка конкурентоспособности технических решений</li> <li>4. Диаграмма FAST</li> <li>5. Матрица SWOT</li> <li>6. График проведения и бюджет НТИ - <u>выполнить</u></li> <li>7. Оценка ресурсной, финансовой и экономической эффективности НТИ - <u>выполнить</u></li> <li>8. Потенциальные риски</li> </ol>
---

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

### Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Конопотский В.Ю.	к.э.н.		27.02.2020 г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич		

## ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

<b>Группа</b>	<b>ФИО</b>
8ИМ82	Авдееву Николаю Геннадьевичу

<b>Школа</b>	<b>ИШИТР</b>	<b>Отделение (НОЦ)</b>	<b>ОИТ</b>
Уровень образования	Магистр	Направление/специальность	09.04.02 «Информационные системы и технологии»

Тема ВКР:

<b>Разработка библиотеки нейросетевого распознавания рукописных символов на машинопечатемых бланках</b>	
<b>Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:</b>	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Архитектура нейронной сети для распознавания рукописных символов.
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
<b>1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>– специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства;</li> <li>– организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы</li> <li>– ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования</li> <li>ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения</li> </ul>
<b>2. Производственная безопасность:</b> 2.1. Анализ выявленных вредных и опасных факторов 2.2. Обоснование мероприятий по снижению воздействия	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Отклонение показателей микроклимата.</li> <li>– Недостаточная освещённость рабочей зоны.</li> <li>– Превышение уровня шума.</li> <li>– Повышенный уровень электромагнитных излучений.</li> <li>– Электробезопасность.</li> <li>– Обоснование мероприятий по снижению уровней воздействия опасных и вредных факторов на работника.</li> </ul>
<b>3. Экологическая безопасность:</b>	Воздействие на окружающую среду вредными и опасными отходами.
<b>4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:</b>	Предотвращение возникновения пожароопасной ситуации

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

**Задание выдал консультант:**

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ООД	Горбенко Михаил	К. Т. Н.		

	Владимирович			
--	--------------	--	--	--

**Задание принял к исполнению студент:**

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич		

## РЕФЕРАТ

Отчет по практике содержит 115 с., 67 рис., 21 табл., 31 источник, 5 приложений.

Ключевые слова: информационная система, искусственные нейронные сети, сверточные нейронные сети, алгоритм обратного распространения ошибки, обучающая выборка, валидационная выборка.

Объект исследования: алгоритмы распознавания рукописных символов на изображении.

Цель работы: разработка алгоритма и библиотеки распознавания машиночитаемых бланков на основе сверточной нейронной сети.

В процессе работы проводились исследования архитектуры сверточной нейронной сети для распознавания символов русского алфавита, а также цифр, минусов и запятых. Были изучены принципы работы сверточных нейронных сетей.

В результате исследования были получены архитектуры нейронных сетей для распознавания символов русского алфавита, а также цифр минусов и запятых.

Область применения: распознавание бланков ЕГЭ.

## ОПРЕДЕЛЕНИЯ

ГИА – обязательный экзамен, завершающий освоение имеющих государственную аккредитацию основных образовательных программ среднего и основного общего образования в Российской Федерации.

ЕГЭ – форма проведения ГИА по образовательным программам среднего общего образования.

ОГЭ – форма проведения ГИА по образовательным программам основного общего образования.

Обучающая выборка (training set) – набор данных, который используется для обучения сети. Представляет собой набор объектов, для каждого из которых априорно известно, к которому из нескольких классов он принадлежит.

Валидационная (проверочная) выборка (validation set) – набор данных, который используется для оценки качества модели во время обучения.

Тестовая выборка – набор данных, который используется для оценки качества модели после обучения.

## **ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ**

ИСП – интегрированная система распознавания.

ReLU – Rectified Linear Unit.

SoftMax – Soft Maximum.

MNIST – Modified National Institute of Standards and Technology.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	18
1 СУЩЕСТВУЮЩИЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕСС.....	20
2 ШАБЛОНИЗАЦИЯ БЛАНКОВ.....	26
3 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ...	28
3.1 Искусственные нейронные сети.....	28
3.1.1 Сверточные нейронные сети.....	33
4 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ.....	38
4.1 Подготовка обучающей выборки.....	38
4.1.1 Метод эластичных искажений.....	39
4.2 Обучение нейронной сети.....	43
4.2.1 Подбор архитектуры нейронной сети для распознавания букв	47
4.2.2 Подбор архитектуры нейронной сети для распознавания цифр, минусов и запятых.....	49
4.3 Результаты обучения.....	51
4.4 Реализация программной части.....	54
5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ.....	56
5.1 Организация и планирование ОКР (НИР) работ.....	56
5.1.1 Определение продолжительности этапов работ.....	57
5.2 Расчет затрат на выполнение проекта.....	59
5.2.1 Расчет основной заработной платы.....	59

5.2.2	Расчет затрат на социальный налог .....	60
5.2.3	Расчет затрат на электроэнергию.....	60
5.2.4	Расчет амортизационных расходов.....	61
5.2.5	Расчет прочих расходов .....	62
5.2.6	Расчет общей себестоимости проекта .....	62
5.2.7	Расчет прибыли.....	63
5.2.8	Расчет НДС.....	63
5.2.9	Цена разработки НИР .....	63
5.3	Оценка экономической эффективности проекта.....	63
5.3.1	Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period) .....	64
6	СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	70
6.1	Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности.....	71
6.1.1	Правовые нормы трудового законодательства для рабочей зоны оператора ПЭВМ .....	71
6.1.2	Влияние разработанного программного обеспечения на рабочий процесс .....	74
6.2	Производственная безопасность .....	75
6.2.1	Вредные производственные факторы.....	77
6.2.2	Опасные производственные факторы.....	84
6.3	Экологическая безопасность .....	85
6.4	Безопасность в чрезвычайных ситуациях .....	86
6.5	Выводы по разделу .....	89
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	90

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	91
Приложение А .....	96
Overview of existing recognition methods .....	97
Artificial neural networks .....	97
Implementation of recognition methods based on the convolutional neural network.....	104
Training sample preparation .....	104
Приложение Б.....	109
Приложение В .....	111
Приложение Г .....	113
Приложение Д .....	115

## ВВЕДЕНИЕ

Контроль знаний, умений и навыков является важным звеном учебного процесса. От его организации во многом зависит результат обучения. В процессе контроля выявляются как достоинства, так и недостатки знаний и умений учащихся, что позволяет управлять учебным процессом, совершенствуя формы и методы обучения. Массовые тестирования проводятся по регламентируемым процедурам и требуют особого подхода к организации и обработке. К такому методу контроля знаний относится и Государственная итоговая аттестация (ГИА) – форма оценки степени и уровня освоения обучающимися основных образовательных программ, соответствующим требованиям федерального государственного образовательного стандарта. Для ознакомления учеников 9 и 11 классов с заданиями ГИА, а также его процедурой проведения проводятся диагностические работы ОГЭ и ЕГЭ. Существующий формат проведения данного мероприятия ставит перед организаторами задачу анализа информации, представленной в виде изображений – произвести так называемое off-line распознавание уже написанного на бумаге текста. Задача обработки и распознавания изображений относится к разряду трудно формализуемых задач и является одной из наиболее важных на сегодняшний день.

**Целью данной работы** является разработка алгоритма и библиотеки распознавания машиночитаемых бланков на основе сверточной нейронной сети.

Для решения поставленной задачи необходимо решить следующие задачи:

- подготовка обучающей, валидационной и тестовой выборки для нейронной сети;
- выбор оптимальных архитектур сверточных нейронных сетей для решения поставленных задач;

- проектирование и разработка библиотеки для решения задачи классификации символов русского алфавита, а также цифр, минусов и запятых.

**Объектом исследования** в данной работе выступают алгоритмы распознавания символов русского алфавита, а также цифр, минусов и запятых на изображении.

**Предметом исследования** является задача разработки библиотеки распознавания, реализующей алгоритм распознавания на основе сверточной нейронной сети.

## 1 СУЩЕСТВУЮЩИЙ БИЗНЕС-ПРОЦЕСС

Общее количество участников и их широкая территориальная распространенность, недостаточная оснащенность школ техническими средствами накладывают свои ограничения на возможные методы организации и проведения государственной итоговой аттестации. В настоящее время при проведении ГИА используются контрольные измерительные материалы (КИМ), представляющие собой комплексы заданий стандартизированной формы, а также специальные бланки для оформления ответов на задания, которые затем обрабатываются в региональных центрах обработки информации (РЦОИ). РЦОИ осуществляет организационное и технологическое обеспечение проведения ГИА на территории субъекта Российской Федерации, в том числе обеспечение деятельности по эксплуатации региональных информационных систем и взаимодействию с федеральной информационной системой, обработки экзаменационных работ участников ГИА. Для ознакомления учеников 9-х и 11-х классов с процедурой проведения ГИА РЦОИ принимает на себя обязательства по оказанию услуг по методическому сопровождению и проведению диагностических работ по учебным предметам для подготовки обучающихся к государственной итоговой аттестации по образовательным программам основного общего и среднего общего образования, подготовке материалов и обработке результатов диагностических работ. Значительная часть этих услуг напрямую связана с печатью, сканированием и обработкой регистрационных бланков, а также бланков ответов №1 и №2 (для заданий с кратким и развернутым ответом соответственно).

В настоящее время исполнение этих задач разделено между автоматизированной информационной системой «Репетитор» и программой распознавания бланков ABBYY FormReader, а обмен данными осуществляется через экспортирование и импортирование файлов в формате TIFF и CSV. На рисунке 1.1 этот процесс проиллюстрирован для одного

бланка с помощью диаграммы описания последовательности этапов процесса (PFDD стандарта IDEF3).



Рисунок 1.1 – Стадии обработки бланков

Данные стадии по сути и взаимному расположению идентичны для всех типов бланков: регистрационного, ответов №1, ответов №2 и дополнительных. Различными будут только обрабатываемые поля и внутренняя структура .csv файла, возвращаемого после процедуры верификации – проверки качества распознавания.

Рассмотрим эти стадии на примере обработки бланка ответов №1 – бланка, использующегося для внесения ответов на задания с кратким ответом (рисунок 1.2).

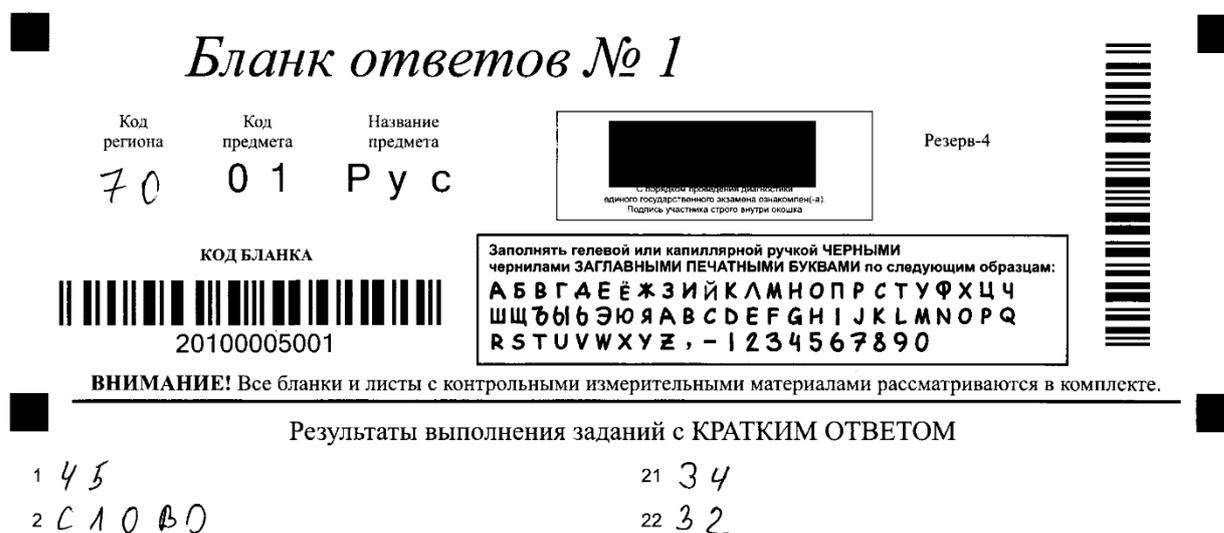


Рисунок 1.2 – Часть изображения бланка ответов №1

Сначала все экзаменационные материалы поступают в зону сканирования, где происходит первичная обработка бланков – бланки сканируются, а результат сохраняется в формате хранения растровых графических изображений TIFF. Затем изображения бланков загружаются в ИСР, где производится первичное распознавание бланков.

Для унификации и упрощения распознавания бланков на изображении особым образом расположены так называемые реперные точки – отметки на бланке, по которым определяется положение самого бланка и проводится дальнейшая сегментация изображения. На рисунке 1.2 можно увидеть четыре из шести таких точек, расположенных на бланке. Оставшиеся две точки располагаются в нижней части страницы бланка, гораздо дальше от остальных, что позволяет определить, является ли изображение перевернутым и, при необходимости, произвести небольшие преобразования перед дальнейшей обработкой. Так как расположение реперных точек известно, изображение сегментируется, и в первую очередь рассматриваются боковые части бланка, где при хорошем качестве отсканированного изображения можно легко обнаружить эти точки. На данном этапе в ИСР используется AForge.NET – библиотека с открытым исходным кодом, разработанная на языке C#, которая используется разработчиками и исследователями при решении задач, связанных с компьютерным зрением. На основе сегмента изображения строится карта выявленных объектов – потенциальных реперных точек, каждая из которых затем проверяется методами класса SimpleShapeChecker. На вход принимаются наборы точек, которые должны составить некоторую геометрическую форму. В ходе работы проверяется, насколько предоставленный набор точек подходит под предполагаемую форму. Все проверки допускают некоторое отклонение от установленного идеала геометрической формы, так что исходный набор точек может определять хоть и нечеткую, но еще узнаваемую фигуру. Допустимое отклонение устанавливается пользователем. Проверяя заданный набор точек, класс вычисляет среднее расстояние между заданным набором

точек и ребром предполагаемой формы. Если среднее расстояние равно или меньше максимально допустимого расстояния, фигура считается распознанной. На рисунке 1.3 приведен пример распознавания данной библиотекой формы реальных объектов на изображении.

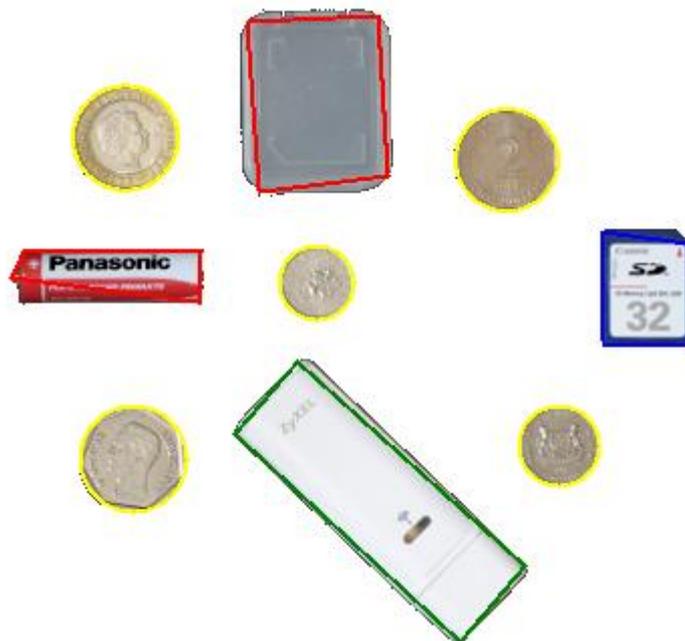


Рисунок 1.3 – Распознавание формы реальных объектов на изображении

Если в ходе проверки реперных точек не удастся найти три точки с каждой стороны бланка, то такой бланк считается нераспознанным, и оператор должен определить, можно ли убрать дефект на обрабатываемом изображении или нужно заново сканировать оригинал бланка.

Если реперные точки успешно найдены, и изображение находится в правильном положении, то система переходит к обработке штрих-кодов бланка. Штрих-коды позволяют быстро, просто, точно считывать и передавать данные, которые нуждаются в отслеживании и контроле. Штриховой код состоит из прямоугольных штрихов и пробелов переменной ширины. Кодирование в штриховых кодах происходит путем изменения ширины и местоположения штрихов и пробелов, представляющих числа и, в некоторых случаях, знаки. В ИСР используется европейский стандарт штрих-кода EAN-13, где кодируется 13 цифр и никаких букв или других символов. Дополнительно в привычном виде пропечатываются 11 цифр (рисунок 1.4).



Рисунок 1.4 – Штрих-код бланка регистрации,  
где а – код типа бланка, б – код учебного предмета, в – порядковый номер  
бланка

Таким образом, на рисунке 1.4 изображен штрих-код регистрационного бланка по математике профильного уровня с номером 1680. Такое отображение необходимо для осуществления комплектации организаторами и заполнения необходимых полей участниками экзамена.

При обработке отсканированных бланков ИСР автоматически считывает штрих-коды и определяет указанные выше данные. После этого в базе данных обновляется запись о соответствующем бланке: сохраняется само изображение бланка, отмечается дата и время обработки и др.

На данном этапе бланки являются отсканированными, известны их типы, номера и принадлежность к учебному предмету. Однако, по-прежнему, ничего не известно об их содержимом – регистрационных данных участников и их ответах. Поэтому следующим этапом производится систематизированная выгрузка изображений для их дальнейшего распознавания с помощью программы ABBYY FormReader и верификации.

Верификация проводится путем сравнения на экране монитора символов, внесенных в машиночитаемые формы, в бланки ГИА или в протокол проверки, с теми же символами, полученными в результате их распознавания. Сотрудник-верификатор проверяет правильность распознавания символов и, в случае необходимости, вносит исправления. После завершения верификации результат распознавания сохраняется в формате CSV и снова подгружается в ИСР. При этом бывают случаи, когда

при выгрузке в файле остаются лишние или некорректные символы, что нарушает процесс импорта. В этом случае оператор вынужден вручную вносить необходимые исправления. Результатом импорта корректного файла в ИСР являются новые или обновленные записи в базе данных о персональных данных участников экзамена, их ответы, а также баллы экспертов предметной комиссии, если обрабатывался протокол проверки развернутого ответа участника.

Этапы, связанные с дополнительным экспортом изображений, их отдельной обработкой и импортом результата в ИСР, сопряжены с дополнительными трудозатратами и являются местом, где особенно требуется вмешательство оператора. К тому же, при печати и обработке бланков ИСР руководствуется жестко заданными в программном коде правилами, что делает систему неадаптивной к изменениям в процедуре. В частности, когда в процедуре проведения ЕГЭ-2018 возникли изменения, напрямую касающиеся бланков ответов, это привело к необходимости пересмотра существующих шаблонов, значительного редактирования программного кода и перекомпилирования приложения. В связи с этим задача устранения существующих узких мест бизнес-процесса и внедрение собственных шаблонов и алгоритмов обработки является особенно актуальной.

## 2 ШАБЛОНИЗАЦИЯ БЛАНКОВ

На данный момент программа спроектирована таким образом, что внесение изменений структуры бланка требует редактирование программного кода и перекомпилирования приложения. Добавление шаблонов бланков позволит изменять структуру бланков без внесения изменений в программный код.

Пример бланка репетиционного экзамена представлен на рисунке 2.1.

**Бланк ответов № 1**

КОД БЛАНКА  
20100000037

Заполнять гелевой или капиллярной ручкой ЧЕРНЫМИ чернилами ЗАГЛАВНЫМИ ПЕЧАТНЫМИ БУКВАМИ по следующим образцам:

**А Б В Г А Е Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0**  
**А В С D E F G H I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z , -**

Код региона	Код предмета	Название предмета	Резерв-4
70	01	Русский	

С бланком программы для печати  
единого государственного экзамена (экзаменационной)  
Подать участникам этого экзамена

ВНИМАНИЕ! Все бланки и листы с контрольными измерительными материалами рассматриваются в комплексе.

Результаты выполнения заданий с КРАТКИМ ОТВЕТОМ

<p>1 15</p> <p>2 К П Р И М Е Р У</p> <p>3 4</p> <p>4 А А В Н И Ш Н И Й</p> <p>5 С Т Е К О Л Ь Н Ы Й</p> <hr/> <p>6 П Я Т Ь Ю С Т А</p> <p>7 3 5 8 1 4</p> <p>8 И Н Т Е Л Л И Г Е Н Т Н Ы Й</p> <p>9 П Р И С Я Г А П Р И Е М Н И К</p> <p>10 В А С Т Р Е В А Т Ь</p> <hr/> <p>11 В И А И М Ы Й</p> <p>12 Н Е В Ы С О Х Ш И Е</p> <p>13 Ч А В Е К И Ч Т О Б</p> <p>14 4</p> <p>15 4 5</p> <hr/> <p>16 1 2 3</p> <p>17 1 2 3</p> <p>18 1 4</p> <p>19 1 3</p> <p>20 1 3</p>	<p>21 2 3 4</p> <p>22 П Р О Н Е С Е Т С Б У Р Е Й</p> <p>23 7 7 2 0 8 3</p> <p>24 6 9 1 7</p> <p>25</p> <hr/> <p>26</p> <p>27</p> <p>28</p> <p>29</p> <p>30</p> <hr/> <p>31</p> <p>32</p> <p>33</p> <p>34</p> <p>35</p> <hr/> <p>36</p> <p>37</p> <p>38</p> <p>39</p> <p>40</p>
---	---

Замена ошибочных ответов на задания с КРАТКИМ ОТВЕТОМ

-	-
-	-
-	-

Заполняется ответственным организатором в аудитории:

Количество заполненных полей  
«Замена ошибочных ответов»

Служба ответственного организатора  
экзамена

Рисунок 2.1 – Пример бланка репетиционного экзамена

Как можно заметить, бланк состоит из конечного набора следующих структурных элементов:

- поля для символов (впечатываемых и рукописных);
- текст;
- изображения;
- реперные точки;
- штрих-коды.

Шаблон будет использоваться для печати и сканирования бланков. Шаблон должен хранить информацию о координатах элемента на странице и номер элемента для сопоставления ему значений. Также полю для символов должна сопоставляться информация о разрешенных в нем символах во избежание неопределенностей при распознавании (буква «О» и цифра «0», буква «З» и цифра «3»). Всего возможно 2 множества разрешенных символов:

- символы русского алфавита;
- цифры, минус, запятая.

Было рассмотрено два варианта хранения шаблонов:

- в отдельной таблице с помощью развязки один-ко-многим;
- в xml-поле таблицы (так как MS SQL Server 2008R2, используемый на предприятии, не поддерживает тип json).

Для хранения шаблона типа бланка было выбрано xml-поле, так как шаблон бланка придется передавать модулям печати и распознавания в скомпилированном виде. Для каждого типа бланка будет доступен свой шаблон.

### 3 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ

#### 3.1 Искусственные нейронные сети

Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это математическая модель, а также ее программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Схема, демонстрирующая устройство искусственной нейронной сети представлена на рисунке 3.1.

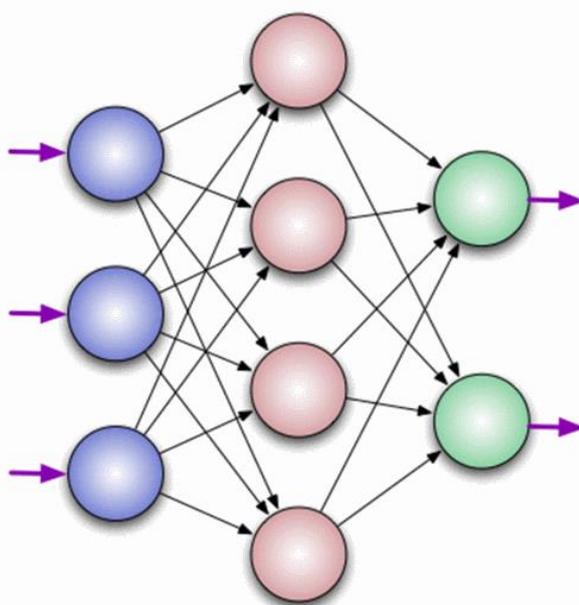


Рисунок 3.1 – Устройство искусственной нейронной сети

Нейрон – это вычислительная единица, которая получает информацию, производит над ней простые вычисления и передает ее дальше. Нейроны объединяются в слои. Слои делятся на три основных типа: входной (синий), скрытый (красный) и выходной (зеленый).

Пример работы нейронной сети представлена на рисунке 3.2.

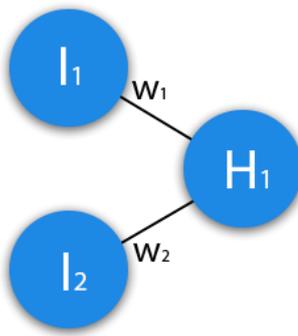


Рисунок 3.2 – Пример работы нейронной сети

Значения входов и выходов нейрона  $H_1$  вычисляются по следующим формулам:

$$H_{1input} = (l_1 * w_1) + (l_2 * w_2), \quad (1)$$

$$H_{1output} = f_{activation}(H_{1input}), \quad (2)$$

где  $H_{1input}$  – значение входа нейрона  $H_1$ ;  $l_i$  – значение выхода нейрона  $l_i$ ;  $w_i$  – значение  $i$ -го веса;  $H_{1output}$  – значение выхода нейрона  $H_1$ ;  $f_{activation}$  – функция активации.

Из формул (1) и (2) видно, что входная информация – это сумма всех входных данных, умноженных на соответствующие им веса. Выходные данные получают путем подстановки входных данных в функцию активации.

Функция активации – это способ нормализации входных данных. То есть, если на вход подается большое число, то пропустив его через функцию активации можно получить выход в нужном диапазоне. Рассмотрим основные функции активации [1].

- Пороговая функция активации (рисунок 3.3):

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (3)$$

где  $b$  – значение порога.



Рисунок 3.3 – Пороговая функция активации

- Линейная функция активации (рисунок 3.4):

$$f(x) = \alpha x, (4)$$

где  $\alpha$  – параметр наклона линейной функции.

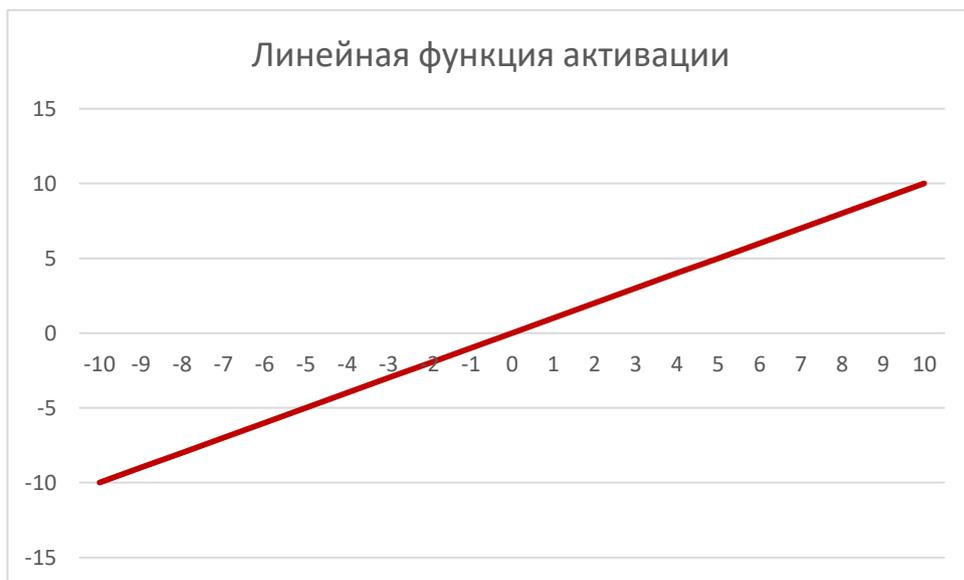


Рисунок 3.4 – Линейная функции активации

Данная функция почти никогда не используется за исключением случаев, когда над протестировать нейронную сеть или передать значение без преобразований.

- Лог-сигмоидная функция активации (рисунок 3.5):

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}, \quad (5)$$

где  $\alpha$  – параметр наклона лог-сигмоидной функции активации.

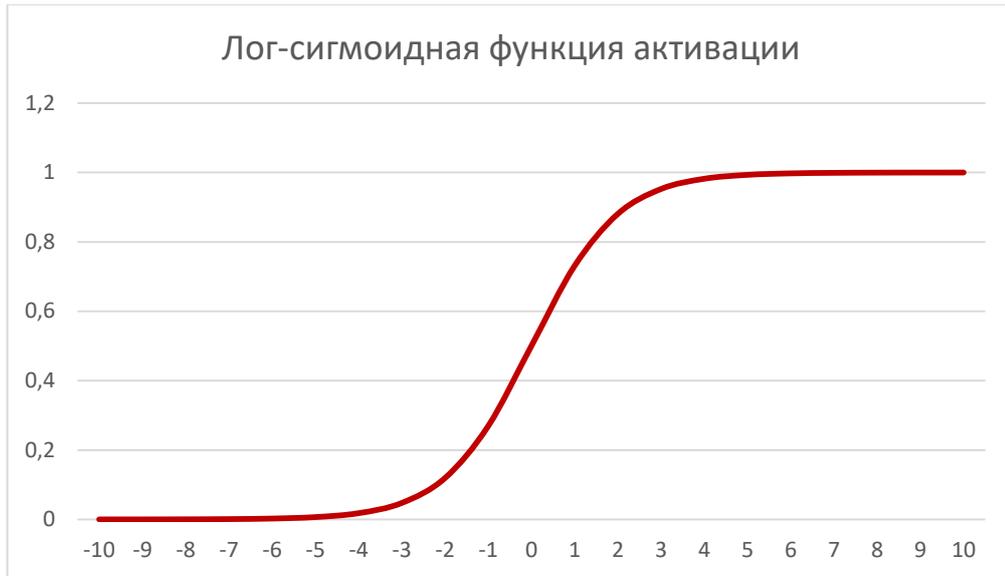


Рисунок 3.5 – Лог-сигмоидная функции активации

Данная функция является одной из наиболее часто используемой в искусственных нейронных сетях. Диапазон значений данной функции  $[0, 1]$ . Соответственно, если в рассматриваемой задаче присутствуют отрицательные значения, то необходимо выбрать другую функцию.

- Гиперболический тангенс (рисунок 3.6):

$$f(x) = \frac{e^{2\alpha x} - 1}{e^{2\alpha x} + 1}, \tag{6}$$

где  $\alpha$  – параметр наклона функции.

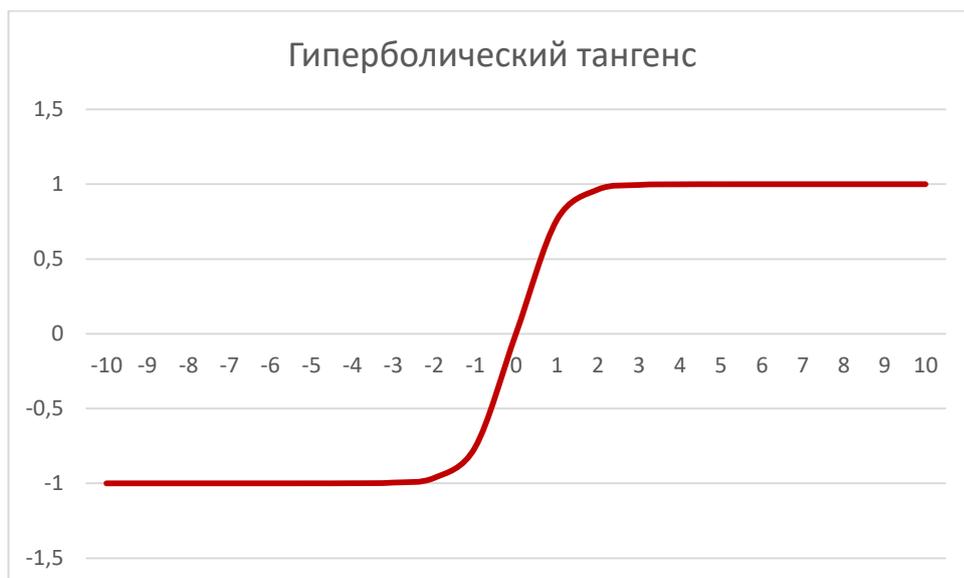


Рисунок 3.6 – Гиперболический тангенс

Гиперболический тангенс используется в тех случаях, когда значения могут быть отрицательными и положительными, так как диапазон значений функции  $[-1; 1]$ . Использовать данную функцию с положительными значениями нецелесообразно, так как это может значительно ухудшить результаты нейросети.

- Функция активации ReLU (рисунок 3.7):

$$f(x) = \max(0, x). \quad (7)$$

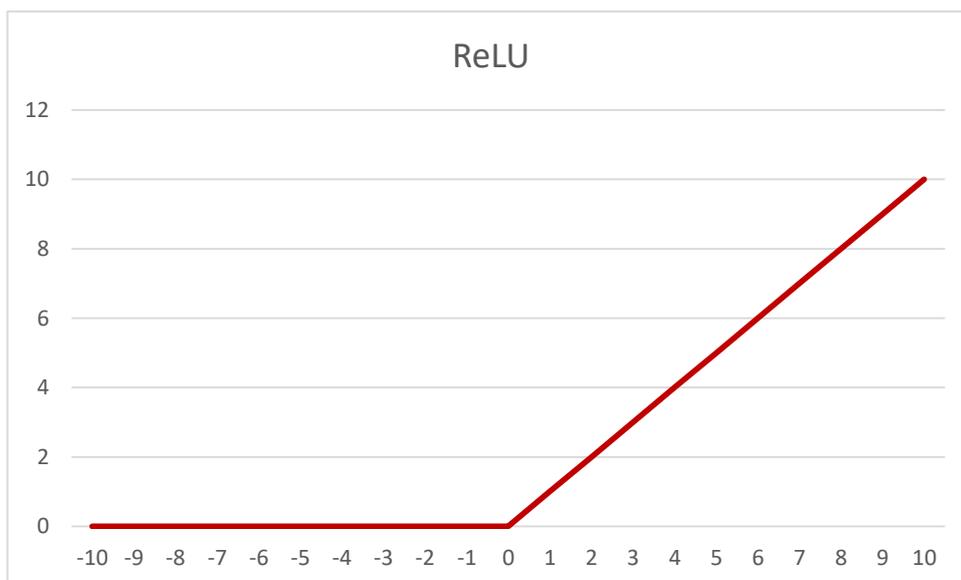


Рисунок 3.7 – ReLU

Данная функция активации является наиболее часто используемой в сверточных слоях. Распространенность данной функции активации обуславливается отсутствием ресурсоемких операций, таких как вычисление степени. Вследствие этого скорость сходимости стохастического градиентного спуска повышается в некоторых случаях до 6 раз по сравнению с сигмойдой и гиперболическим тангенсом. Также ReLU не подвержен перенасыщению. Данный вид функции используется в качестве функции активации в рассматриваемой работе.

- Функция активации SoftMax:

$$f(x_i) = \frac{x_i}{\sum_{k=1}^N x_k}, \quad (8)$$

где  $x_i$  – значение на выходе  $i$ -го нейрона до активации, а  $N$  – общее количество нейронов в слое.

Функция SoftMax часто используется в нейронных сетях в качестве функции активации при решении задачи классификации. С помощью данной функции значения каждого из выходов нормируются таким образом, что сумма всех значений выхода равна 1. Значение каждого из выхода интерпретируется как вероятность принадлежности к соответствующему классу. Данный вид функции используется в качестве функции активации на выходном слое в рассматриваемой работе.

Для программы репетиционного экзамена будут использоваться 2 нейронных сети для распознавания следующих множеств символов:

- цифры, минус, запятая;
- символы русского алфавита.

Использование 2-х нейронных сетей необходимо для того, чтобы избежать неоднозначности в распознавании символов (цифра «0» и буква «О», цифра «3» и буква «з» и т. д.).

### 3.1.1 Сверточные нейронные сети

Сверточная нейронная сеть состоит из разных видов слоев: сверточные (convolutional) слои, субдискретизирующие (subsampling, подвыборка) и полносвязные слои персептрона, в соответствии с рисунком 3.8.

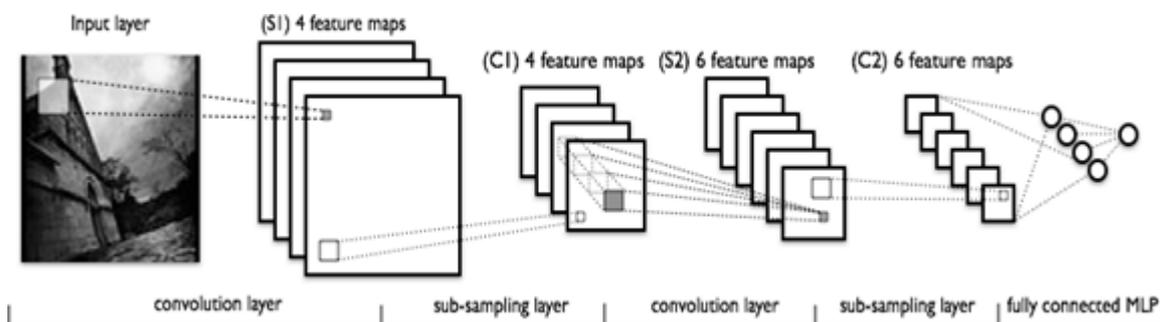
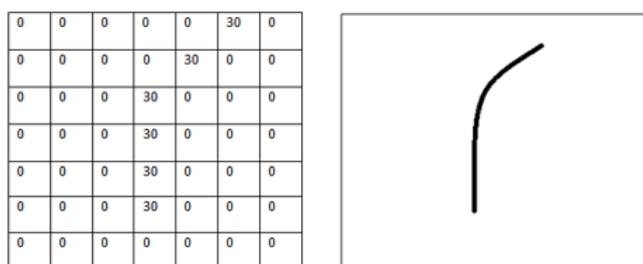


Рисунок 3.8 – Топология сверточной нейронной сети

Свое название сверточная сеть получила по названию операции – свертка, суть которой будет описана дальше.

Сверточный слой состоит из набора карт, у каждой карты есть синаптическое ядро (сканирующее ядро, фильтр). Ядро представляет из себя

фильтр или окно, которое скользит по всей области предыдущей карты и находит определенные признаки объектов. Например, если сеть обучали на множестве лиц, то ядра могли бы в процессе обучения выдавать наибольший сигнал в области глаза, рта, брови или носа. Размер ядра обычно берут в пределах от  $3 \times 3$  до  $7 \times 7$ . Если размер ядра маленький, то оно не сможет выделить какие-либо признаки, если слишком большое, то увеличивается количество связей между нейронами. Также размер ядра выбирается таким, чтобы размер карт сверточного слоя был четным, это позволяет не терять информацию при уменьшении их размерности в подвыборочном слое.



**Входное изображение**

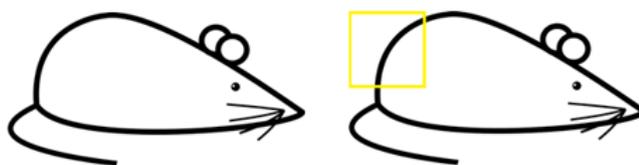


Рисунок 3.9 – Пример ядра с обученным признаком

На рисунке 3.9 продемонстрирован пример работы фильтра, изображенного в верхней правой части. В области, обведенной желтым прямоугольником, будет большой отклик (сигнал), что говорит о наличии этого признака на изображении. Неформально операцию свертки можно описать следующим образом – окном размера ядра  $g$  проходим с заданным шагом (обычно 1) все изображение  $f$ , на каждом шаге поэлементно умножаем содержимое окна на ядро  $g$ , результат суммируется и записывается в матрицу результата (отклик фильтра), как на рисунке 3.10.

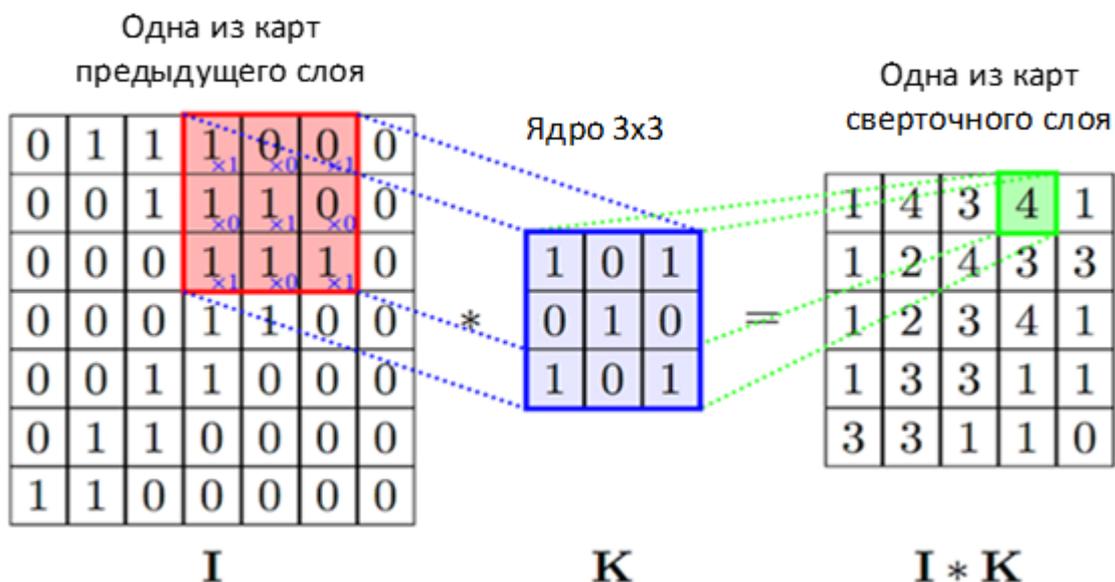


Рисунок 3.10 – Визуализация операции свертки

За сверточным слоем следует слой подвыборки. Количество карт в слое подвыборки совпадает с количеством карт в сверточном слое. Цель слоя – уменьшение размерности карт предыдущего слоя, за счет чего достигается инвариантность. Если в некоторой подобласти предыдущего слоя был найден определенный признак, то за счет снижения размерности сеть будет реагировать на подобный отклик при появлении признака в окрестности этой подобласти.

Обычно в качестве операции подвыборки используется операция максимума, которая выбирает максимальное значение из области  $2 \times 2$  с шагом 2, тем самым выбирая максимальный отклик как отклик для всей окрестности. В подвыборочном слое обычно выбирается функция активации ReLU. Пример работы операции подвыборки продемонстрирован на рисунке 3.11:

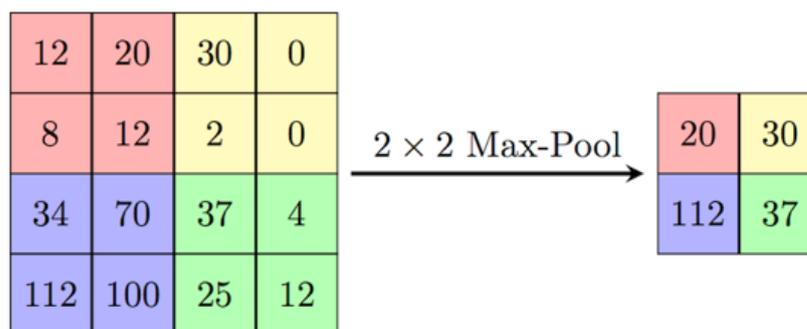


Рисунок 3.11 – Операция подвыборки

Последний из типов слоев – это слой многослойного персептрона. Цель слоя – моделирование сложной нелинейной функции входных параметров для осуществления классификации, при оптимизации которой улучшается качество распознавания. Нейроны каждой карты подвыборочного слоя связаны с одним нейроном скрытого слоя.

Для поставленной задачи были выбраны сверточные сети. Выбор сверточных сетей обусловлен следующими факторами:

- начиная с 2012 года сверточные сети занимают первые места на конкурсе ImageNet [2], [3];
- сверточные нейронные сети устойчивы к аффинным преобразованиям изображений (сдвиг, поворот, масштабирование);
- сверточные нейронные сети учитывают топологию изображений в отличие от многослойных персептронов, где информация на вход подается в виде одномерного массива [5];
- сверточные сети имеют меньше параметров по сравнению с многослойными персептронами.

Для примера возьмем две похожие нейронные сети, одна из которых является сверточной, а вторая – многослойным персептроном.

Сверточная нейронная сеть:

- Вход – изображение размером 100x100;
- Два сверточных слоя по 100 плоскостей каждый (матрица свертки – 5x5 и подвыборка с размером 2x2 с шагом 2);
- Выход – 10 классов;
- Число параметров порядка 70к ( $25*100 + 25*100 + 25*25*100 + 100*10$ ).

Многослойный персептрон:

- Вход — изображение размером 100x100;
- Три полносвязных слоя по 100 нейронов каждый;
- Выход – 10 классов;

- Число параметров порядка 1М ( $10000 * 100 + 100*100 + 100*100 + 100*10$ ).

## 4 РЕАЛИЗАЦИЯ МЕТОДОВ РАСПОЗНАВАНИЯ НА ОСНОВЕ СВЕРТОЧНОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

### 4.1 Подготовка обучающей выборки

Обучающая выборка была составлена из бланков репетиционного ЕГЭ. Пример такого бланка продемонстрирован на рисунке 2.1.

Бланки представляют собой монохромное изображение формата .tif, отсканированное с разрешением 300 dpi. Поля для вписывания букв на бланке имеют размер 64×65 пикселей. Для упрощения структуры нейронной сети разрешение изображений было уменьшено до размера 64×64 пикселя.

Обучающая выборка была составлена из известных распознанных ответов. Вырезка букв осуществлялась по заранее известным координатам. Количество букв в каждом классе после обработки репетиционных бланков представлено на рисунке 4.1:

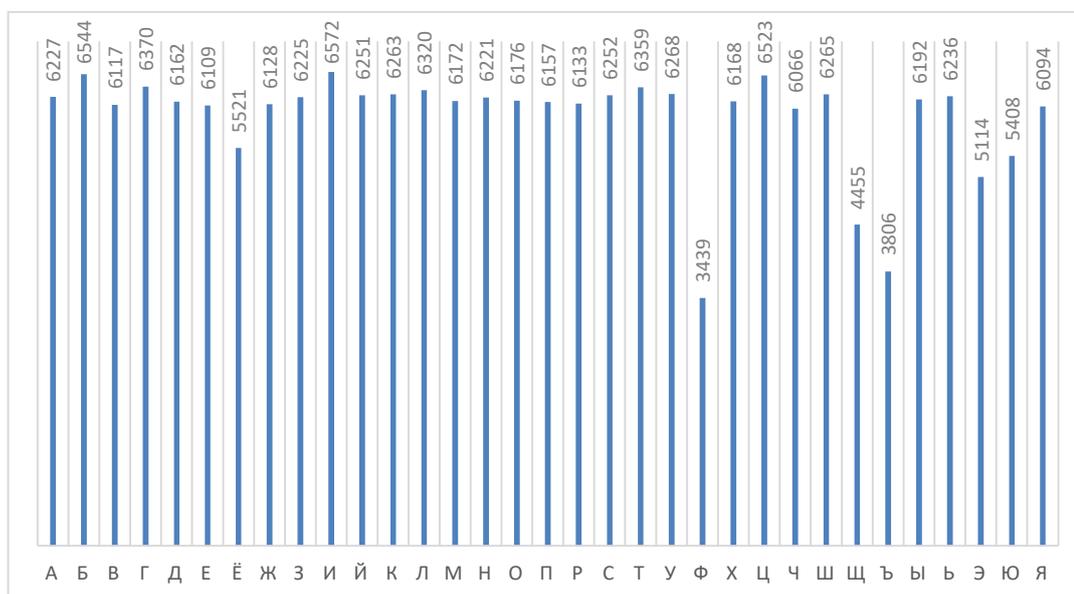


Рисунок 4.1 – Количество изображений в каждом из классов

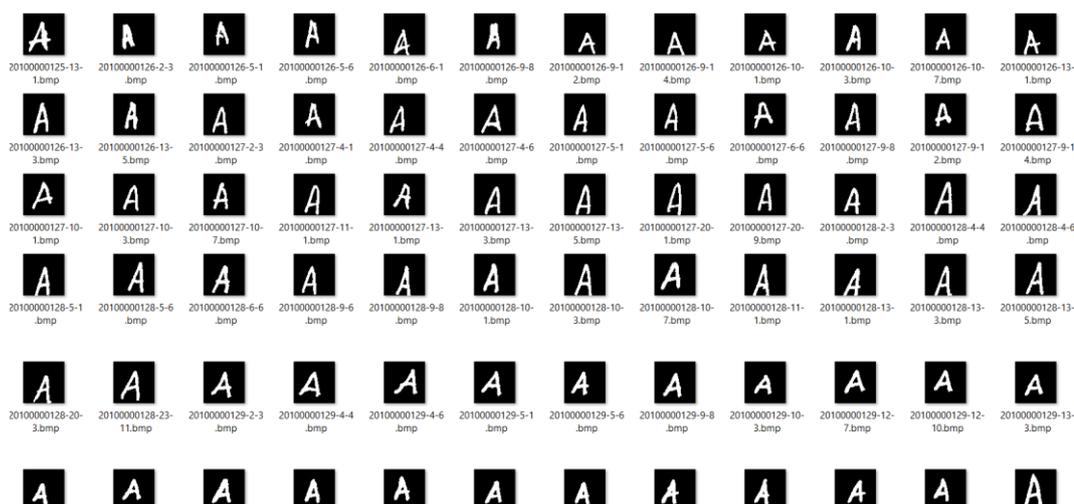


Рисунок 4.2 – Пример изображений из выборки для буквы «А»ыы

Изображения различных классов должны быть представлены в обучающей выборке примерно в одинаковых пропорциях. Если один из классов будет преобладать, то это может привести к «перекоосу» в процессе обучения модели [8]. Недостаток букв в классах «Ё», «Ф», «Ц», «Щ», «Ъ», «Э» и «Ю» был восполнен с помощью метода эластичных искажений [6], описанного ниже.

#### 4.1.1 Метод эластичных искажений

Увеличить обучающую выборку можно с помощью деформирования существующих изображений. Основная идея метода эластичных искажений заключается в том, что на исходном изображении необходимо передвинуть каждый из существующих пикселей. Наивный подход с независимым смещением каждого пикселя приведет к получению нового изображения, которое будет выглядеть разбитым, а не растянутым. Для примера возьмем изображения на рисунке 4.3. Каждое из изображений слева и справа иллюстрирует деформацию области  $5 \times 5$ . Изображение слева показывает случайные векторы, которые скорее разобьют изображение, чем деформируют его. Изображение справа показывает связанные друг с другом векторы, что приводит к растягиванию изображения.

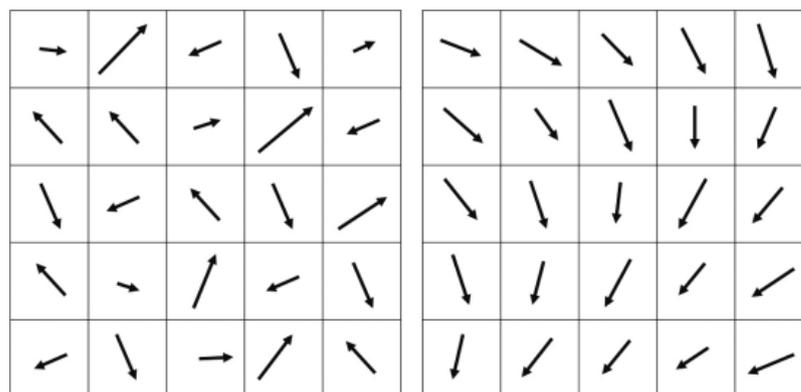


Рисунок 4.3 –Случайные поля смещения и сглаженные поля смещения

Для получения такого смещения пикселей можно использовать матрицу, называемую непрерывным гауссовым ядром. В результате близкие пиксели будут смещаться в относительно похожем, но не в точно таком же направлении.

Непрерывное гауссово ядро – это матрица значений, сумма которых равна 1.0, при этом наибольшее ее значение располагается в центре, и она радиально симметрична. Пример гауссова ядра размером 5×5 со среднеквадратическим отклонением 1.0 продемонстрирован на рисунке 4.4.

0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0219	0.0983	0.1621	0.0983	0.0219
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030

Рисунок 4.4 –Гауссово ядро

Соседние значения отличаются, но похожи. Значение среднеквадратического отклонения определяет, насколько близки значения ядра. Большое отклонение дает более близкие значения.

Далее генерируются матрицы смещений вдоль осей X и Y, значения в которых находятся в диапазоне от -1 до 1, а затем эти матрицы

«сглаживаются» с помощью полученного гауссова ядра. Новое значение смещения – это средневзвешенное текущего значения и значений восьми ближайших соседних ячеек. Пример работы сглаживания продемонстрирован на рисунке 4.5.

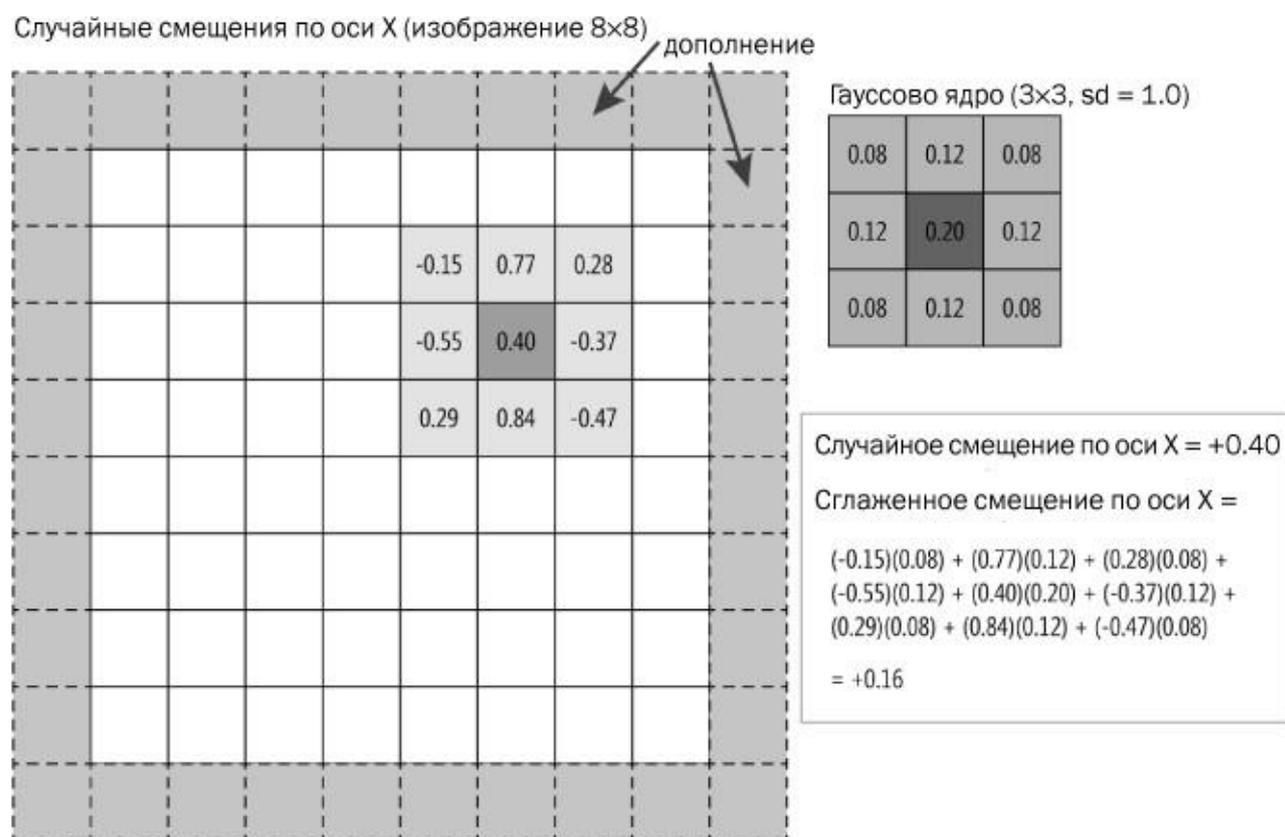


Рисунок 4.5 – Применение ядра к матрице смещений

После сглаживания значения смещений умножаются на коэффициент интенсивности.

Применение матриц смещения к исходному изображению является нетривиальной задачей, и поэтому ее лучше всего пояснить на примере. Допустим, что значение x-смещения получилось равным 3.2, а значение y-смещения равно -1.5. Координата исходного пикселя равна (3, 6). Для x и y смещений определяются нижние и верхние границы: 3, 4 для x и -1, -2 – для y. Далее генерируются все 4 возможные пары смещений: (3, -2), (3, -1), (4, -2), (4, -1). Комбинация исходных координат пикселя с возможными парами смещений дают 4 пары индексов: (6, 4), (6, 5), (7, 4), (7, 5). Наконец, значения

пикселя деформированного изображения в ячейках (3, 6) является средним от значений исходных пикселей с индексами (6, 4), (6, 5), (7, 4), (7, 5). В рассматриваемой работе полученные значения бинаризовались с порогом бинаризации 128.

В программной реализации метода случайных чисел можно генерировать различные гауссовы ядра путем указания различных ядер генератора случайных чисел. На рисунках 4.6 – 4.8 указаны исходное изображение буквы «Ф», изображение, полученное из исходного со значением ядра равным 0 и со значением 1 соответственно.



Рисунок 4.6 – Исходное изображение буквы «Ф»



Рисунок 4.7 – Изображение, полученное с помощью ядра равного 0



Рисунок 4.8 – Изображение, полученное с помощью ядра равного 1

Распределение символов в полученной выборке представлено на рисунке 4.9. Выборка была разделена на тренировочную и валидационную следующим образом: из каждого класса было взято по 1000 образцов букв для валидации, а остальные образцы были использованы для обучения.

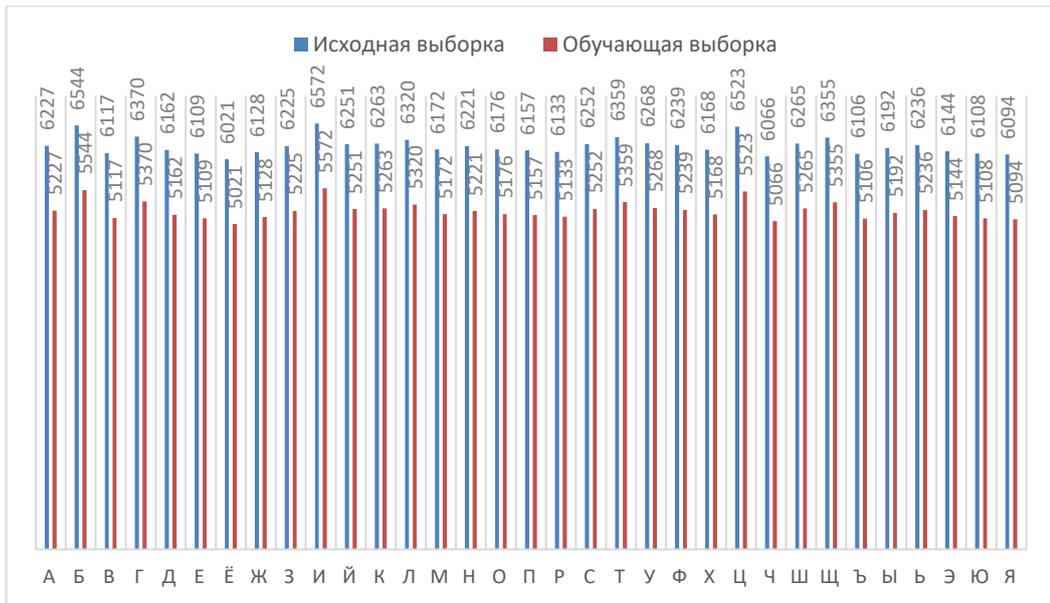


Рисунок 4.9 – Обучающая и валидационные выборки

## 4.2 Обучение нейронной сети

Первое обучение произведено на нейронной сети, с архитектурой показанной на рисунке 4.10:

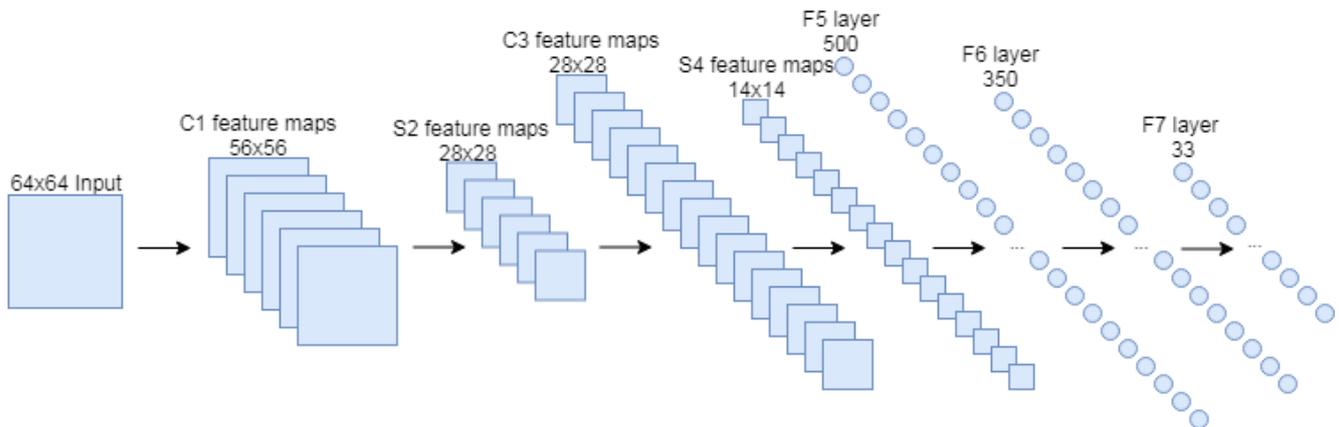


Рисунок 4.10 – Архитектура выбранной нейронной сети

Данная архитектура получена из архитектуры LeNet5 [5], показанной на рисунке 4.11. LeNet5 – это архитектура, предложенная Яном Лекуном в 1998 году для распознавания рукописных цифр из набора MNIST. Данная нейронная сеть достигает точности распознавания на базе MNIST от 99.05 до 99.20 % в зависимости от используемого подхода для предварительной обработки изображений.

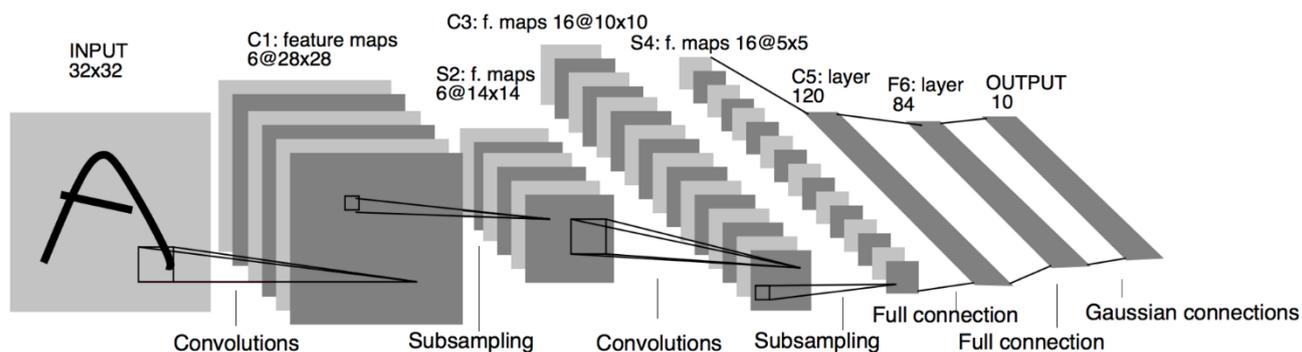


Рисунок 4.11 – LeNet5

В полученной нейронной сети используется 6 карт признаков на первом слое и 16 – на втором. В качестве операции подвыборки используется MaxPooling размером  $2 \times 2$  с шагом 2. Размер фильтров на сверточных слоях составляет  $9 \times 9$ . Количество нейронов на слоях персептрона пропорционально увеличены и равняются 500, 350 и 33 (по количеству классов).

Для обучения нейронной сети использовался оптимизатор Адама [9] с пакетным режимом обучения. Размер пакета выбрался равным 32, т. к. наибольшая точность для обучения нейронной сети достигается при размере пакета равном от 2 до 32 [7]. По усредненным результатам 100 обучений точность составляет **96.97%**. На рисунках 4.12–4.15 продемонстрированы некоторые примеры неправильно распознанных букв, а также 3 первых выхода сети с максимальным значением.



Рисунок 4.12 – Входное изображение буквы «А»

Таблица 4.1 – Значения 3х первых выходов нейронной сети для буквы

«А»

Д	62%
А	38%
Я	0%



Рисунок 4.13 – Входное изображение буквы «Б»

Таблица 4.2 – Значения 3х первых выходов нейронной сети для буквы «Б»

В	98%
Б	1%
Д	0%



Рисунок 4.14 – Входное изображение буквы «Г»

Таблица 4.3 – Значения 3х первых выходов нейронной сети для буквы «Г»

П	70%
Г	30%
Т	0%



Рисунок 4.15 – Входное изображение буквы «И»

Таблица 4.4 – Значения 3х первых выходов нейронной сети для буквы «И»

Ч	56%
И	30%
Ц	13%

Пример выходов промежуточных слоев обученной нейронной сети продемонстрирован на рисунках 4.16 – 4.20:



Рисунок 4.16 – Входное изображение



Рисунок 4.17 – Выходы первого сверточного слоя

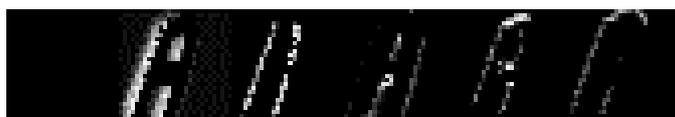


Рисунок 4.18 – Выход первого слоя подвыборки



Рисунок 4.19 – Выход второго сверточного слоя



Рисунок 4.20 – Выход второго слоя подвыборки

Рисунки выше отображают принципы работы сверточной нейронной сети: сверточные слои выделяют на изображениях некоторые признаки с помощью матрицы свертки (рисунки 4.17, 4.19), а слои подвыборки уменьшают размерность изображения в два раза (рисунки 4.18, 4.20), делая сеть устойчивой к аффинным преобразованиям.

Матрица ошибок для вышеописанной нейронной сети продемонстрирована в приложении Б.

Исходя из полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- Наибольшее количество ошибок встречается в близких по написанию буквах («А» и «Д», «И» и «Н», «Э» и «З» и т. д.);
- Нейронная сеть плохо справляется с распознаванием букв, написанных с несоблюдением образцов, например написание строчных букв вместо прописных, так как таких букв мало в обучающей выборке. Примеры таких букв продемонстрированы на рисунках 4.21–4.23.



Рисунок 4.21 – Строчная буква «а»



Рисунок 4.22 – Строчная буква «б»



Рисунок 4.23 – Строчная буква «в»

#### **4.2.1 Подбор архитектуры нейронной сети для распознавания букв**

Были проведены эксперименты по подбору архитектуры нейронной сети. Количество слоев свертки варьировалось в пределах от 2 до 4, размер ядра свертки от 3x3 до 9x9, количество карт признаков на 1 слое – от 5 до 40. Количество карт признаков на каждом последующем слое удваивается [10]. В подвыборочном слое использовалась операция MaxPooling с размером окна 2 и шагом 2.

Для ускорения процесса обучения производилось на выборке, полученной следующим образом: из исходной выборки для каждого класса выбралось 100 случайных букв для обучения и 10 случайных букв для валидации результата. Было проведено 100 итераций обучения. Результирующее значение точности распознавания было получено путем

вычисления среднего арифметического из значений точности распознавания, полученных на каждой итерации.

На первом этапе эксперимента было протестировано 30 архитектур нейронных сетей. Количество слоев свертки варьировалось в пределах от 2 до 4, размер ядра свертки от  $3 \times 3$  до  $9 \times 9$ , количество карт признаков на 1 слое оставалось равным 20. Архитектура выбиралась таким образом, чтобы не происходила потеря информации с изображения: если на одном из выходов сверточного слоя ширина или высота выходного изображения получалась нечетной, то при применении операции MaxPooling на подвыборочном слое крайние пиксели изображения не учитывались. Результаты эксперимента продемонстрированы на рисунке 4.24.

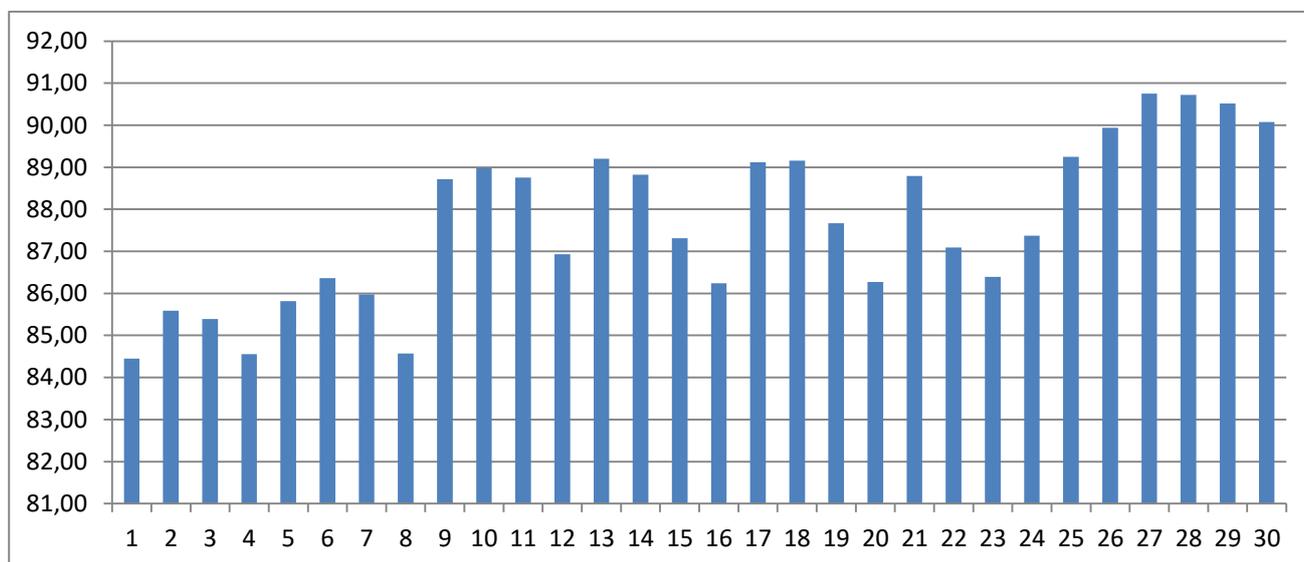


Рисунок 4.24 – Зависимость точности от архитектуры нейронной сети

Исходя из результатов эксперимента можно сделать вывод, что наибольшей точностью обладает нейронная сеть, который соответствует 27-ой столбец диаграммы, изображенной на рисунке 4.24. Точность распознавания данной нейронной сети составляет 90.75%. Данная нейронная сеть имеет структуру, описанную в таблице 4.5.

Таблица 4.5 – Архитектура выбранной нейронной сети

Номер сверточного слоя	Размер ядра свертки	Количество карт признаков
1	$5 \times 5$	20
2	$3 \times 3$	40
3	$7 \times 7$	80
4	$3 \times 3$	160

Далее для данной архитектуры экспериментально было подобрано количество карт признаков. На рисунке 4.25 продемонстрирована зависимость точности распознавания от количества карт признаков на 1 слое нейронной сети (количество карт признаков на каждом последующем слое удваивается).

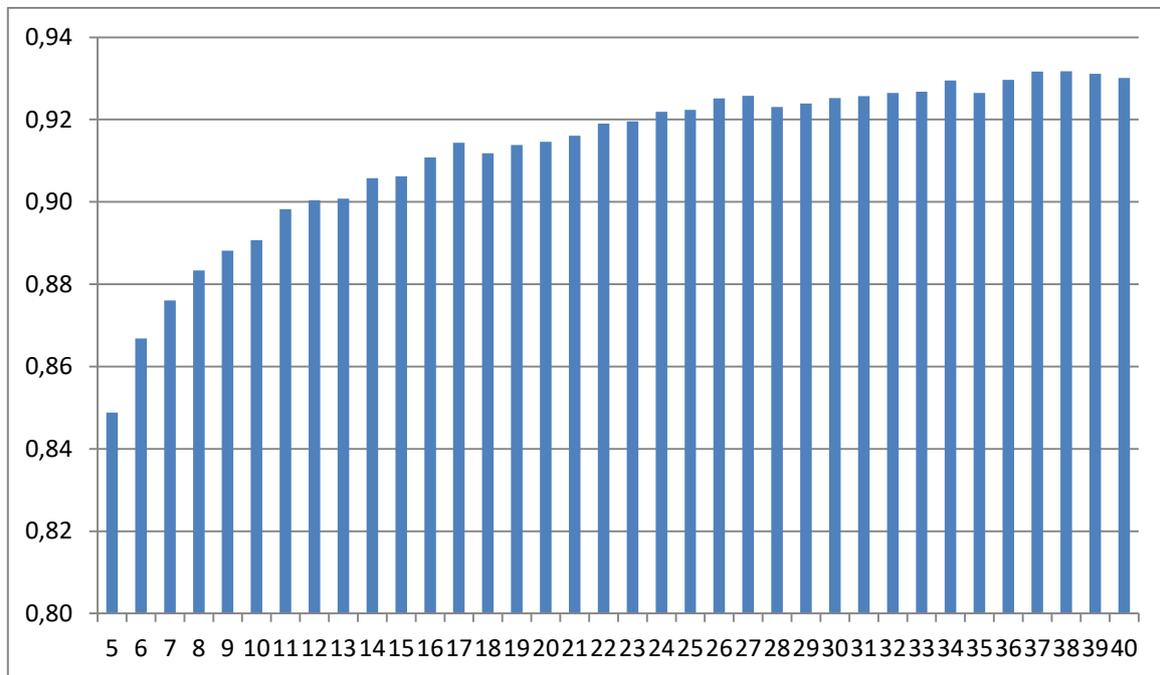


Рисунок 4.25 – Зависимость точности распознавания от количества фильтров на первом слое нейронной сети

Исходя из полученных результатов было решено взять количество фильтров на первом слое равным 25, так как дальнейшее увеличение значения количества фильтров не ведет к большому приросту точности, а ведет лишь к увеличению времени распознавания.

#### **4.2.2 Подбор архитектуры нейронной сети для распознавания цифр, минусов и запятых**

Аналогичный вышеописанному эксперимент был проведен для подбора архитектуры нейронной сети для распознавания цифр, минусов и запятых. На рисунках 4.26 и 4.27 продемонстрированы зависимости точности распознавания от архитектуры нейронной сети и количества фильтров соответственно.

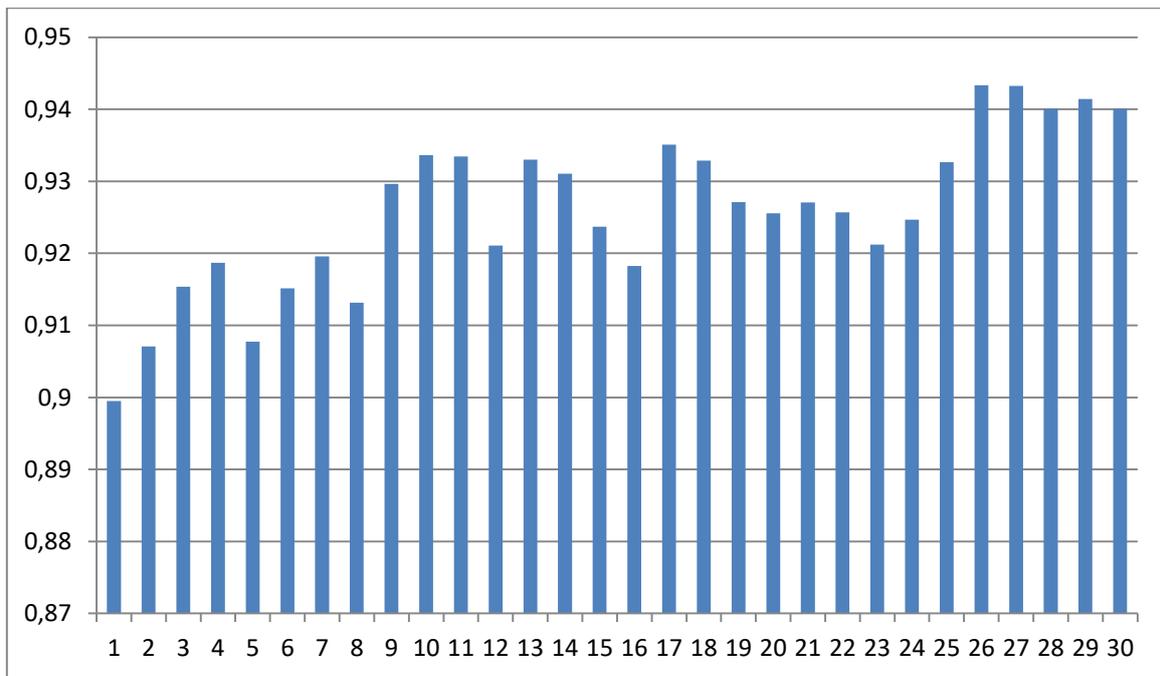


Рисунок 4.26 – Зависимость точности распознавания от архитектуры нейронной сети

Исходя из результатов эксперимента можно сделать вывод, что наибольшей точностью обладает нейронная сеть, который соответствует 26-ой столбец диаграммы, изображенной на рисунке 4.26. Точность данной нейронной сети составляет 94,33 %. Данная нейронная сеть имеет структуру, описанную в таблице 4.6.

Таблица 4.6 – Архитектура выбранной нейронной сети

Номер сверточного слоя	Размер ядра свертки	Количество карт признаков
1	5x5	20
2	3x3	40
3	3x3	80
4	5x5	160

Далее для данной архитектуры экспериментально было подобрано количество карт признаков. На рисунке 4.27 продемонстрирована зависимость точности распознавания от количества карт признаков на 1 слое нейронной сети (количество карт признаков на каждом последующем слое удваивается).

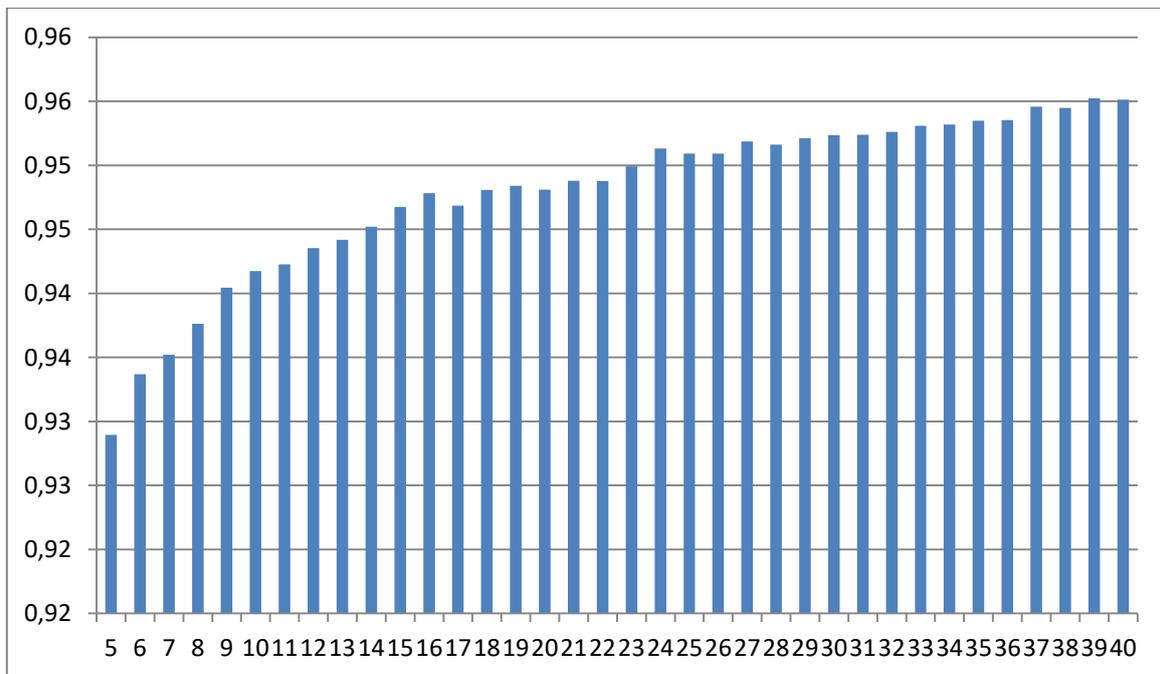


Рисунок 4.27 – Зависимость точности распознавания от количества фильтров

Исходя из полученных результатов было решено взять количество фильтров на первом слое равным 25, так как дальнейшее увеличение значения количества фильтров не ведет к большому приросту точности, а ведет лишь к увеличению времени распознавания.

### 4.3 Результаты обучения

Было проведено 100 обучений нейронной сети для распознавания рукописных символов. Для каждого обучения выбиралось лучшее значение точности распознавания валидационной выборки. Результирующее значение точности распознавания было получено путем усреднения полученных значений и составило **98.4 %**. Матрица ошибок для полученной нейронной сети продемонстрирована в приложении В.

Сравнивая результаты для полученной архитектуры нейронной сети с результатами, полученными с помощью предыдущей архитектуры, можно сделать следующие выводы:

- общее количество правильно распознанных символов увеличилось;
- в некоторых классах неверно распознанных букв стало незначительно больше («Г», «Ё», «Л», «М» и т. д.);

- в некоторых классах количество неверно распознанных букв уменьшилось в разы («И», «Р», «Х», «Ц», «Щ»).

Отсюда можно сделать вывод, что полученная архитектура нейронной сети лучше подходит для решения задачи, чем первоначальный вариант.

Значение точности распознавания нейронной сети для распознавания цифр, минусов и запятых было получено аналогично вышеописанному способу и составило **99.7 %**.

В силу того, что скорость работы верификатора зависит от процента верно распознанных ответов участника на бланке, имеет смысл вычислить данный показатель. Ответы вносятся участниками экзамена в поля для заполнения ответов. Пример распознаваемого бланка ответа продемонстрирован на рисунке 4.28.

КОД БЛАНКА



20100000001

Заполнить гелевой или капиллярной ручкой ЧЕРНЫМИ чернилами ЗАГЛАВНЫМИ ПЕЧАТНЫМИ БУКВАМИ по следующему образцу:

А Б В Г А Е Ж З И Й К Л М Н О П Р С Т У Ф Х Ц Ч  
 Ш Щ Ъ Ы Ь Э Ю Я А В С D E F G H I J K L M N O P Q  
 R S T U V W X Y Z , - 1 2 3 4 5 6 7 8 9 0



ВНИМАНИЕ! Все бланки и листы с контрольными измерительными материалами рассматриваются в комплекте.

Результаты выполнения заданий с КРАТКИМ ОТВЕТОМ

1 2 4	21 3 5
2 И М Е Н Н О	22 2 4
3 6	23 Н И В Ь Е М Э А Р Ы Ь Л И
4 П О Д Н Я В	24 1 0
5 В Е К О В О Й	25 4 6 8 9
<hr/>	
6 Г Л У Б О К О	26
7 8 7 9 6 1	27
8 Н Е П О З В О Л И Т Е Л Ь Н О	28
9 <del>В О</del>	29
10 З А В И С Т Л И Ч Ы Й	30
<hr/>	
11 И З О Б Р А Ж А Е М Ы Й	31
12 Н Е Я С Н О Е	32
13 Ч Т О Б Ы П О С Т А Р О М У	33
14 2 3	34
15 1 5	35
<hr/>	
16 1 2 3 4	36
17 1 2	37
18 2	38
19 2 4	39
20 Ш К О Л Ь Н И К О В	40

Замена ошибочных ответов на задания с КРАТКИМ ОТВЕТОМ

9 - <del>В О З В Р А Щ Е Н И Е</del>	---
9 - <del>П Р И В Е С И Л П Р И К О Л</del>	---
9 - <del>О Б Ъ Я Т И Я В Ь Ю Т А</del>	---

Рисунок 4.28 – Бланк ответов, используемый для тестирования

Ответы участника экзамена записаны в полях для символов, которые располагаются под надписью «результаты выполнения заданий с КРАТКИМ

ОТВЕТОМ», а также под надписью «Замена ошибочных ответов на задания с КРАТКИМ ОТВЕТОМ».

Интерфейс программы распознавания, которая использует данную библиотеку, продемонстрирован на рисунке 4.29.



Рисунок 4.29 – Интерфейс программы для распознавания ответов

Для сравнения результатов распознавания полученного программного продукта с программой Abbyy FormReader, которая используется в ЦОКО Томской области на данный момент, было распознано 300 бланков русского языка и 200 бланков базовой математики. Из бланков ответов русского языка были взяты только ответы, содержащие буквы. Результаты распознавания приведены в таблице 4.7.

Таблица 4.7 – Результаты распознавания

Распознаваемый класс	Количество распознаваемых ответов	Количество верно распознанных ответов программой Abbyy FormReader	Количество верно распознанных ответов разработанной программой	Точность распознавания программы Abbyy FormReader	Точность распознавания разработанной программы
Цифры, минус, запятая	3722	2656	3178	71,4%	85,4%
Символы русского алфавита	3534	2809	2244	79,5%	63,5%

Разработанная программа превзошла программу Abbyy FormReader по распознаванию ответов, содержащих цифры, минусы и запяты. Полученный результат обуславливается тем, что Abbyy FormReader часто ошибочно распознает запяты как символ «^».

Разработанная программа показала худший результат по распознаванию ответов, состоящих из символов русского алфавита. Это обуславливается тем,

что программный продукт Abbyy FormReader лучше распознает схожие по написанию буквы, а также умеет распознавать строчные буквы, которые написаны с несоблюдением образца.

#### 4.4 Реализация программной части

Программная часть реализована в виде dll-библиотеки, написанной на языке программирования C#. Нейронная сеть сохранена в формате .onnx. Для запуска нейронной сети используется библиотека Microsoft ONNX Runtime. Диаграмма классов библиотеки продемонстрирована на рисунке 4.30.

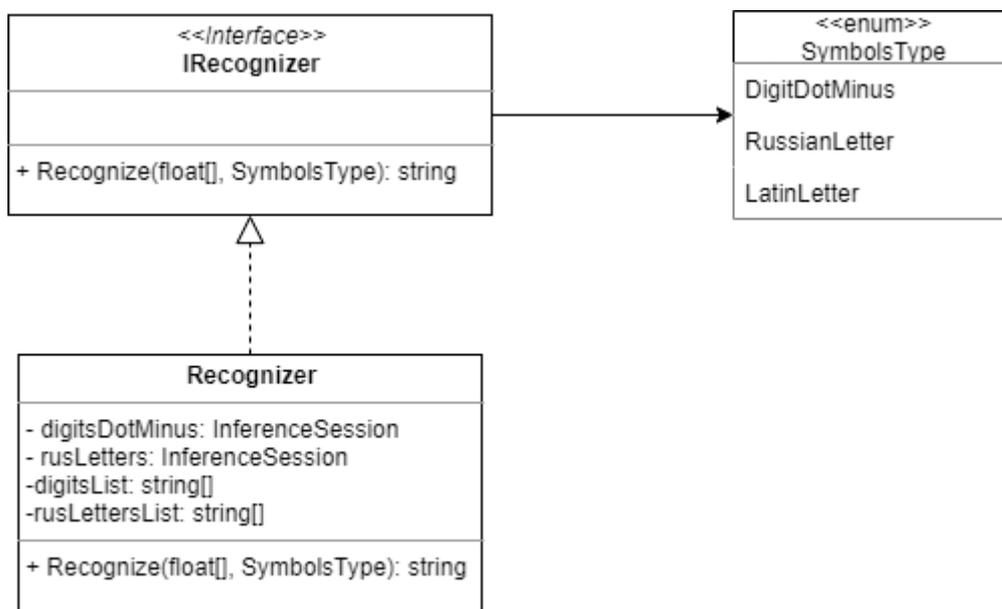


Рисунок 4.30 – UML диаграмма классов

Был реализован интерфейс IRecognizer, который содержит метод Recognize. Создание данного интерфейса позволит использовать паттерн Dependency injection. У данного метода есть два аргумента: массив float[], которому соответствует изображение, преобразованное в одномерный массив. Значению 0 в данном массиве соответствует черный цвет на изображении, а значению 1 – белый. Второй аргумент данного метода – перечисление SymbolsType, которое служит для определения нужного класса символов:

- цифры, минус, запятая;
- символы русского алфавита;
- символы латинского алфавита.

Шаблоны бланка устроены таким образом, что у каждого поля для ответа заранее определен класс вносимых в него символов.

Класс `Recognizer` реализует интерфейс `IRecognizer`. У данного класса есть поля типа `InferenceSession`: `digitsDotMinus` и `rusLetters`. Данным полям соответствуют нейронные сети, которые выполняют распознавание. Кроме того в данном классе есть поля типа `string[]`: `digitsList`, `rusLettersList`. Данные поля нужны для сопоставления выходов нейронной сети символам.

## 5 ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Технико-экономическое обоснование научно-исследовательских работ проводится с целью определения и анализа трудовых и денежных затрат, направленных на их реализацию, а также уровня их научно-технической результативности.

### 5.1 Организация и планирование ОКР (НИР) работ

Для грамотной организации процесса реализации проекта или научного исследования необходимо спланировать занятость участников и сроки работ.

В данном пункте составляется перечень работа, определяются их исполнители и продолжительность. Для наглядного представления результата планирования используется линейный график, т. к. число исполнителей равняется двум. Полученный линейный график продемонстрирован в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Линейный график

Этапы работы	Исполнители	Загрузка (занятость) исполнителей
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	НР – 100%
Ознакомление с предметной областью	НР, И	НР – 30% И – 100%
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	НР – 100% И – 10%
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	НР – 30% И – 100%
Подготовка обучающей выборки	И	И – 100%
Подбор архитектуры нейронных сетей	НР, И	НР – 30% И – 100%

### Продолжение таблицы 5.1

Обучение нейронных сетей и валидация результатов	НР, И	НР – 10% И – 100%
Реализация модуля распознавания	И	И – 100%
Тестирование и отладка модуля распознавания	НР, И	НР – 10% И – 100%
Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	НР – 40% И – 100%
Подведение итогов	НР, И	НР – 70% И – 100%

#### 5.1.1 Определение продолжительности этапов работ

Для расчета продолжительности работ используется опытно-статистический метод, реализованный экспертным способом.

Для определения вероятных (ожидаемых) значений продолжительности работ  $t_{ож}$  будет применяться следующая формула:

$$t_{ож} = \frac{3 \cdot t_{min} + 2 \cdot t_{max}}{5}, \quad (9)$$

где  $t_{min}$  – минимальная продолжительность работы, дн.;

$t_{max}$  – максимальная продолжительность работы, дн.

Для выполнения перечисленных в таблице 1 работ требуются специалисты:

- инженер или научный сотрудник – в его роли действует исполнитель ВКР;
- научный руководитель ВКР.

Для построения линейного графика необходимо рассчитать длительность этапов в рабочих днях, а затем перевести ее в календарные дни. Расчет продолжительности выполнения каждого этапа в рабочих днях ( $T_{РД}$ ) ведется по формуле:

$$T_{РД} = t_{ож} * K_{ВН} * K_{Д} \quad (10)$$

где  $t_{ож}$  – продолжительность работы, дн.;

$K_{\text{вн}}$  – коэффициент выполнения работ, учитывающий возможное влияние внешних факторов на соблюдение предварительно определенных длительностей, в частности, возможно:

$K_{\text{вн}} = 1$  – влияние отсутствует;

$K_{\text{вн}} < 1$  – ускоряющее влияние;

$K_{\text{вн}} > 1$  – замедляющее влияние.

$K_{\text{д}}$  – коэффициент, учитывающий дополнительное время на компенсацию непредвиденных задержек, вызванных внутренними причинами.

Примем значения  $K_{\text{вн}}$  и  $K_{\text{д}}$  равными 1.2, т. к. в ходе выполнения магистерской диссертации возникало много внешних и внутренних факторов, замедляющих выполнение работы

Расчет продолжительности этапа в календарных днях ( $T_{\text{кд}}$ ) ведется по формуле:

$$T_{\text{кд}} = T_{\text{рд}} \cdot T_{\text{к}}, \quad (11)$$

где  $T_{\text{к}}$  – коэффициент календарности, позволяющий перейти от длительности работ в рабочих днях к их аналогам в календарных днях, и рассчитываемый по формуле

$$T_{\text{к}} = \frac{T_{\text{кал}}}{T_{\text{кал}} - T_{\text{вд}} - T_{\text{пд}}} \quad (12)$$

где  $T_{\text{кал}}$  – календарные дни ( $T_{\text{кал}} = 365$ );

$T_{\text{вд}}$  – выходные дни ( $T_{\text{вд}} = 52$ );

$T_{\text{пд}}$  – праздничные дни ( $T_{\text{пд}} = 10$ ).

$$T_{\text{к}} = \frac{365}{365 - 52 - 10} = 1,205$$

Таблица с трудозатратами на выполнение проекта приведена в приложении Г. График выполнения работ приведен в приложении Д.

## 5.2 Расчет затрат на выполнение проекта

В состав затрат на создание проекта включается величина всех расходов, необходимых для реализации комплекса работ, составляющих содержание данной разработки. Расчет сметной стоимости ее выполнения производится по следующим статьям затрат:

- заработная плата;
- социальный налог;
- расходы на электроэнергию (без освещения);
- амортизационные отчисления;
- командировочные расходы;
- оплата услуг связи;
- арендная плата за пользование имуществом;
- прочие услуги (сторонних организаций);
- прочие (накладные расходы) расходы.

### 5.2.1 Расчет основной заработной платы

Данная статья расходов включает заработную плату научного руководителя и инженера, а также премии, входящие в фонд заработной платы. Расчет основной заработной платы выполняется на основе трудоемкости выполнения каждого этапа и величины месячного оклада исполнителя.

Среднедневная тарифная заработная плата ( $ZП_{дн-т}$ ) рассчитывается по формуле для 5-дневной рабочей недели

$$ZП_{дн-т-5} = MO/20,75 \quad (13)$$

Приведем расчет затрат на заработную плату. Затраты времени в рабочих днях берутся из таблицы 5.2. Также был принят во внимание коэффициент, учитывающий коэффициент по премиям  $K_{доп.ЗП} = 1,113$ , КПП

= 1,1 и районный коэффициент КРК = 1,3 ( $K = 1 * КПР * КРК * КРК = 1 * 1,1 * 1,3 * 1,113 = 1,59$ ).

Таблица 5.2 – Затраты на основную заработную плату

Исполнитель	Оклад, руб./мес.	Среднедневная ставка, руб./раб. день	Затраты времени, раб. дни	Коэффициент	Фонд з/платы, руб.
НР	40000	1927,71	49,68	1,59	152272,13
И	25000	1204,82	156,4992	1,59	299799,85
Итого:					452071,98

### 5.2.2 Расчет затрат на социальный налог

Затраты на единый социальный налог (ЕСН), включающий в себя отчисления в пенсионный фонд, на социальное и медицинское страхование, составляют 30 % от полной заработной платы по проекту, т.е.  $C_{соц.} = C_{зп} * 0,3$ . В рассматриваемом случае  $C_{соц.} = 452071,98 * 0,3 = 135\ 621,59$  руб.

### 5.2.3 Расчет затрат на электроэнергию

Данный вид расходов включает в себя затраты на электроэнергию, потраченную в ходе выполнения проекта на работу используемого оборудования, рассчитываемые по формуле:

$$C_{эл.об.} = P_{об.} \cdot t_{об.} \cdot Ц_{э} \quad (14)$$

где  $P_{об.}$  – мощность, потребляемая оборудованием, кВт;

$Ц_{э}$  – тариф на 1 кВт·час;

$t_{об.}$  – время работы оборудования, час.

Для данной работы  $Ц_{э} = 6,59$  руб/кВт\*ч.

Время работы оборудования вычисляется на основе итоговых данных таблицы 2 для инженера ( $T_{рд}$ ) из расчета, что продолжительность рабочего дня равна 8 часов.

$$t_{об.} = T_{рд} * K_t, \quad (15)$$

где  $K_t \leq 1$  – коэффициент использования оборудования по времени, равный отношению времени его работы в процессе выполнения проекта к  $T_{рд}$ , определяется исполнителем самостоятельно.

Мощность, потребляемая оборудованием, определяется по формуле:

$$P_{об} = P_{ном.} * K_C \quad (16)$$

где  $P_{ном.}$  – номинальная мощность оборудования, кВт;

$K_C \leq 1$  – коэффициент загрузки, зависящий от средней степени использования номинальной мощности. Для технологического оборудования малой мощности  $K_C = 1$ .

Расчеты затрат на электроэнергию для технологических целей приведены в таблице 5.3.

Таблица 5.3 – Расчет затрат на электроэнергию

Наименование оборудования	Время работы оборудования $t_{об}$ , час	Потребляемая мощность $P_{об}$ , кВт	Затраты $\Delta_{об}$ , руб.
Персональный компьютер	1251,99	0,3	2475,18
<b>Итого:</b>			<b>2475,18</b>

#### 5.2.4 Расчет амортизационных расходов

В статье «Амортизационные расходы» рассчитывается амортизация используемого оборудования за время выполнения проекта.

Используется формула

$$C_{ам} = \frac{N_A * C_{об} * t_{рф} * n}{F_d}, \quad (17)$$

где  $N_A$  – годовая норма амортизации единицы оборудования. Для ПК это  $2 \div 3$  года. Необходимо задать конкретное значение  $C_A$  из указанного интервала, например, 2,5 года. Далее определяется  $N_A$  как величина обратная  $C_A$ , в данном случае это  $1: 2,5 = 0,4$ .

$C_{об}$  – балансовая стоимость единицы оборудования с учетом ТЗР. При невозможности получить соответствующие данные из бухгалтерии она

может быть заменена действующей ценой, содержащейся в ценниках, прейскурантах и т.п. Цена ПК, на котором производились работы – 60000 рублей.

$F_{д}$  – действительный годовой фонд времени работы соответствующего оборудования, берется из специальных справочников или фактического режима его использования в текущем календарном году. При этом второй вариант позволяет получить более объективную оценку  $C_{ам}$ . Для 2019 года, в котором выполнялись работы, количество рабочих дней при пятидневной рабочей неделе составляло 247, следовательно  $F_{д} = 247 * 8 = 1976$  часов;

$t_{рф}$  – фактическое время работы оборудования в ходе выполнения проекта, учитывается исполнителем проекта, время работы ПК  $t_{рф} = 1251,99$ .

$n$  – число задействованных однотипных единиц оборудования. Т. к. использовался только один ПК, то  $n = 1$ . Таким образом расход на амортизационные отчисления:

$$C_{ам} = \frac{0,4 * 60000 * 1251,99 * 1}{1976} = 15206,36$$

### **5.2.5 Расчет прочих расходов**

В статье «Прочие расходы» отражены расходы на выполнение проекта, которые не учтены в предыдущих статьях, их следует принять равными 10% от суммы всех предыдущих расходов, т.е.

$$C_{проч.} = (C_{мат} + C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам} + C_{нп}) * 0,1$$

Найдем прочие расходы:

$$C_{проч.} = (C_{зп} + C_{соц} + C_{эл.об.} + C_{ам}) * 0,1 = (452071,98 + 135 621,59 + 2475,18 + 15206,36) * 0,1 = 60537,51.$$

### **5.2.6 Расчет общей себестоимости проекта**

Проведя расчет по всем статьям сметы затрат на разработку, можно определить общую себестоимость проекта «Разработка библиотеки

нейросетевого распознавания рукописных символов на машинопечатанных бланках»

Таблица 5.4 – Итоговая стоимость проекта

Статья затрат	Условное обозначение	Сумма, руб.
Материалы и покупные изделия	$C_{\text{мат}}$	0
Основная заработная плата	$C_{\text{зп}}$	452071,98
Отчисления в социальные фонды	$C_{\text{соц}}$	135 621,59
Расходы на электроэнергию	$C_{\text{эл.}}$	2475,18
Амортизационные отчисления	$C_{\text{ам}}$	15206,36
Непосредственно учитываемые расходы	$C_{\text{нр}}$	0
Прочие расходы	$C_{\text{проч}}$	60537,51
Итого:		665912,62

Таким образом, затраты на разработку составили  $C = 665912,62$  руб.

### 5.2.7 Расчет прибыли

Прибыль принимается равной 20% от расходов на разработку и составляет. **133182,52** руб.

### 5.2.8 Расчет НДС

НДС составляет 20% от суммы затрат на разработку и прибыли. В рассматриваемом случае НДС составляет **159819,03** руб.

### 5.2.9 Цена разработки НИР

Цена равна сумме полной себестоимости, прибыли и НДС, в рассматриваемом случае:

$$C_{\text{ОКР (НИР)(КР)}} = 664202,16 + 159408,52 + 132840,43 = \mathbf{958914,17} \text{ руб.}$$

## 5.3 Оценка экономической эффективности проекта

Выполнение научно-исследовательских работ оценивается уровнями достижения экономического, научного, научно-технического и социального эффектов. Научный эффект характеризует получение новых научных знаний

и отображает прирост информации, предназначенной для внутринаучного потребления. Научно-технический эффект характеризует возможность использования результатов в других проектах и обеспечивает получение информации, необходимой для создания новой техники. Экономический эффект характеризуется в частности выраженной в стоимостных показателях экономией живого общественного труда, а также в возможности применения полученных знаний для создания новых разработок. Социальный эффект проявляется в улучшении условий труда.

Экономическая эффективность проекта обусловлена возрастающей необходимостью в системах автоматизации процессов обработки машиночитаемых бланков. Конечная система в виде автоподключаемого модуля или библиотеки с возможностью сегментирования и распознавания рукописной части машиночитаемых бланков является востребованной и актуальной на сегодняшний день. Использованной подобной системы в коммерческой и социальной сфере позволяет решать такие задачи, как оперативная обработка рукописной части бланков, а так же систематизация и проверка полученных результатов.

Подводя итог вышесказанному, экономический эффект от реализации проекта может быть выражен в снижении затрат на покупку подобных систем от сторонних разработчиков, а так же повышение эффективности обработки бланков за счет экономии времени при замене ручной обработки на автоматизированную.

### **5.3.1 Определение срока окупаемости инвестиций (PP – payback period)**

Данный показатель определяет продолжительность того периода, через который инвестиции будут возвращены полученной благодаря им прибылью. Чем меньше **PP**, тем эффективнее проект. Использование

показателя предполагает установление для него приемлемого значения как меры эффективности инвестиций. Для вычисления РР используется формула:

$$PP = n_{цj} + \frac{\Delta PR_{цj}}{PR_{цj+1}}, \quad (18)$$

где  $n_{цj}$  – целое число лет, при котором накопленная сумма прибыли наиболее близка к величине инвестиций  $I_0$ , но не превосходит ее;

$\Delta PR_{цj}$  – непокрытая часть инвестиций по истечении  $n_{цj}$  лет реализации проекта;

$PR_{цj+1}$  – прибыль за период, следующий за  $n_{цj}$ -м.

За источник прибыли будем считать цену лицензии готового программного продукта. Цена лицензии будет составлять 200000 рублей.

Так как цена лицензии без НДС равна 200000 рублей, то для получения прибыли необходимо вычесть этот налог. Цена лицензии без НДС равна  $C_{л(без НДС)} = 200\,000 / 1,2 = 166666,67$ .

Кроме того, для получения значения балансовой прибыли (прибыль до налогообложения) из  $C_{л(без НДС)}$  необходимо вычесть сопутствующие при продаже лицензии расходы, перечень затрат представлен в таблице 5.5.

Таблица 5.5 – Сопутствующие расходы

Наименование	Цена за 1 шт. (руб)
Установочный диск 1 шт.	300
Комплект документов для покупателя 1 шт.	1000
Оплата труда дистрибьютеру лицензий за 1 проданную лицензию	7000
Итого:	8300

Следовательно, балансовая прибыль от продажи одной лицензии равна  $PP_{л} = 166666,67 - 8300 = 158366,67$  рубля.

Также, чтобы пользоваться ПО необходимо каждый год продлевать лицензию. Цена продления лицензии равна 50 000 рублей, при этом сопутствующие затраты отсутствуют, значит, балансовая прибыль от

продажи продления равна ее цене за вычетом НДС = 20%. Тогда  $PP_{л.пд} = Ц_{л.пд}(\text{без ДС}) / 1,2 = 41666,67$  рублей.

Так как для расчетов окупаемости проекта необходима чистая прибыль, то из балансовой прибыли необходимо также вычесть налог на прибыль (чистая прибыль рассчитывается как 83,33% от балансовой прибыли).

Таким образом, прибыль за год считается по следующей формуле:

$$PP_{чj} = (PP_{л} * n1 + PP_{л.пд} * n2) * 0,8333 = \\ = (158366,67 * n1 + 41666,67 * n2) * 0,8333,$$

где  $PP_{л}$  – балансовая прибыль с продажи одной лицензии;

$PP_{л.пд}$  – балансовая прибыль с продажи одного продления лицензии;

$n1$  – количество проданных лицензий;

$n2$  – количество проданных продлений лицензии.

Расчет накопленных денежных поступлений по проекту приведен в таблице 5.6, где каждый год планируется продавать три лицензии и продлевать ранее купленные.

Таблица 5.6 – Накопленные денежные поступления по проекту

Год	Инвестиции (руб.)	Балансовая прибыль (до вычета налога) (руб.)	Чистая прибыль (руб.)	Накопленный денежный поток (руб.)
0	-958914,17	475100,01	395900,8	-563013
1		600100,02	500063,3	-62950
2		725100,03	604225,9	541275,9
3		850100,04	708388,4	1249664
4		975100,05	812550,9	2062215
5		1100100,06	916713,4	2978928

Рассчитаем РР, используя формулу 5.3. Из приведенных в таблице 5.6 расчетов следует, что 1-й год эксплуатационного периода дает минимум непокрытого остатка (-62950 руб.) инвестированной суммы 958914,17руб.,

следовательно,  $n_{цj} = 1$ . Тогда  $\frac{\Delta PR_{чj}}{PR_{чj+1}} = 62950 / 604225,9 = 0,1$ , следовательно,  $PP$  равен 1,1 года.

Полученное значение говорит о том, что при описанном плане продаж затраты на проект окупятся спустя примерно 1 год и 1 месяц, и дальше такой проект будет приносить только чистый доход, который может значительно вырасти при условии вовлечения новых клиентов для продажи лицензии продукта. К тому же, такая экономическая эффективность напрямую зависит от количества проданных лицензий ПО в первый и последующие годы.

Так как период окупаемости больше года, то при расчете срока окупаемости  $PP$  необходимо учесть изменение ценности денег во времени. А также целесообразно рассчитать величину накопленного чистого эффекта по формуле:

$$NPV = \sum_{j=1}^n PR_{чj} - I_0, \quad (19)$$

где  $n$  – продолжительность в годах периода оценки эффекта или срок реализации проекта примем 5 лет.

При расчетах по формулам 18-19 вместо величин  $\Delta PR_{чj}$  и  $PR_{чj+1}$  необходимо использовать их дисконтированные аналоги, получаемые путем деления  $\Delta PR_{чj}$  и  $PR_{чj+1}$  на  $(1 + i)^j$ , где  $i$  – ставка дисконтирования (целевой уровень годовой доходности инвестируемых средств) с принятым значением  $i = 0,1$ . Следовательно, произведем перерасчет данных таблицы 5.6, но с учетом убывания реальной стоимости результатов в будущие периоды (годы) относительно периода инвестирования. Расчет дисконтированного срока окупаемости представлен в таблице 5.7.

Таблица 5.7 – Расчет дисконтированного срока окупаемости

Год	Инвестиции (руб.)	Балансовая прибыль (до вычета налога) (руб.)	Коэффициент дисконтирования $1/(1+0,1)^i$	Дисконтированная прибыль	Накопленный денежный поток
0	-958914,17	475100,01	1	395900,8	-563013
1		600100,02	0,9091	454603	-108410
2		725100,03	0,8264	499360,2	390949,9
3		850100,04	0,7513	532222,7	923172,6
4		975100,05	0,683	554983,2	1478156
5		1100100,06	0,6209	569206,9	2047363

Рассчитаем РР для данного случая с учетом дисконтирования, используя формулу 10. Из приведенных в таблице 8 расчетов следует, что минимум непокрытого остатка инвестированной суммы дает 1-й год эксплуатационного периода (-108410 руб.), следовательно,  $n_{ц_j} = 1$ . Тогда

$$\frac{\Delta PR_{ч_j}}{PR_{ч_{j+1}}} = 108410 / 499360,2 = 0,22; \text{ следовательно, РР равен } 1,22 \text{ года.}$$

Полученное значение говорит о том, что при таком же плане продаж, но с учетом изменения ценности денег, затраты на проект окупятся спустя 1 год и 2,6 месяца, что отличается на 1,6 месяца от расчетов без учета такой особенности. При этом, величина накопленного чистого эффекта, рассчитанная по формуле 11, равна 2047363 рублей.

Такие результаты говорят, что при следовании описанному плану продаж лицензий разработанного продукта и 5-летнем сроке реализации проекта, затраты на разработку не только полностью окупятся после 1,22 года на рынке, но и к концу срока будет получен чистый доход, составляющий  $\frac{NPV}{I_0} = 2047363 / 958914,17 = 213,51\%$  от суммы инвестиции в

проект. Таким образом, расчеты сроков окупаемости подтверждают, что данный проект является экономически эффективным.

## 6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Разработанный в рамках магистерской диссертации проект является библиотекой, предназначенной для распознавания машиночитаемых бланков. Разработка библиотеки велась исключительно при помощи компьютера. Сферы применения разработки очень широки: от нужд обычных пользователей до специализированных задач. Одним из наиболее перспективных применений является разработка на основе описываемого в данной работе метода программной системы обработки бланков ЕГЭ. Независимо от конкретного применения, взаимодействие пользователя с разработанной программой в любом случае производится с помощью программных и аппаратных средств ПЭВМ, а также с помощью периферийных устройств, подключенных к ПЭВМ.

Данный раздел посвящен анализу вредных и опасных факторов производственной среды для операторов ПЭВМ а так же разработке программ по минимизации воздействия вредоносного и опасного влияния выявленных факторов, а также программ по снижению вредных воздействий на окружающую среду, экономии невозобновимых ресурсов и защите в чрезвычайных ситуациях.

Разработка осуществлялась за настольным персональным компьютером в офисном помещении в центре мониторинга и оценки качества образования ОГБОУ ДПО «Томский областной институт повышения квалификации и переподготовки работников образования». Данный центр ответственен за проведение ГИА на территории Томской области.

## **6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности**

### **6.1.1 Правовые нормы трудового законодательства для рабочей зоны оператора ПЭВМ**

Регулирование отношений между работником и работодателем, касающихся оплаты труда, трудового распорядка, особенности регулирования труда женщин, детей, людей с ограниченными способностями и проч., осуществляется законодательством РФ, а именно трудовым кодексом РФ.

Количество рабочих часов в неделю не превышало 40 часов, работа велась в будние дни, в течение рабочего дня предоставлялся часовой перерыв для отдыха и питания, который к рабочему времени не относится. Организацией предоставлялся ежегодный отпуск продолжительностью 28 календарных дней. Заработная плата выплачивалась своевременно, без задержек [11].

Деятельность при выполнении магистерской диссертации также связана с работой за компьютером (или ПЭВМ). Основным документом, регулирующим условия и организацию работы с ПЭВМ, является санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 «Гигиенические требования к персональным электронно-вычислительным машинам и организации работы», которые включают ряд требований к ПЭВМ и организации рабочего места, а также к факторам, оказывающим на пользователя ПЭВМ опасное и вредное влияние [15]. Также используется ГОСТы регулирующие рабочее место пользователя ПЭВМ: ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ «Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования» и ГОСТ Р 50923-96. «Дисплеи. Рабочее место

оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения» [16-17].

Для создания комфортной и безопасной среды для работы за компьютером необходимо учитывать эргономические требования к правильному расположению и компоновке рабочей зоны инженера. В офисном помещении ОГБОУ ДПО «Томский областной институт повышения квалификации и переподготовки работников образования», планировка рабочих мест учитывает требования к расстоянию между рабочими столами с видеомониторами и составляет 3 м. При этом расстояние от глаз до самого монитора составляет 650 мм, а конструкция ПЭВМ обеспечивает возможность поворота корпуса в горизонтальной и вертикальной плоскости с фиксацией в заданном положении для обеспечения фронтального наблюдения монитор. Т.е. приняты все меры по обеспечению оптимального размещения используемого оборудования на поверхности рабочего стола. Монитор также предусматривает регулирование яркости и контрастности, что уменьшает нагрузку на глаза и увеличивает комфортность работы на ПЭВМ.

Кроме того, форма рабочего стола должна быть удобна для поддержания рациональной позы пользователя, так, чтобы он мог менять положения своего тела для предупреждения утомления. В таблицах 6.1– 6.2 представлены фактические значения параметров рабочей зоны инженера в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03, ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ и ГОСТ Р 50923-96.

Таблица 6.1 – Анализ рабочего места

<b>Требование</b>	<b>Факт</b>
Окна должны быть ориентированы на север и северо-восток	Все окна ориентированы на юг
Оконные проемы должны быть оборудованы регулируемыми устройствами типа: жалюзи, занавесей, внешних козырьков	Не имеются жалюзи

Продолжение таблицы 6.1

Площадь на одно рабочее место пользователей ПЭВМ на базе плоских дискретных экранов (жидкокристаллические, плазменные) - 4,5 м2	<b>На одно рабочее место выделена площадь 5 м2</b>
Помещения, где размещаются рабочие места с ПЭВМ, должны быть оборудованы защитным заземлением (занулением) в соответствии с техническими требованиями по эксплуатации	<b>Заземление имеется</b>
Не следует размещать рабочие места с ПЭВМ вблизи силовых кабелей и вводов, высоковольтных трансформаторов, технологического оборудования, создающего помехи в работе ПЭВМ	<b>Вблизи подобных объектов нет</b>

Анализ рабочего места на основании данных таблицы 6.1 показывает, что все требования к рабочему месту выполнены, за исключением первого и второго. Солнце светит в окна днем, что затрудняет работу. Также усугубляет ситуацию отсутствие жалюзи. В результате было принято решение заклеить окна неплотной бумагой и использовать искусственное освещение при недостатке естественного света.

Требования к столу и стулу, представленные в таблице 6.2, соответствуют требованиям СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 для людей ростом выше 175 см.

Таблица 6.2 – Анализ параметров рабочего стола и стула

<b>Требование</b>	<b>Допустимые значения</b>	<b>Фактическое значение</b>
Поверхность стола, мм	760	<b>800</b>
Пространство для ног, мм	700	<b>700</b>
Высота сиденья над полом, мм	460	<b>500</b>
Ширина сиденья, не менее, мм	360	<b>405</b>
Глубина сиденья, мм	400	<b>400</b>
Высота нижнего края спинки над сиденьем, мм	190	<b>200</b>
Высота верхнего края спинки над сиденьем, мм	400	<b>450</b>

## Продолжение таблицы 6.2

Высота линии прогиба спинки, не менее, мм	220	<b>230</b>
Радиус изгиба переднего края сиденья, мм	20-50	<b>45</b>
Угол наклона сиденья	0-4°	3°
Угол наклона спинки	95-108°	90°
Радиус спинки в плане, не менее, мм	300	<b>300</b>

Фактические параметры из таблица 6.2 максимально приближены к допустимым, что делает условия для работы достаточно комфортными.

Кроме того, при работе с ПЭВМ было использовано рекомендуемое СанПиНом время перерывов 10-15 минут после каждых 45-60 минут работы с использованием комплекса профилактических мероприятий: упражнения для глаз и физкультурные минуты. Также в помещении проводились ежедневные влажные уборки и систематическое проветривание каждый час.

### **6.1.2 Влияние разработанного программного обеспечения на рабочий процесс**

Основным направлением реализации разработанного продукта является применение его в качестве программного обеспечения для сегментации и распознавания машиночитаемых бланков, для специалистов занимающихся обработкой бланков ЕГЭ. Сам продукт не влияет на организацию рабочей зоны, но работа с ним позволит реорганизовать работу специалистов, что в свою очередь повлияет на организацию рабочей зоны. Это может быть охарактеризовано с помощью следующих факторов:

- Сокращение времени обработки бланков, что уменьшает нагрузки специалиста, способствует увеличению частоты смены вида деятельности работника, как оператора ПЭВМ, и тем самым снижает влияние психофизических вредных факторов;
- Сокращение умственных и зрительных нагрузок на специалиста за счет автоматизации обработки бланков;

- Снижение общего времени нагрузок на специалиста, что уменьшает влияние вредных и опасных факторов производства.

Все перечисленные факторы, способствующие увеличению степени безопасности и удобства работы пользователей разработанной систем, что в свою очередь облегчает работу и положительно сказывается на производительности труда.

## 6.2 Производственная безопасность

Для обеспечения производственной безопасности необходимо проанализировать воздействия на человека вредных и опасных производственных факторов, которые могут возникать при разработке или эксплуатации проекта.

Производственный фактор считается вредным, если воздействие этого фактора на работника может привести к его заболеванию. Производственный фактор считается опасным, если его воздействие на работника может привести к его травме [11].

Все производственные факторы классифицируются по группам элементов: физические, химические, биологические и психофизические. Для данной работы целесообразно рассмотреть физические и психофизические вредные и опасные факторы производства, характерные как для рабочей зоны программиста, как разработчика рассматриваемой в данной работе системы, так и для рабочей зоны пользователя готового продукта. Выявленные факторы представлены в таблице 6.3.

Таблица 6.3 – Выявленные факторы

Источник фактора, наименование работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-74)		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	

Продолжение таблицы 6.3

<p>Работа за ПЭВМ</p>	<p>Отклонение показателей микроклимата; Недостаточная освещенность рабочей зоны; Шум; Электромагнитное излучение.</p>	<p>Опасность поражения электрическим током.</p>	<p>СанПиН 2.2.4.548–96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений. СП 52.13330.2016 Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95* ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Общие требования безопасности. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов.</p>
-----------------------	---	---	--

## 6.2.1 Вредные производственные факторы

### 6.2.1.1 Отклонение показателей микроклимата

Данный фактор является вредным производственным фактором и является фактором микроклимата рабочей среды, параметры которого регулируются СанПиН 2.2.4.548-96. Он больше характерен для рабочей среды программиста-разработчика системы. К параметрам, характеризующим микроклимат в производственных помещениях, относятся:

- Температура воздуха ( $t$ , °C);
- Температура поверхностей ( $t$ , °C);
- Относительная влажность воздуха ( $\varphi$ , %);
- Скорость движения воздуха ( $v$ , м/с);
- Интенсивность теплового облучения ( $I$ , Вт/м<sup>2</sup>).

В производственных помещениях для работы с ПЭВМ происходит постоянное выделение тепла самой вычислительной техникой, вспомогательными приборами и средствами освещения. Поскольку оператор расположен в непосредственной близости с источниками выделения тепла, то данный фактор является одним из важнейших вредных факторов производственной среды оператора ПЭВМ, а высокая температура воздуха способствует быстрому перегреву организма и быстрой утомляемости [13].

Влажность оказывает большое влияние на терморегуляцию организма. Так, например, высокие показатели относительной влажности (более 85 %) затрудняют терморегуляцию снижая возможность испарения пота, низкие показатели влажности (менее 20 %) вызывают пересыхание слизистых оболочек человека [14].

В соответствии с вышеизложенным можно провести анализ рабочего места офисного помещения, в котором проводились работы. Результаты анализа продемонстрированы в таблице 6.4.

Таблица 6.4 – Параметры микроклимата в помещениях с использованием ПЭВМ

Период года	Температура воздуха, °С		Температура поверхностей, °С		Относительная влажность, %		Скорость движения воздуха, м/с	
	Оптим.	Факт.	Отим.	Факт.	Оптим.	Факт.	Оптим.	Факт.
Холодный	22-24	<b>22-24</b>	21-25	<b>22-24</b>	60-40	<b>55</b>	0,1	<b>&lt; 0,1</b>
Теплый	23-25	<b>22-24</b>	22-26	<b>22-24</b>	60-40	<b>55</b>	0,1	<b>&lt; 0,1</b>

Задача заключается в том, чтобы поддерживать эти параметры в оптимальном состоянии. Для этого в офисе расположена система центрального отопления, кондиционер, а также естественная вентиляция. Для отслеживания значений параметров используется термометр с гигрометром. Анализ показал, что все значения параметров микроклимата находятся в пределах нормы, установленной СанПиН.

### 6.2.1.2 Недостаточная освещенность рабочей зоны

Недостаточная освещенность рабочей зоны является вредным производственным фактором, возникающим при работе с ПЭВМ, уровни которого регламентируются СП 52.13330.2016.

Причиной недостаточной освещенности являются недостаточность естественного освещения, недостаточность искусственного освещения, пониженная контрастность.

Работа с компьютером подразумевает постоянный зрительный контакт с дисплеем ПЭВМ и занимает от 80 % рабочего времени. Недостаточность освещения снижает производительность труда, увеличивает утомляемость и количество допускаемых ошибок, а также может привести к появлению профессиональных болезней зрения.

Разряд зрительных работ программиста и оператора ПЭВМ относится к разряду III и подразряду г (работы высокой точности). В таблице 6.5

представлены нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности.

Таблица 6.5 – Нормативные показатели искусственного освещения при работах заданной точности

Характеристика зрительной работы	Наименьший или эквивалентный размер объекта различения, мм	Разряд зрительной работы	Подразряд зрительной работы	Контраст объекта с фоном	Характеристика фона	Искусственное освещение		
						Освещенность, лк		
						При системе комбинированного освещения		При системе общего освещения
						Всего	В том числе от общего	
Высокой точности	От 0,3 до 0,5	III	г	Средний и большой	Светлый и средний	400	200	200

Также согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 уровень освещения на поверхности рабочего стола при работе с ПЭВМ должен быть в диапазоне от 300 до 500 лк.

Проведем расчет искусственного освещения для помещения, в котором производились работы. План помещения приведен на рисунке 6.1.

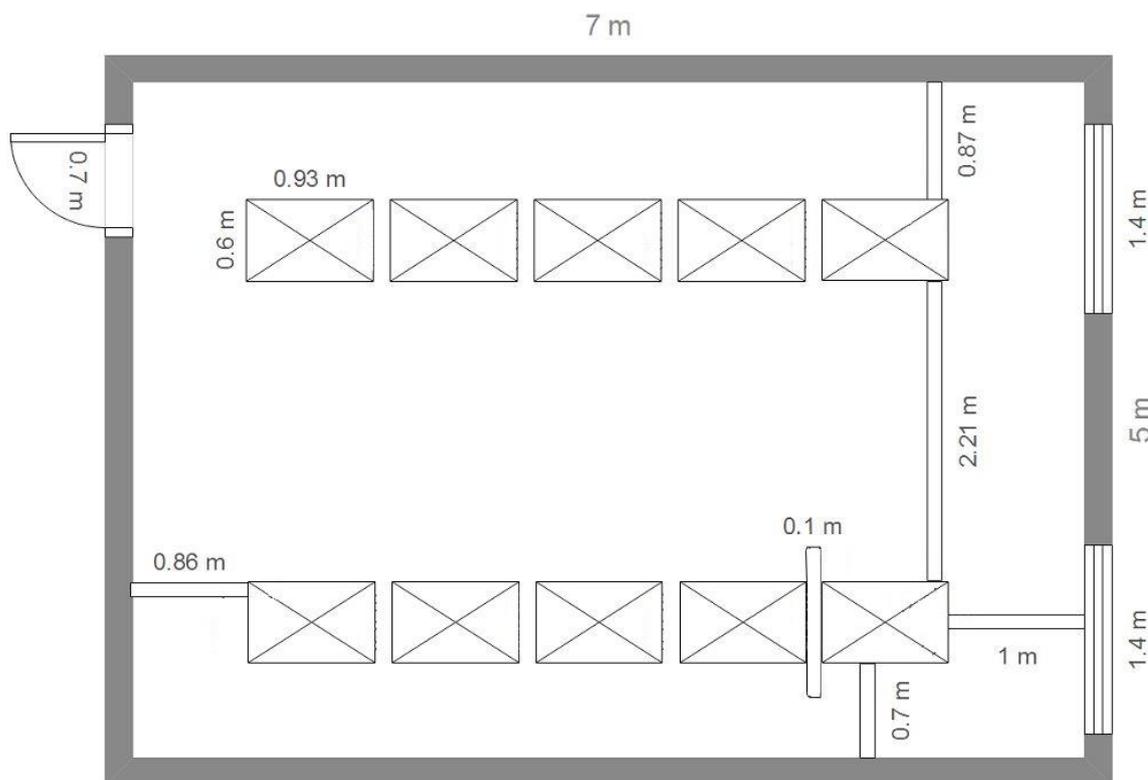


Рисунок 6.1 – План помещения и размещения светильников с люминесцентными лампами

Офисное помещение, где проводилась разработка, обладает следующими параметрами: длина  $A = 7$  м, ширина  $B = 5$  м, высота  $H = 2,5$  м. Высота рабочей поверхности  $h_{\text{рп}} = 0,8$  м. Требуется создать освещенность  $E$  от 300 лк до 500 лк. По таблице значений коэффициентов [31] отражения потолка и стен найдем значения коэффициентов  $R_c$  и  $R_n$ . Так как в рассматриваемом помещении на стенах наклеены светлые обои, то примем коэффициент отражения стен  $R_c = 30$  %. Так как в рассматриваемом помещении светлый потолок, то примем коэффициент отражения потолка  $R_n = 50$  %. Коэффициент запаса  $k = 1,5$ , коэффициент неравномерности  $Z = 1,1$ . Рассчитываем систему общего люминесцентного освещения.

Выбираем светильники типа ШОД,  $\lambda = 1,3$ . Приняв расстояние светильников от перекрытия  $h_c = 0$  м, получим, что высота светильника над рабочей поверхностью  $h = 2,5 - 0,8 = 1,7$  м.

Тогда расстояние между соседними светильниками или рядами

$$L = 1,7 \times 1,3 = 2,21$$

Оптимальное расстояние  $l$  от крайнего ряда светильников до стены рекомендуется принимать равным  $L/3$ . Таким образом, для данного помещения  $l = 0,7$  м.

Светильники размещены в два ряда. В каждом ряду установлено 5 светильников типа ШОД мощностью 40 Вт (с длиной 0,93 м), при этом разрывы между светильниками в ряду составят 10 см.

На рисунке 6.1 изображен в масштабе план помещения и размещение на нем светильников.

Учитывая, что в каждом светильнике установлено две лампы, общее число ламп в помещении  $N = 20$ . Находим индекс помещения

$$i = S / h \times (A+B) = 35 / 1,7 \times (7+5) = 1,7$$

Найдем значения коэффициента использования с помощью таблицы коэффициентов использования светового потока [31] для следующих параметров: светильник ШОД,  $R_n = 50 \%$ ,  $R_c = 30 \%$ ,  $i = 1.7$ . Для  $i = 1.5$  коэффициент равен 39, а для  $i = 1.75$  – 41. С помощью линейной интерполяции вычислим значением данного коэффициента при  $i = 1.7$ :

$$\eta = 39 + \frac{41-39}{1,75-1,5} * (1,7 - 1,5) = 40,6$$

Учитывая все параметры, рассмотренные выше, найдем освещенность по формуле:

Тогда световой поток лампы:

$$\Phi = \frac{400 \times 35 \times 1,5 \times 1,1}{20 \times 0,406} = 2845 \text{ Лм}$$

Найдем освещенность

$$E_\Phi = \frac{20 * 0,44 * 2625}{35 * 1,5 * 1,1} = 434 \text{ лк.}$$

В рассматриваемом помещении освещенность должна составлять не менее 300 лк согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и СНиП 23-05-95. В данном

помещении освещенность равна 434 лк и находится в пределах нормы, следовательно, дополнительные источники света не нужны.

### 6.2.1.3 Шум

Источниками шума являются: работающее оборудование, вентиляторы компьютера, копировальная техника и кондиционеры.

Шум оказывает негативное воздействие на организм человека: снижает работоспособность, повышает утомляемость, воздействует на органы слуха и центральную нервную систему, снижает внимание.

Допустимый уровень шума ограничен ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ и СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Уровень шума на рабочем месте программистов не должен превышать 50дБА, а в залах обработки информации на вычислительных машинах 65дБА [28-29].

Поэтому уровень шума в помещениях должен быть ограничен. Данные ограничения для требуемого помещения представлены в таблице 6.6.

Таблица 6.6 –Допустимые значения уровней звукового давления в октавных полосах частот и уровня звука, создаваемого ПЭВМ

Уровни звукового давления в октавных полосах со среднегеометрическими частотами									Уровни звука в дБА
31,5 Гц	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	
86 дБ	71 дБ	61 дБ	54 дБ	49 дБ	45 дБ	42 дБ	40 дБ	38 дБ	50

В рассматриваемом рабочем помещении уровень шума является допустимым и не превышает значений, установленных нормами и составляет не более 50 дБА. Кроме того, для уменьшения шума производятся: регулярное техническое обслуживание компьютеров и другой техники в помещении.

#### 6.2.1.4 Электромагнитное излучение

Персональные компьютеры являются источниками электромагнитных волн, то есть распространяющихся в пространстве возмущений электромагнитного поля (ЭМП). Все электрические приборы излучают такие волны, однако наибольший вклад вносит экран монитора. При определённых уровнях такие поля оказывают вредное влияние на человека: нарушение функционального состояния нервной и сердечно-сосудистой систем, это проявляется в повышенной утомляемости, понижении качества выполнения рабочих операций, изменении кровяного давления и пульса

Ввиду того, что используется жидкокристаллический монитор, то контроль мягкого рентгеновского излучения не осуществляется. Допустимые значения излучения показаны в таблице 6.7 с учётом СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [15] и ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ [30].

Таблица 6.7 – Временные допустимые уровни (ВДУ) ЭМП, создаваемых ПЭВМ

Наименование параметров		ВДУ ЭМП	ВДУ ЭМП
Напряженность электрического поля	в диапазоне частот 5 Гц – 2 кГц	25 В/м	27 В/м
	в диапазоне частот 2 кГц – 400 кГц	2,5 В/м	2,5 В/м
Электростатический потенциал экрана видеомонитора		500 В	490 В

Нормы допустимых уровней напряженности электромагнитных полей зависят от времени пребывания человека в контролируемой зоне. Присутствие персонала на рабочем месте в течение 8 ч допускается при напряженности, не превышающей 5 кВ/м.

Основной способ снижения вредного воздействия – это увеличение расстояния от источника (не менее 50 см от пользователя). Защитой от воздействия электромагнитного поля токов промышленной частоты являются стационарные или переносные заземленные экранирующие устройства. На предприятии электромагнитное излучение не превышает 5 кВ/м, поэтому при

работе за компьютером специальные экраны и другие средств индивидуальной защиты применены не были.

## **6.2.2 Опасные производственные факторы**

### **6.2.2.1 Опасность поражения электрическим током**

Поражение электрическим током является опасным производственным фактором и, поскольку оператор ПЭВМ имеет дело с электрооборудованием, то вопросам электробезопасности на его рабочем месте должно уделяться много внимания. Нормы электробезопасности на рабочем месте регламентируются СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 [15], вопросы требований к защите от поражения электрическим током освещены в ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ [18].

Опасность поражения электрическим током усугубляется тем, что человек не в состоянии без специальных приборов обнаружить напряжение дистанционно.

Помещение, где расположено рабочее место оператора ПЭВМ, относится к помещениям без повышенной опасности ввиду отсутствия следующих факторов: сырость, токопроводящая пыль, токопроводящие полы, высокая температура, возможность одновременного прикосновения человека к имеющим соединение с землей металлоконструкциям зданий, технологическим аппаратам, механизмам и металлическим корпусам электрооборудования.

Для оператора ПЭВМ при работе с электрическим оборудованием обязательны следующие меры предосторожности:

Перед началом работы нужно убедиться, что выключатели и розетка закреплены и не имеют оголённых токоведущих частей;

При обнаружении неисправности оборудования и приборов необходимо, не делая никаких самостоятельных исправлений, сообщить человеку, ответственному за оборудование [15, 18].

### 6.3 Экологическая безопасность

В данном разделе рассматривается воздействие на окружающую среду деятельности по разработке проекта, а также самого продукта в результате его реализации на производстве.

Разработка программного обеспечения и работа за ПЭВМ не являются экологически опасными работами, потому что объект, на котором производилась разработка продукта, а также объекты, на которых будет производиться его использование операторами ПЭВМ относятся к предприятиям пятого класса, размер санитарной зоны для которых равен 50 м [22].

Непосредственно программный продукт, разработанный в ходе выполнения магистерской диссертации, не наносит вреда окружающей среде ни на стадиях его разработки, ни на стадиях эксплуатации. Однако, средства, необходимые для его разработки и эксплуатации могут наносить вред окружающей среде.

Современные ПЭВМ производят практически без использования вредных веществ, опасных для человека и окружающей среды. Исключением являются аккумуляторные батареи компьютеров и мобильных устройств. В аккумуляторах содержатся тяжелые металлы, кислоты и щелочи, которые могут наносить ущерб окружающей среде, попадая в гидросферу и литосферу, если они были неправильно утилизированы. Для утилизации аккумуляторов необходимо обращаться в специальные организации, специализировано занимающиеся приемом, утилизацией и переработкой аккумуляторных батарей [23].

Люминесцентные лампы, применяющиеся для искусственного освещения рабочих мест, также требуют особой утилизации, т.к. в них присутствует от 10 до 70 мг ртути, которая относится к чрезвычайно-опасным химическим веществам и может стать причиной отравления живых существ, а также загрязнения атмосферы, гидросферы и литосферы. Сроки

службы таких ламп составляют около 5-ти лет, после чего их необходимо сдавать на переработку в специальных пунктах приема. Юридические лица обязаны сдавать лампы на переработку и вести паспорт для данного вида отходов [23, 24, 25].

#### 6.4 **Безопасность в чрезвычайных ситуациях**

В рабочей среде оператора ПЭВМ возможно возникновение следующих чрезвычайных ситуаций техногенного характера:

- Пожары и взрывы в зданиях и на коммуникациях;
- Внезапное обрушение зданий.

Среди возможных стихийных бедствий можно выделить метеорологические (ураганы, ливни, заморозки), гидрологические (наводнения, паводки, подтопления), природные пожары.

К чрезвычайным ситуациям биолого-социального характера можно отнести эпидемии, эпизоотии, эпифитотии.

Экологические чрезвычайные ситуации могут быть вызваны изменениями состояния литосферы, гидросферы, атмосферы и биосферы в результате деятельности человека [14].

Наиболее характерной для объекта, где размещаются рабочие помещения, оборудованные ПЭВМ, чрезвычайной ситуацией является пожар.

Каждый сотрудник организации должен быть ознакомлен с инструкцией по пожарной безопасности, пройти инструктаж по технике безопасности и строго соблюдать его.

Запрещается использовать электроприборы в условиях, не соответствующих требованиям инструкций изготовителей, или имеющие неисправности, которые в соответствии с инструкцией по эксплуатации могут привести к пожару, а также эксплуатировать электропровода и кабели с поврежденной или потерявшей защитные свойства изоляцией. Электроустановки и бытовые электроприборы в помещениях по окончании

рабочего времени должны быть обесточены (вилки должны быть вынуты из розеток). Под напряжением должны оставаться дежурное освещение и пожарная сигнализация. Недопустимо хранение легковоспламеняющихся, горючих и взрывчатых веществ, использование открытого огня в помещениях офиса.

Перед уходом из служебного помещения работник обязан провести его осмотр, закрыть окна, и убедиться в том, что в помещении отсутствуют источники возможного возгорания, все электроприборы отключены и выключено освещение. С периодичностью не реже одного раза в три года необходимо проводить замеры сопротивления изоляции токоведущих частей силового и осветительного оборудования.

Повышение устойчивости достигается за счет проведения соответствующих организационно-технических мероприятий, подготовки персонала к работе в ЧС [14].

Работник при обнаружении пожара или признаков горения (задымление, запах гари, повышение температуры и т.п.) должен:

- Немедленно прекратить работу и вызвать пожарную охрану по телефону «01», сообщив при этом адрес, место возникновения пожара и свою фамилию;
- Принять по возможности меры по эвакуации людей и материальных ценностей;
- Отключить от сети закрепленное за ним электрооборудование;
- Приступить к тушению пожара имеющимися средствами пожаротушения;
- Сообщить непосредственному или вышестоящему начальнику и оповестить окружающих сотрудников;
- При общем сигнале опасности покинуть здание согласно «Плану эвакуации людей при пожаре и других ЧС».

Для тушения пожара применять ручные углекислотные огнетушители (типа ОУ-2, ОУ-5), находящиеся в помещениях офиса, и пожарный кран внутреннего противопожарного водопровода. Они предназначены для тушения начальных возгораний различных веществ и материалов, за исключением веществ, горение которых происходит без доступа воздуха. Огнетушители должны постоянно содержаться в исправном состоянии и быть готовыми к действию. Категорически запрещается тушить возгорания в помещениях офиса при помощи химических пенных огнетушителей (типа ОХП-10) [17].

Здание ТОИПКРО относится к категории Г (умеренная пожароопасность) по взрывопожарной и пожарной опасности и соответствует требованиям пожарной безопасности. В здании установлена система охранно-пожарной сигнализации, имеются в наличии порошковые огнетушители, а также установлен план эвакуации (рисунок 6.2) с указанием направлений к основному и запасному эвакуационным выходам.

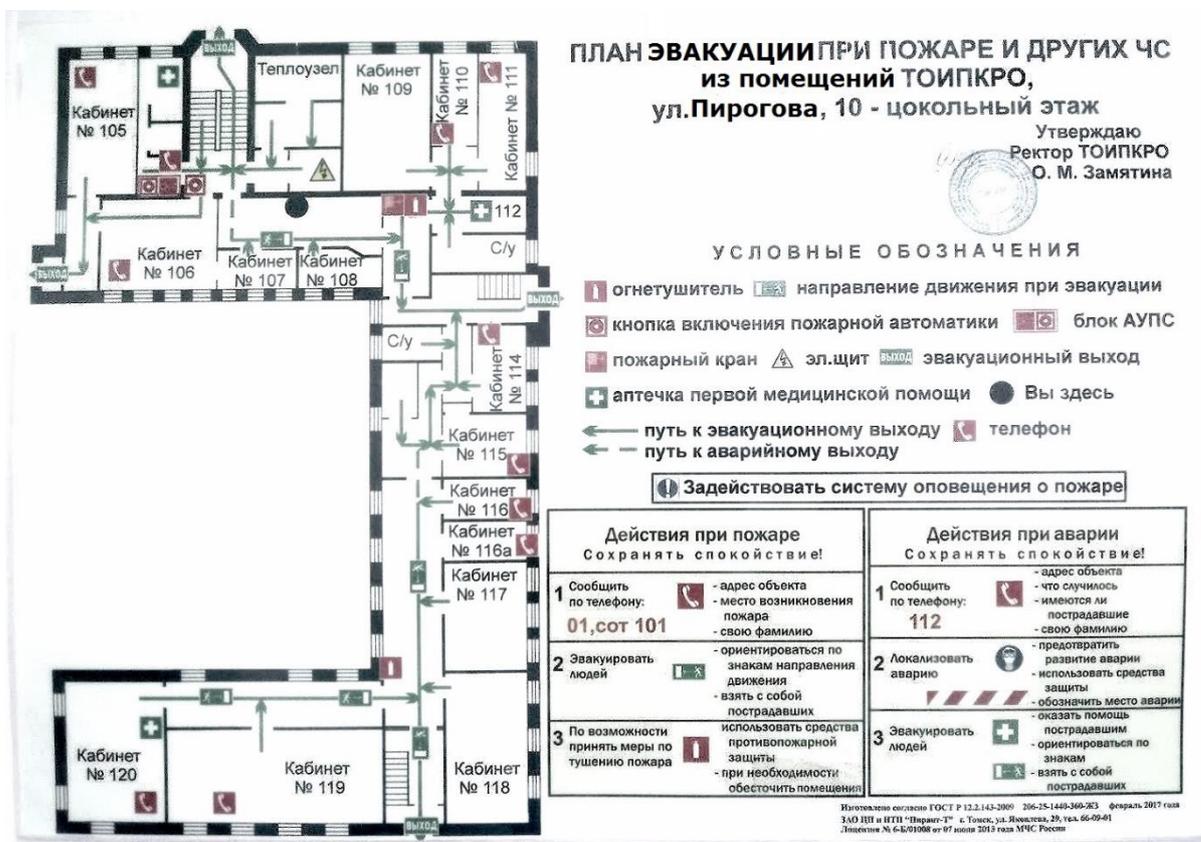


Рисунок 6.2 – План эвакуации при возникновении пожара и других ЧС

## 6.5 Выводы по разделу

Таким образом, в ходе работы над магистерской диссертацией были проанализированы следующие вредные производственные факторы: недостаточное освещение, микроклимат, электромагнитное излучение, шум. Все вредные производственные факторы находятся в пределах нормы, превентивные меры описаны в разделе.

К опасным производственным факторам данной работы относятся опасность поражения электрическим током, короткое замыкание, а также статическое электричество. Рабочее помещение соответствует нормам СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 и ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ.

ПЭВМ представляют опасность для экологии токсичным сырьем, ЖК-экранами, ПВХ и люминесцентными лампами.

Наиболее вероятной чрезвычайной ситуацией может быть пожар. Рабочий кабинет соответствует нормам пожаробезопасности (СНиП 21-01-97).

Правовые и организационные нормы работ описаны в ТК РФ ст. 137, рабочее место полностью соответствует указанным правилам.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения работы был изучен существующий в компании бизнес-процесс, актуальная проблема автоматического распознавания рукописных символов, требующая решения, и архитектура информационной системы, решающая данную проблему на текущий момент.

В результате проделанной работы было описано решение задачи шаблонизации бланков. Также был предложен и реализован алгоритм распознавания бланков на основе сверточных нейронных сетей. Были проведены эксперименты по подбору архитектур сверточных нейронных сетей.

Наилучший результат распознавания для символов русского алфавита показала сеть, имеющая следующую конфигурацию:

Номер сверточного слоя	Размер ядра свертки	Количество карт признаков
1	5x5	25
2	3x3	50
3	7x7	100
4	3x3	200

Наилучший результат распознавания цифр, минусов и запятых показала сеть, имеющая следующую конфигурацию:

Номер сверточного слоя	Размер ядра свертки	Количество карт признаков
1	5x5	25
2	3x3	50
3	3x3	100
4	5x5	200

В вышеперечисленных сетях подвыборочном слое использовалась операция MaxPooling с размером окна и шагом 2.

По результатам сравнения результатов распознавания с программой Abbyy FormReader разработанная программа лучше справляется с распознаванием ответов, содержащих цифры, минусы и запятые, однако хуже справляется с ответами, содержащими символы русского алфавита.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1) В.Г. Спицын, Интеллектуальные системы: учебное пособие / В.Г. Спицын, Ю.Р. Цой; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 176 с;
- 2) CNN Architectures: LeNet, AlexNet, VGG, GoogLeNet, ResNet and more... [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <https://medium.com/@sidereal/cnns-architectures-lenet-alexnet-vgg-googlenet-resnet-and-more-666091488df5> (дата обращения: 01.02.2019);
- 3) SeNet – Winner Of ImageNet 2017 Classification Task (Squeeze-And-Excitation Networks) [Электронный ресурс] – 2017. – Режим доступа: <https://shaoanlu.wordpress.com/2017/08/17/senet-winner-of-imagenet-2017/> (дата обращения: 01.02.2019);
- 4) Affine transformation //Wikipedia [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://en.wikipedia.org/wiki/Affine\\_transformation](https://en.wikipedia.org/wiki/Affine_transformation) (дата обращения: 26.05.2020);
- 5) Y. LeCun, L. Bottou, Y. Bengio, P. Haffner, «Gradient-based learning applied to document recognition» Proceedings of the IEEE, v. 86, pp. 2278- 2324, 1998;
- 6) Patrice Y. Simard Platt Best Practices for Convolutional Neural Networks Applied to Visual Document Analysis / Patrice Y. Simard, Dave Steinkraus, John C. Platt – Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR 2003), 2003;
- 7) Dominic Masters Revisiting Small Batch Training for Deep Neural Networks / Dominic Masters, Carlo Luschi. [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://arxiv.org/pdf/1804.07612.pdf> (дата обращения: 01.02.2019);
- 8) Ian H. Witten, Eibe Frank and Mark A. Hall Data Mining: Practical Machine Learning Tools and Techniques. — 3rd Edition. — Morgan Kaufmann, 2011. — 664 с.

9) Gentle Introduction to the Adam Optimization Algorithm for Deep Learning [Электронный ресурс] – 2017. Режим доступа: <https://machinelearningmastery.com/adam-optimization-algorithm-for-deep-learning/> (дата обращения: 28.05.2020);

10) Калиновский И. А. Метод нейросетевого детектирования лиц в видеопотоке сверхвысокого разрешения : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук : 05.13.11 / Калиновский Илья Андреевич. - Томск : [б. и.], 2016. URL: <http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000549544>;

11) «Трудовой кодекс Российской Федерации» от 30.12.2001 N 197-ФЗ (ред. от 01.04.2019) // Консультант Плюс. [Электронный ресурс] Точка доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_34683/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_34683/) (дата обращения: 29.04.2019);

12) Охрана труда. Основы безопасности жизнедеятельности// [www.Grandars.ru](http://www.Grandars.ru). [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://www.grandars.ru/shkola/bezopasnost-zhiznedeyatelnosti/ohrana-truda.html> (дата обращения: 29.04.2020);

13) Ефремова О. С. Требования охраны труда при работе на персональных электронно-вычислительных машинах. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство «Альфа-Пресс», 2008. – 176 с;

14) Назаренко О. Б. Безопасность жизнедеятельности: учебное пособие / О. Б. Назаренко, Ю. А. Амелькович; Томский политехнический университет. – 3-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 178 с;

15) СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. Санитарно-эпидемиологические правила и нормы. Гигиенические требования к персональным электронно-вычисли-тельным машинам и организации работы // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс]

Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901865498> (дата обращения: 29.04.2020);

16) ГОСТ 12.2.032-78 ССБТ. Рабочее место при выполнении работ сидя. Общие эргономические требования.

17) ГОСТ Р 50923-96. Дисплеи. Рабочее место оператора. Общие эргономические требования и требования к производственной среде. Методы измерения.

18) ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-12-1-019-2009-ssbt> (дата обращения: 29.04.2020);

19) СНиП 21-01-97. Пожарная безопасность зданий и сооружений // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/871001022> (дата обращения: 29.04.2020);

20) СанПиН 2.2.4.548-96. Санитарные правила и нормы. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901704046> (дата обращения: 29.04.2020);

21) СП 52.13330.2016. Естественное и искусственное освещение. Актуализированная редакция СНиП 23-05-95 // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/456054197> (дата обращения: 29.04.2020);

22) СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03. «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов» (с изменениями на 25 апреля 2014 года) // Электронный фонд правовой и

нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902065388> (дата обращения: 29.04.2020);

23) СанПиН 2.1.7.1322-03. «Гигиенические требования к размещению и обезвреживанию отходов производства и потребления» // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901862232> (дата обращения: 29.04.2020);

24) Постановление Правительства РФ от 03.09.2010 N 681 (ред. от 01.10.2017) "Об утверждении Правил обращения с отходами производства и потребления в части осветительных устройств, электрических ламп, ненадлежащие сбор, накопление, использование, обезвреживание, транспортирование и размещение которых может повлечь причинение вреда жизни, здоровью граждан, вреда животным, растениям и окружающей среде // Консультант Плюс. [Электронный ресурс] Точка доступа: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_104420/#dst100007](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_104420/#dst100007) (дата обращения: 29.04.2020);

25) Энергосбережение в компьютерном мире // НWP. [Электронный ресурс] Точка доступа: [https://www.hwp.ru/articles/Energoberezhenie\\_v\\_kompyuternom\\_mire\\_SNast\\_1\\_\\_\\_osnovnie\\_tendentsii/](https://www.hwp.ru/articles/Energoberezhenie_v_kompyuternom_mire_SNast_1___osnovnie_tendentsii/) (дата обращения: 29.04.2020);

26) НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности // Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. [Электронный ресурс] Точка доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200032102> (дата обращения: 29.04.2020);

27) Белов С. В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник / С. В. Белов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 680 с.;

28) ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.

29) СН 2.2.4/2.1.8.562–96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории застройки.

30) ГОСТ 12.1.006-84 ССБТ. Электромагнитные поля радиочастот. Допустимые уровни на рабочих местах и требования к проведению контроля (с Изменением N 1);

31) Безопасность жизнедеятельности: практикум / Ю.В. Бородин, М.В. Василевский, А.Г. Дашковский, О.Б. Назаренко, Ю.Ф. Свиридов, Н.А. Чулков, Ю.М. Федорчук. — Томск: Издво Томского политехнического университета, 2009. — 101 с.

## Приложение А

(справочное)

Part 1

### OVERVIEW OF EXISTING RECOGNITION METHODS

Part 2

### IMPLEMENTATION OF RECOGNITION METHODS BASED ON THE CONVOLUTIONAL NEURAL NETWORK

Студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
8ИМ82	Авдеев Николай Геннадьевич		

Руководитель ВКР:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Иванова Юлия Александровна	К.Т.Н.		

Консультант – лингвист ОИЯ ШБИП:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Старший преподаватель	Маркова Наталия Александровна			

## Overview of existing recognition methods

### Artificial neural networks

Artificial neural network (ANN) is a mathematical model and his software or hardware built on the principle of organization and functioning of biological neural networks of neurons of living organism. Scheme that demonstrates construction of artificial neural network is drawn in Figure A.1

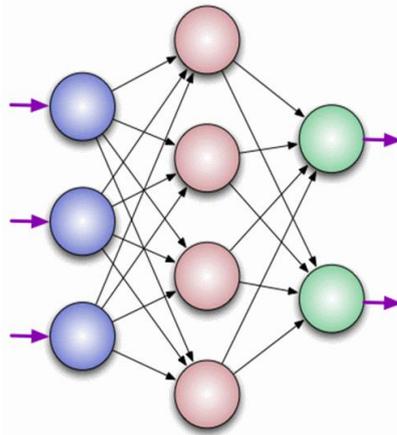


Figure A.1 – The construction of artificial neural network

Neuron is a computational unit, which gets information, performs simple calculations on it and gives and passes it on. The layers consist of neurons. There are three types of layers: input (blue), hidden (red) and output (green).

The example of work of neural network is drawn in the Figure A.2.

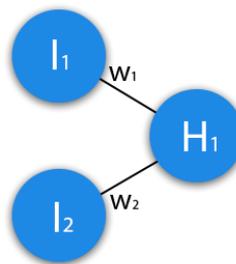


Figure A.2 – The example of work of neural network

Values of inputs and outputs of neuron H1 are calculated using the following formulas:

$$H_{1input} = (I_1 * w_1) + (I_2 * w_2), \quad (20)$$

$$H_{1output} = f_{activation}(H_{1input}), \quad (21)$$

When  $H_{1input}$  is a value of input of the neuron H1;

$l_i$  is a value of output of the neuron  $l_i$ ;

$w_i$  is a value of the i-th weight;

$H_{1output}$  is a value of output of the H1 neuron;

$f_{activation}$  is an activation function.

According to the formulas (1), (2) we can see that input information is a sum of input data which are multiplied by the according weights. Output data is the value of the activation function from the input data.

Activation function is a way of normalization of input data. If we have a big number, we can pass it to the activation function and get value in the right range. Let's consider basic activation functions.

Threshold activation function:

$$f(x) = \begin{cases} 0, & x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases} \quad (22)$$

$b$  is a threshold value.

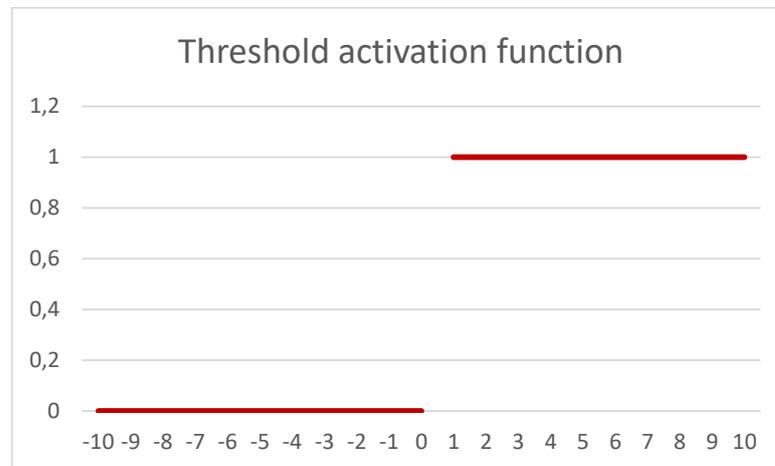


Figure A.3 – Threshold activation function

Linear activation function:

$$f(x) = \alpha x, \quad (23)$$

$\alpha$  is a parameter of slope of the function.

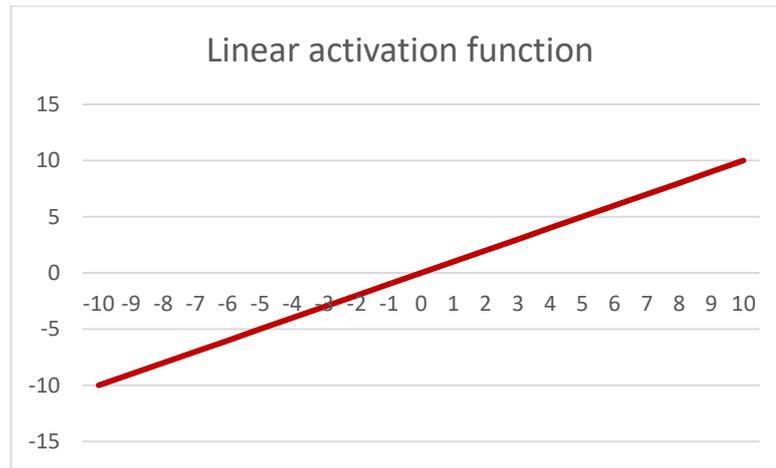


Figure A.4 – Linear activation function

Linear function is never used except in the cases when necessary test neural network or pass value without transformations.

Log-sigmoid activation function

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\alpha x}}, \quad (24)$$

$\alpha$  is a parameter of slope of log-sigmoid activation function.

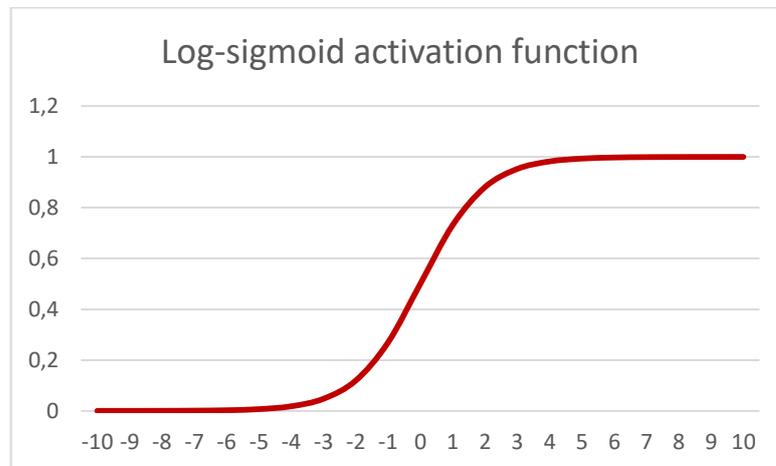


Figure A.5 – Log-sigmoid activation function

Log sigmoid function one of the most frequently used in artificial neural networks. Range of values of this function is  $[0, 1]$ . If there are negative values in the task, then it is necessary to select another function.

Hyperbolic tangent function:

$$f(x) = \frac{e^{2\alpha x} - 1}{e^{2\alpha x} + 1}, \quad (25)$$

$\alpha$  is a parameter of slope of log-sigmoid activation function.

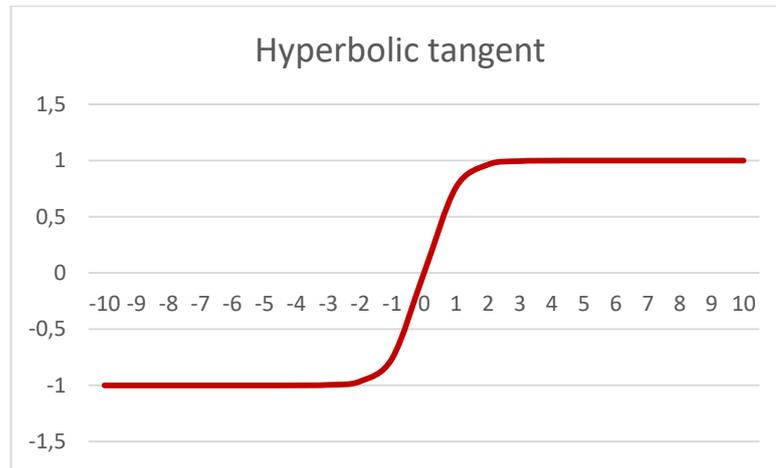


Figure A. 6 – Hyperbolic tangent activation function

Hyperbolic tangent is used in those cases when values can be positive and negative because range of values of the function is  $[-1; 1]$ . Usage of this function is impractical because it can make the results of the artificial neural network worse.

ReLU activation function

$$f(x) = \max(0, x), \quad (26)$$

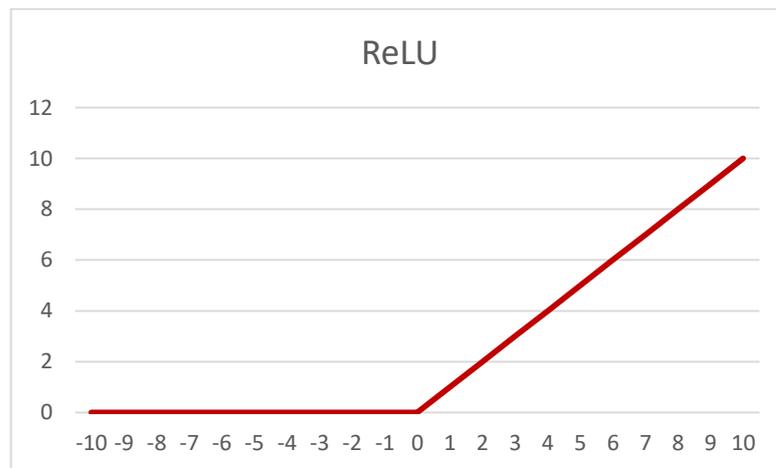


Figure A.7 – ReLU activation function

This function is most commonly used in convolution layers. This function is widely used because this function has not complex operation such as exponentiation. Therefore, speed of convergence of stochastic gradient descent is higher up to 6 times than sigmoid and hyperbolic tangent. Also, ReLU is not affected to glut. This function is used as an activation function in this work.

SoftMax activation function:

$$f(x_i) = \frac{x_i}{\sum_{k=1}^N x_k}, \quad (27)$$

when  $x_i$  is a value of output of i-th neuron before activation, N is a quantity of neurons in layer.

SoftMax activation function is widely used in neural networks as an activation function in classification tasks. Values of each output are normalized so that the sum of all outputs is equal to 1. Values of each output is a probability of belonging to the corresponding class. This function is used as the activation function on the output layer in this work.

Two neural networks will be used in this program. Each network recognizes one set of symbols:

- Digits, minus, dot;
- Symbols of Russian alphabet.

Usage of two neural networks is necessary for avoiding of ambiguity in recognition symbols (digit «0» and letter «O», digit «3» and letter «3», etc).

### Convolutional neural networks

Convolutional neural network consists of different types of layers:

- convolutional layers;
- subsampling layers;
- layers of perceptron.

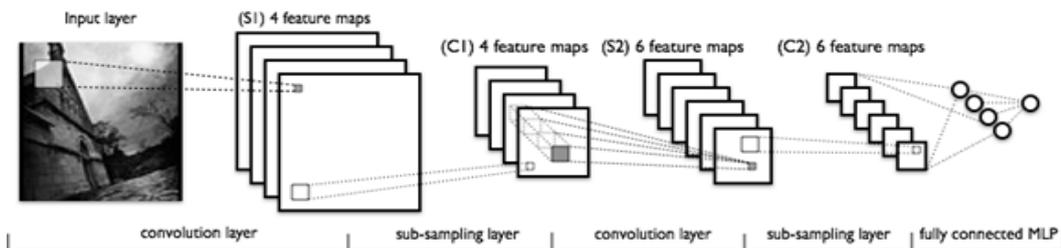


Figure A.8 – Convolutional neural network

Convolutional neural network is called due to convolution operation, which is described below.

Convolutional layer is a card set and each card has synaptic kernels (scanning kernels, filter). Kernel is a filter or window which slides across all over area of previous map and finds determined signs of objects. For example, if

network is trained on set of faces images, then one of kernels can give maximum signal in area of eye, mouth, eyebrow or nose, another kernel can detect another signs, the size of kernel is usually in the range from 3x3 to 7x7. If kernel size is small, kernels size will not detect any signs. If kernel size is very big, then quantity of connections will increase. Also, kernel size must be chosen so that the size of the cards of convolutional layer is even, it allows us not to lose information because of decreasing size of subsample kernel.

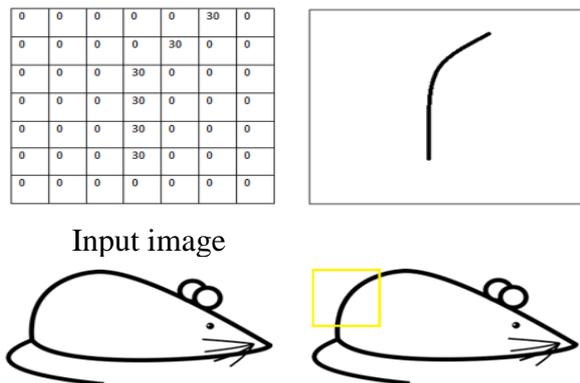


Figure A.9 – The example of work of convolutional neural network

The example of filter is shown in Figure A.9. In the yellow window there will be a big signal, it means that the sign exists in the picture. Informally, convolutional operation can be described as follows: window with size  $g$  with defined step (usually 1) slides over the image  $f$ , at each step we multiply element of image by element of window and then sum the result:

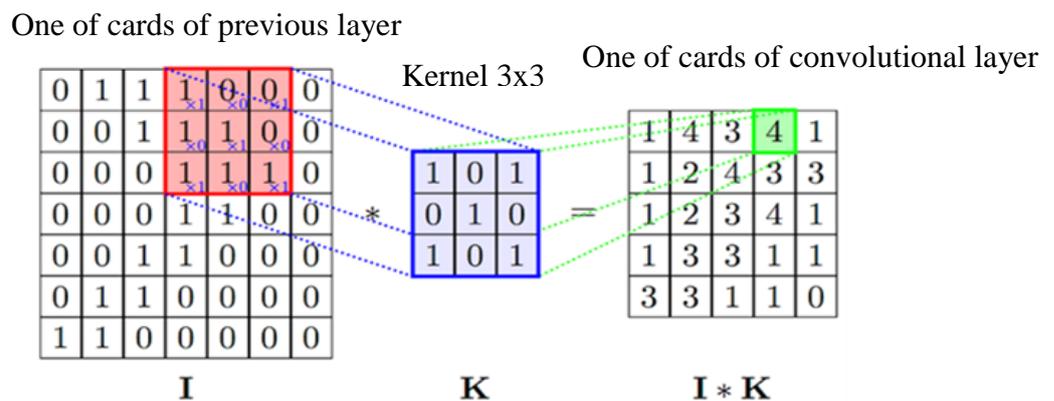


Figure A.10 – The example of work of filter

The subsampling layer follows by the convolutional layer. The count of cards in the subsampling layer is equal to the count of cards in the convolutional

layer. The goal of the subsampling layer is decreasing of the size of the cards of the previous layer. If in the previous layer some signs are completed, then for the further processing such detailed image is not necessary.

The most commonly used operation for subsampling is a maximum, which selects maximum value from the area with size  $2 \times 2$  with step size equals to 2. The most commonly used activation function in subsampling layer is ReLU function. The example is shown in the Figure A.11.

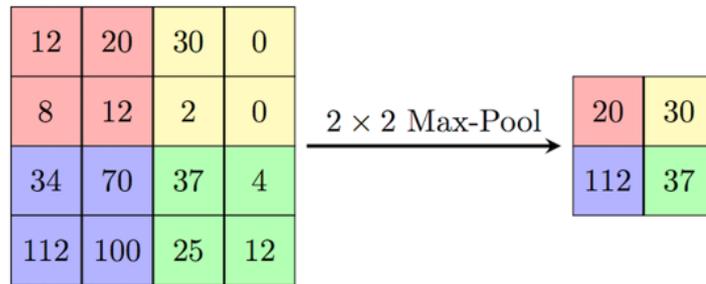


Figure A.11 – The example of work of subsampling operator

The multilayer perceptron is a last layer. The goal of this layer is a classification, this layer simulates complex, non-linear function, optimizing which we improve recognition quality. The neurons of each card of subsampling layer are connected with neurons of the hidden layer.

Convolutional neural networks were selected for the current task because of:

- Since 2012 convolutional neural networks have won the ImageNet contest;
- Convolutional neural networks are resistant to the affine transformations (shift, turn, scaling);
- Convolutional neural networks consider topology of images unlike multilayer perceptrons where information is supplied as a one-dimensional array.
- Convolutional neural networks have less parameters than multilayer perceptrons. For example, let us take two similar neural networks, one of which is convolutional neural network and the other is multilayer perceptron:

Convolutional neural network:

- Input: image with size 100x100 pixels;
- Two convolutional layers with 100 planes each (convolution matrix size – 5x5 and subsampling with size 2x2 and step 2);
- Output: 10 classes;
- The amount of parameters is approximately 70k ( $25*100 + 25*100 + 25*25*100 + 100*10$ ).

Multilayer perceptron:

- Input: image with size 100x100 pixels;
- Three fully connected layers with 100 neurons in each layer;
- Output: 10 classes
- The amount of parameters is approximately 1M ( $10000 * 100 + 100*100 + 100*100 + 100*10$ ).

## **Implementation of recognition methods based on the convolutional neural network**

### **Training sample preparation**

The sample was constructed from SFE forms. Form is a monochrome .tif image with a resolution of 300dpi. Fields for letters have size 64x65 pixels. The resolution of images was decreased to 64x64 to simplify structure of neural network.

The sample was constructed from recognized answers. Cutting of letters was performed by previously known coordinates. The number of letters in each class is shown in the Figure A.12.

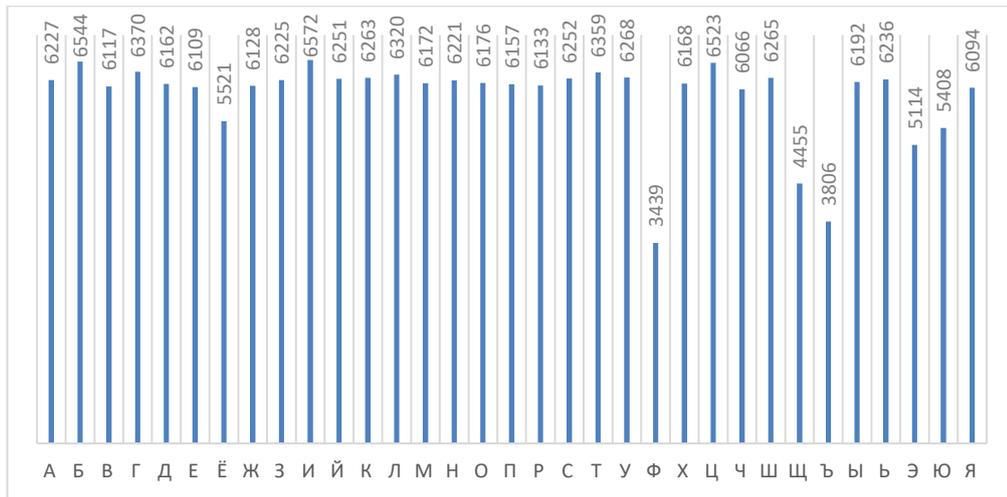


Figure A.12 – The number of images in each class

The examples of different classes should be presented in sample in approximately equal proportions. If one of the classes prevails, this can lead to a “skew” in the process of learning the model. The lack of letters in the classes «Ё», «Ф», «Ц», «Щ», «Ъ», «Э» and «Ю» was made up using the elastic distortion method [6] described below.

### Elastic distortion method

The sample can be increased using elastic distortion method. The main idea of elastic distortion method is that each of the existing pixels needs to be moved in the original image. The naive approach with independent bias of each pixel leads to getting new image, which will look broken and not extended. For example, let us look at Figure A.13. Each of images shows deformation of area 5x5. Left image shows random vectors which will more likely broke image and not deform it. Right image shows linked vectors which lead to extending image.

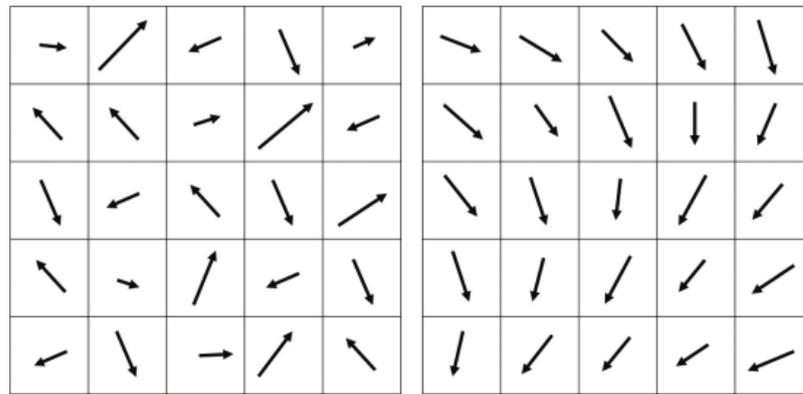


Figure A.13 – Random mixing fields and smoothed bias fields

The matrix, which is called continuous Gaussian kernel, can be used for this pixel bias. In the result pixels will be bias in relatively similar, but not same direction.

Continuous Gaussian kernel is a matrix of values, sum of each is equal to 1.0, and maximum of this matrix is situated in the center, and this matrix is radially symmetrical. The example of continuous Gaussian kernel is shown in Figure A.14.

0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0219	0.0983	0.1621	0.0983	0.0219
0.0133	0.0596	0.0983	0.0596	0.0133
0.0030	0.0133	0.0219	0.0133	0.0030

Figure A.14 – Gaussian kernel

The neighbor values are different, but similar. The value of standard deviation defines proximity of kernel. Big deviation gives more close values.

Then bias matrices are generated for X and Y axes with values from 1 to -1, and then these matrices are smoothed with Gaussian kernel. The new value of bias is weighted average of current value and values of eight neighbor nearest values. The example is shown in Figure A.15.

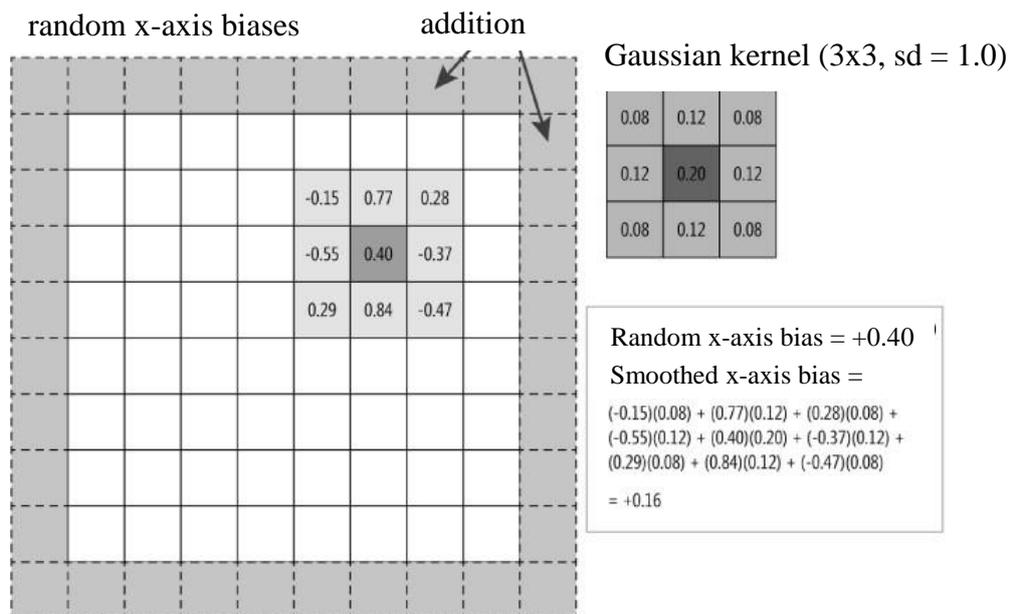


Figure A.15 – The example of work of smoothing

After smoothing, values of bias multiply by coefficient of intensity.

Applying bias matrix to image is a non-trivial task and therefore, it will be better to explain it by the example. Let us assume that the x-offset value is 3.2 and the y-offset value is -1.5. Coordinate of source pixel is (3, 6). For x and y bias are determined upper and lower borders: 3, 4 for x and -1, -2 – for y. After that all possible couples of bias are generated: (3, -2), (3, -1), (4, -2), (4, -1). The combination of source coordinates with possible couples of biases gives 4 couples of indexes: (6, 4), (6, 5), (7, 4), (7, 5). Finally, values of pixel of deformed image in cells (3, 6) are average middle from values of source pixels with indexes (6, 4), (6, 5), (7, 4), (7, 5). In this work, the obtained values were binarized with a threshold equals to 128.

In software realization of method of random values, different Gaussian kernels can be generated by specifying the different kernels of the random number generator. Source image of letter «Φ» and the images which were created from source with kernel values 0 and 1 are shown in Figures A.16 – A.18.



Figure A.16 – The source image of letter "Ф"



Figure A.17 – The image taken with a kernel equal to 0



Figure A.18 – The image taken with a kernel equal to 1

The distribution of images is shown in Figure A.19. The sample was divided into training and validation as follows: from each class, 1000 letter samples were taken for verification, and the remaining samples were used for training.

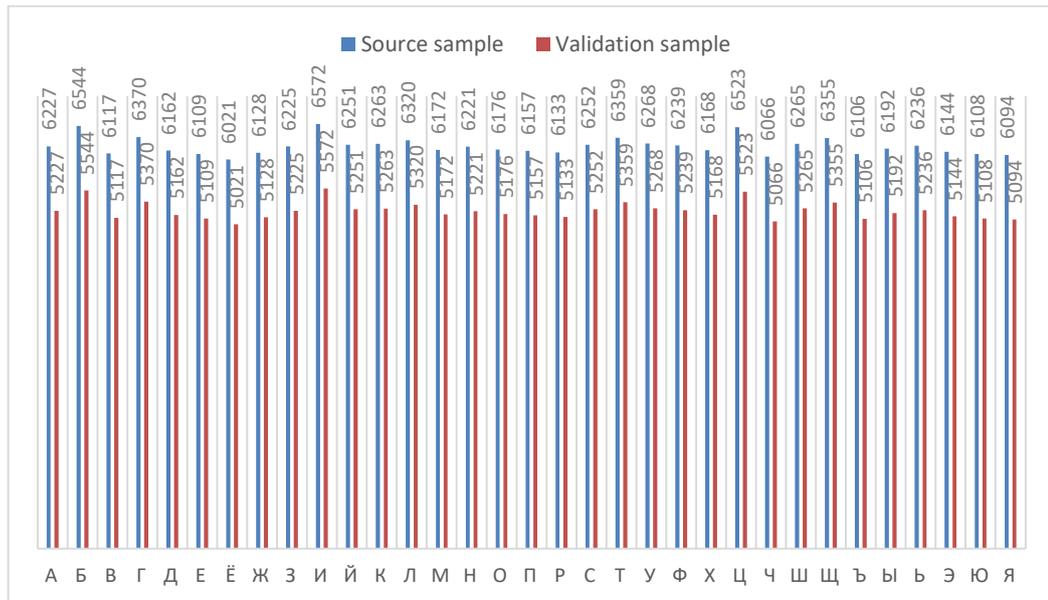


Figure A.19 – The distribution of samples

## Приложение Б

Таблица Б.1

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я	Всего
а	-	0	0	0	23	0	0	4	0	0	0	1	7	0	9	1	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	0	0	1	1	0	4	54
б	0	-	5	0	0	4	0	0	1	0	2	1	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	20
в	1	1	-	0	4	1	0	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	19
г	0	0	1	-	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0	0	9	0	0	0	0	1	2	1	0	23
д	9	0	2	1	-	0	0	0	0	0	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	2	0	1	2	0	0	10	35
е	0	2	0	0	0	-	11	0	0	0	0	1	0	1	0	3	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
ё	0	0	0	0	0	7	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	8	
ж	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0	0	2	0	4	0	0	5	0	0	1	0	0	2	3	20
з	0	0	0	1	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	11	0	0	13
и	2	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	3	18	0	1	0	0	0	2	0	0	6	18	9	1	0	3	0	0	2	0	66
й	2	1	0	0	1	0	0	1	0	11	-	0	0	0	0	1	1	0	0	2	1	0	0	0	1	2	0	0	2	0	0	0	0	26
к	0	0	1	0	0	0	1	5	0	8	0	-	0	1	3	0	0	0	0	0	1	0	2	2	1	2	0	0	1	0	3	0	31	
л	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	-	3	0	0	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15
м	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	4	-	23	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2	2	3	0	3	0	0	0	42	
н	3	0	0	0	0	0	0	3	0	22	0	1	0	6	-	0	0	0	0	0	1	0	0	4	3	3	1	0	15	0	0	0	1	63
о	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	3	0	0	1	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	11
п	2	0	0	4	0	0	0	0	0	1	1	0	7	1	4	2	-	0	0	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	30
р	1	0	4	7	0	2	0	0	0	0	0	0	0	1	1	48	4	-	0	0	1	4	0	0	0	0	0	0	8	0	8	1	90	
с	0	0	1	1	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	13
т	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	4	0	0	-	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	11
у	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	-	0	1	3	11	0	0	1	1	0	0	0	0	22
ф	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	-	0	0	0	0	0	0	0	0	2	1	4	11
х	0	0	0	1	0	1	0	24	0	0	0	24	4	1	0	0	1	1	0	0	41	0	-	0	2	0	0	2	0	0	0	0	5	107
ц	0	0	0	0	0	0	0	0	2	4	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	6	0	0	-	12	15	65	0	0	0	0	0	0	106
ч	0	0	0	0	0	0	0	0	1	9	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	24	0	0	16	-	0	0	2	1	0	1	0	0	57
ш	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	9	0	2	0	0	0	0	11
щ	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	9	0	38	-	0	0	0	0	0	0	50



## Приложение В

Таблица В.1

	а	б	в	г	д	е	ё	ж	з	и	й	к	л	м	н	о	п	р	с	т	у	ф	х	ц	ч	ш	щ	ъ	ы	ь	э	ю	я	Всего	
<b>а</b>	-	0	5	0	17	0	0	1	0	0	0	0	4	0	6	0	1	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	42
<b>б</b>	0	-	3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	1	0	0	0	0	12
<b>в</b>	0	0	-	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	5	
<b>г</b>	0	5	2	-	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	3	2	5	5	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	36
<b>д</b>	7	0	5	0	-	0	0	0	0	0	0	0	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	1	1	0	0	1	0	2	27	
<b>е</b>	0	3	0	0	0	-	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	7	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
<b>ё</b>	0	0	0	0	0	12	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	13
<b>ж</b>	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	2	0	0	6	0	0	4	1	0	0	0	0	0	0	0	14
<b>з</b>	0	0	0	2	1	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	1	0	0	11	
<b>и</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	4	0	0	0	12	0	0	0	0	0	0	0	0	6	11	0	0	0	2	0	0	1	0	0	36
<b>й</b>	1	0	0	0	0	0	0	1	0	7	-	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	16
<b>к</b>	0	0	0	0	0	2	0	2	0	4	0	-	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	3	2	0	0	0	1	0	0	1	0	0	19	
<b>л</b>	8	0	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-	0	0	6	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	20	
<b>м</b>	0	0	1	0	2	0	0	4	0	2	0	0	0	-	28	0	2	0	0	6	0	0	0	1	1	2	0	0	0	0	0	0	0	0	49
<b>н</b>	2	0	0	0	0	0	0	0	0	29	0	3	0	2	-	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	5	0	0	0	0	45	
<b>о</b>	1	1	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	-	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	12	
<b>п</b>	0	0	1	0	1	0	0	0	0	3	1	1	4	2	6	0	-	0	0	3	1	0	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	26
<b>р</b>	1	2	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	7	2	-	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0	28	
<b>с</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>т</b>	0	0	0	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
<b>у</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	3	5	22	0	0	1	0	0	0	0	0	0	33
<b>ф</b>	0	2	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0	0	-	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	3	13
<b>х</b>	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	13	1	0	1	0	0	0	2	0	23	0	-	0	0	0	1	1	0	0	0	0	1	45	
<b>ц</b>	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	-	8	0	23	4	0	0	0	0	0	0	0	52
<b>ч</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	1	14	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4	0	0	5	-	0	0	6	1	0	0	0	0	33	
<b>ш</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	18	0	0	0	0	0	0	0	21
<b>щ</b>	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	17	-	1	0	0	0	0	0	0	0	23



## Приложение Г

Таблица Г.1

Этап	Исполнители	Продолжительность работ, дни			Трудоемкость работ по исполнителям чел.- дн.			
		$t_{min}$	$t_{max}$	$t_{ож}$	$T_{РД}$		$T_{КД}$	
					НР	И	НР	И
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>
Постановка целей и задач, получение исходных данных	НР	1	3	1,8	2,592	0	3,12336	0
Ознакомление с предметной областью	НР, И	5	7	5,8	2,5056	8,352	3,019248	10,06416
Составление и утверждение ТЗ	НР, И	10	12	10,8	15,552	1,5552	18,74016	1,874016
Подбор и изучение материалов по тематике	НР, И	20	30	24	10,368	34,56	12,49344	41,6448
Подготовка обучающей выборки	И	20	30	24	0	34,56	0	41,6448
Подбор архитектуры нейронных сетей	НР, И	10	15	12	5,184	17,28	6,24672	20,8224
Обучение нейронных сетей и валидация результатов	НР, И	10	15	12	1,728	17,28	2,08224	20,8224
Реализация модуля распознавания	И	5	10	7	0	10,08	0	12,1464
Тестирование и отладка модуля распознавания	НР, И	5	10	7	1,008	10,08	1,21464	12,1464
Оформление расчетно-пояснительной записки	НР, И	10	15	12	6,912	17,28	8,32896	20,8224
Подведение итогов	НР, И	3	5	3,8	3,8304	5,472	4,615632	6,59376

Продолжение таблицы Г.1

<b>Итого:</b>				<b>120,2</b>	<b>49,68</b>	<b>156,4992</b>	<b>59,8644</b>	<b>188,5815</b>
---------------	--	--	--	--------------	--------------	-----------------	----------------	-----------------

## Приложение Д

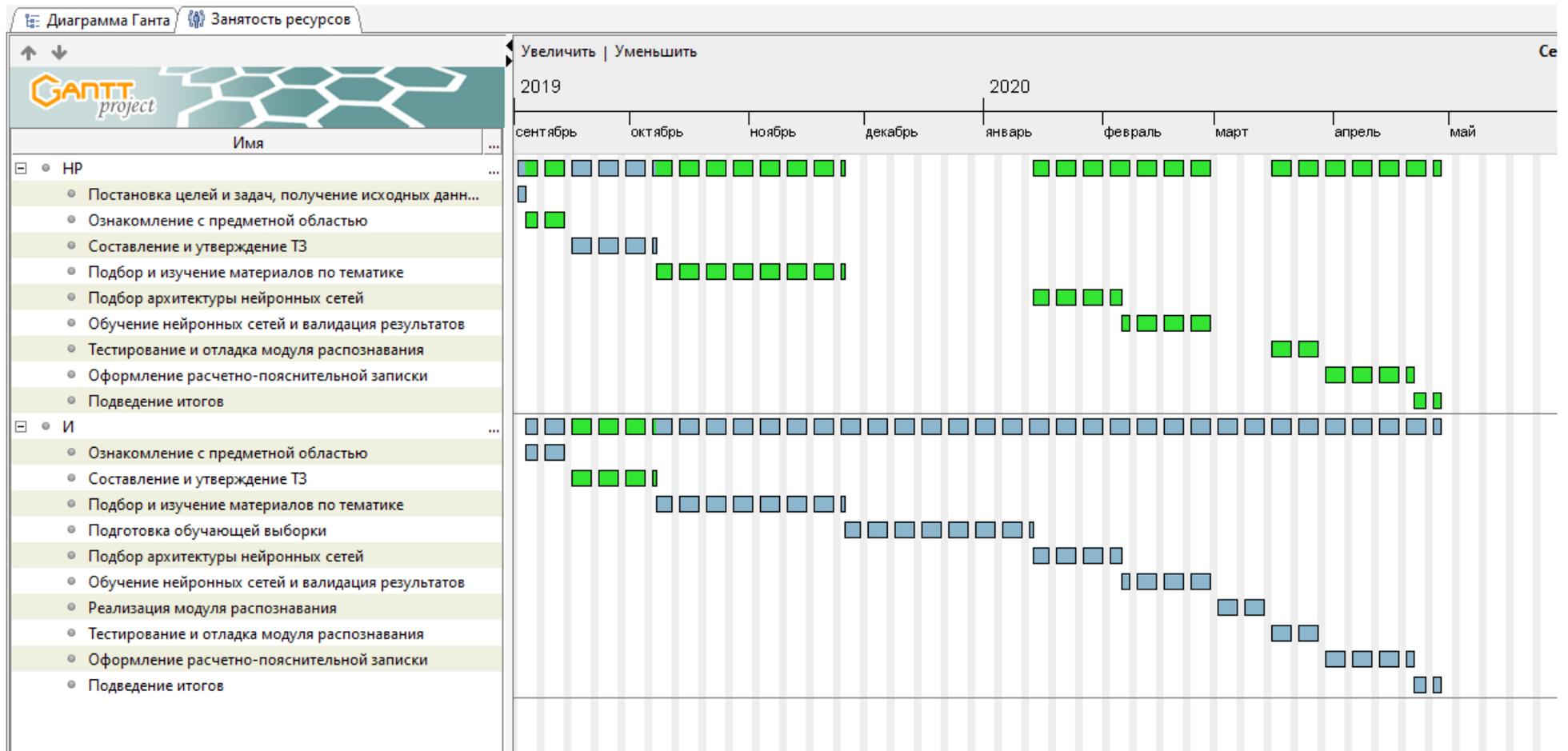


Рисунок Д.1