



Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Московский государственный технический университет  
имени Н.Э. Баумана  
(национальный исследовательский университет)»  
(МГТУ им. Н.Э. Баумана)

ФАКУЛЬТЕТ \_\_\_\_\_ Информатика и системы управления \_\_\_\_\_

КАФЕДРА \_\_\_\_\_ Программное обеспечение ЭВМ и информационные технологии \_\_\_\_\_

# РАСЧЕТНО-ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПISКА К ВЫПУСКНОЙ КВАЛИФИКАЦИОННОЙ РАБОТЕ

НА ТЕМУ:

Колоризация черно-белых изображений на основе  
искусственных нейронных сетей

Студент \_\_\_\_\_ ИУ7-81Б \_\_\_\_\_  
(Группа)

\_\_\_\_\_ Карпухин А.С.  
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Руководитель ВКР

А.Исаев (03.06.20) Исаев А.Л.  
(Подпись, дата) (И.О.Фамилия)

Консультант

\_\_\_\_\_ (И.О.Фамилия)

Консультант

\_\_\_\_\_ (И.О.Фамилия)

Нормоконтролер

\_\_\_\_\_ (И.О.Фамилия)

2020 г.

## РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка содержит 85 стр., 4 ч., 41 рис., 2 табл., 22 источн., 1 прил.

Цель работы – разработка метода колоризации черно-белых изображений на основе искусственных нейронных сетей.

Задачи, решаемые в работе:

- анализ и сравнение существующих архитектур искусственных нейронных сетей, а также существующих методов колоризации на их основе;
- выбор модели нейронной сети для разработки на ее основе метода решения поставленной задачи;
- разработка архитектуры искусственной нейронной сети на основе выбранной модели с учетом особенностей решаемой задачи;
- разработка и тестирование программного обеспечения, реализующего предложенную архитектуру;
- исследование применимости разработанного метода.

Область применения разрабатываемого метода – колоризация и реставрация старых черно-белых фотографий, художественных и документальных фильмов.

В первой части работы приводится описание существующих типов искусственных нейронных сетей, применимых к задачам обработки изображений, а также обзор существующих нейросетевых методов колоризации. Во второй части проводится проектирование архитектуры искусственной нейронной сети для колоризации черно-белых изображений. Третья часть описывает детали реализации разработанного метода и тестирование реализованного программного обеспечения. Четвертая часть посвящена исследованию применимости реализованного метода.

Поставленная в работе цель была достигнута: был разработан и реализован метод колоризации черно-белых изображений на основе искусственных нейронных сетей, проведено исследование применимости метода и предложены пути дальнейшего развития.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	6
1 Аналитический раздел .....	9
1.1 Введение в предметную область .....	9
1.1.1 Искусственные нейронные сети .....	9
1.1.2 Машинное обучение .....	10
1.2 Обзор и анализ существующих архитектур нейронных сетей.....	12
1.2.1 Многослойный персептрон .....	12
1.2.2 Когнитрон .....	15
1.2.2.1 Архитектура нейронной сети .....	15
1.2.2.2 Обучение.....	17
1.2.3 Неокогнитрон .....	18
1.2.3.1 Архитектура нейронной сети .....	18
1.2.3.2 Обучение.....	20
1.2.4 Сверточная нейронная сеть.....	20
1.2.4.1 Операция свертки .....	21
1.2.4.2 Субдискретизация.....	24
1.2.4.3 Обучение.....	25
1.2.5 Выбор архитектуры нейронной сети .....	27
1.3 Обзор и анализ существующих решений .....	30
1.3.1 Let there be Color! .....	30
1.3.2 Colorful Image Colorization .....	32
1.3.3 Residual encoder .....	33
1.3.4 Анализ существующих решений.....	33

1.4 Формализованная постановка задачи .....	34
Вывод по разделу .....	35
2 Конструкторский раздел.....	36
2.1 Представление входных и выходных данных.....	36
2.2 Декомпозиция задачи .....	37
2.3 Архитектура нейронной сети.....	37
2.3.1 Архитектура кодировщика.....	38
2.3.1.1 Сверточные слои.....	39
2.3.1.2 Функция активации нейронов .....	40
2.3.1.3 Слои субдискретизации .....	43
2.3.2 Архитектура декодера .....	44
2.3.2.1 Слои обратной свертки .....	44
2.3.2.2 Сверточные слои.....	45
2.3.2.3 Функция активации нейронов .....	45
2.4 Разработанная модель нейронной сети.....	46
2.5 Восстановление исходного изображения.....	50
2.6 Обучение нейронной сети.....	52
2.6.1 Начальная инициализация параметров.....	52
2.6.2 Алгоритм оптимизации .....	53
2.6.3 Пакетная нормализация.....	55
2.7 Структура программного обеспечения.....	56
2.7.1 Компонент «Сверточная нейронная сеть» .....	57
2.7.2 Компонент «Слой нейронной сети».....	58
2.7.3 Компонент «Обучаемый слой».....	60

Вывод по разделу .....	61
3 Технологический раздел.....	62
3.1 Средства реализации программного обеспечения .....	62
3.2 Компиляция программы.....	62
3.3 Модульное тестирование программного обеспечения .....	63
3.4 Тестирование на наличие утечек памяти.....	64
3.5 Формат входных и выходных данных .....	64
3.6 Описание пользовательского интерфейса.....	65
Вывод по разделу .....	68
4 Экспериментальный раздел .....	69
4.1 Постановка эксперимента .....	69
4.2 Исследование обучения нейронной сети.....	70
4.3 Исследование метода восстановления разрешения.....	71
4.4 Исследование времени работы нейронной сети.....	72
4.5 Исследование качества колоризации изображений .....	73
Вывод по разделу .....	79
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	81
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ .....	82
ПРИЛОЖЕНИЕ А .....	84