

# MUHANDISLIK

## & IQTISODIYOT

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

**No2**  
MAXSUS SON

**2026**

**MART**



Milliy nashrlar

OAK: <https://oak.uz/pages/4802>

05.00.00 – Texnika fanlari

08.00.00 – Iqtisodiyot fanlar



Google Scholar

OPEN ACCESS

ULRICHSWEB<sup>™</sup>  
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

Academic Resource Index  
ResearchBib

ISSN INTERNATIONAL STANDARD SERIAL NUMBER INTERNATIONAL CENTRE

CYBERLENINKA

OpenAIRE

ROAD

INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL

BASE

Crossref

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ БИБЛИОТЕКА LIBRARY.RU

**BAKALAVR  
TALABALARINING  
MAQOLALARI  
TO‘PLAMI**

РЭУ.РФ  
РОССИЙСКИЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА  
ТАШКЕНТСКИЙ ФИЛИАЛ



# muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

Elektron nashr, 96 sahifa,  
mart, 2026-yil.

## Bosh muharrir:

Zokirova Nodira Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, DSc, professor

## Bosh muharrir o'rinbosari:

Shakarov Zafar G'afrovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori, PhD, dotsent

## Tahrir hay'ati:

Abduraxmanov Kalendar Xodjayevich, O'z FA akademigi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Sharipov Kongratbay Avezimbetovich, texnika fanlari doktori, professor

Maxkamov Baxtiyor Shuxratovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Abduraxmanova Gulnora Kalandarovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shaumarov Said Sanatovich, texnika fanlari doktori, professor

Turayev Bahodir Xatamovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Nasimov Dilmurod Abdulloyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Allayeva Gulchexra Jalgasovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Arabov Nurali Uralovich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Maxmudov Odiljon Xolmirzayevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Xamrayeva Sayyora Nasimovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bobonazarova Jamila Xolmurodovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Irmatova Aziza Baxromovna, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Bo'taboyev Muhammadjon To'ychiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori, professor

Shamshiyeva Nargizaxon Nosirxuja kizi, iqtisodiyot fanlari doktori, professor,

Xolmuxamedov Muhsinjon Murodullayevich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Xodjayeva Nodiraxon Abdurashidovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Amanov Otabek Amankulovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Toxirov Jaloliddin Ochil o'g'li, texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Qurbonov Samandar Pulatovich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Zikriyoyev Aziz Sadulloyevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tabayev Azamat Zaripbayevich, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sxay Lana Aleksandrovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD), dotsent

Ismoilova Gulnora Fayzullayevna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Djumaniyazov Umrbek Ilxamovich, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kasimova Nargiza Sabitdjanovna, iqtisodiyot fanlari nomzodi, dotsent

Kalanova Moxigul Baxritdinovna, dotsent

Ashurzoda Luiza Muxtarovna, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sharipov Sardor Begmaxmat o'g'li, iqtisodiyot fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Tursunov Ulug'bek Sativoldiyevich, iqtisodiyot fanlari doktori (DSc), dotsent

Bauyetdinov Majit Janizaqovich, Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti dotsenti, PhD

Botirov Bozorbek Musurmon o'g'li, Texnika fanlari bo'yicha falsafa doktori (PhD)

Sultonov Shavkatjon Abdullayevich, Kimyo fanlari doktori, (DSc)

Jo'raeva Malohat Muhammadovna, filologiya fanlari doktori (DSc), professor.



# muhandislik & iqtisodiyot

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

- 05.01.00 – Axborot texnologiyalari, boshqaruv va kompyuter grafikasi  
05.01.01 – Muhandislik geometriyasi va kompyuter grafikasi. Audio va video texnologiyalari  
05.01.02 – Tizimli tahlil, boshqaruv va axborotni qayta ishlash  
05.01.03 – Informatikaning nazariy asoslari  
05.01.04 – Hisoblash mashinalari, majmualari va kompyuter tarmoqlarining matematik va dasturiy ta'minoti  
05.01.05 – Axborotlarni himoyalash usullari va tizimlari. Axborot xavfsizligi  
05.01.06 – Hisoblash texnikasi va boshqaruv tizimlarining elementlari va qurilmalari  
05.01.07 – Matematik modellashtirish  
05.01.11 – Raqamli texnologiyalar va sun'iy intellekt  
05.02.00 – Mashinasozlik va mashinashunoslik  
05.02.08 – Yer usti majmualari va uchish apparatlari  
05.03.02 – Metrologiya va metrologiya ta'minoti  
05.04.01 – Telekommunikatsiya va kompyuter tizimlari, telekommunikatsiya tarmoqlari va qurilmalari. Axborotlarni taqsimlash  
05.05.03 – Yorug'lik texnikasi. Maxsus yoritish texnologiyasi  
05.05.05 – Issiqlik texnikasining nazariy asoslari  
05.05.06 – Qayta tiklanadigan energiya turlari asosidagi energiya qurilmalari  
05.06.01 – To'qimachilik va yengil sanoat ishlab chiqarishlari materialshunosligi  
05.08.03 – Temir yo'l transportini ishlatish  
05.09.01 – Qurilish konstruksiyalari, bino va inshootlar  
05.09.04 – Suv ta'minoti. Kanalizatsiya. Suv havzalarini muhofazalovchi qurilish tizimlari  
10.00.06 – Qiyosiy adabiyotshunoslik, chog'ishtirma tilshunoslik va tarjimashunoslik  
10.00.04 – Yevropa, Amerika va Avstraliya xalqlari tili va adabiyoti  
08.00.01 – Iqtisodiyot nazariyasi  
08.00.02 – Makroiqtisodiyot  
08.00.03 – Sanoat iqtisodiyoti  
08.00.04 – Qishloq xo'jaligi iqtisodiyoti  
08.00.05 – Xizmat ko'rsatish tarmoqlari iqtisodiyoti  
08.00.06 – Ekonometrika va statistika  
08.00.07 – Moliya, pul muomalasi va kredit  
08.00.08 – Buxgalteriya hisobi, iqtisodiy tahlil va audit  
08.00.09 – Jahon iqtisodiyoti  
08.00.10 – Demografiya. Mehnat iqtisodiyoti  
08.00.11 – Marketing  
08.00.12 – Mintaqaviy iqtisodiyot  
08.00.13 – Menejment  
08.00.14 – Iqtisodiyotda axborot tizimlari va texnologiyalari  
08.00.15 – Tadbirkorlik va kichik biznes iqtisodiyoti  
08.00.16 – Raqamli iqtisodiyot va xalqaro raqamli integratsiya  
08.00.17 – Turizm va mehmonxona faoliyati

Ma'lumot uchun, OAK  
Rayosatining 2024-yil 28-avgustdagi 360/5-son qarori bilan "Dissertatsiyalar asosiy ilmiy natijalarini chop etishga tavsiya etilgan milliy ilmiy nashrlar ro'yxati"ga texnika va iqtisodiyot fanlari bo'yicha "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali ro'yxatga kiritilgan.

**Muassis:** "Tadbirkor va ishbilarmon" MChJ

**Hamkorlarimiz:**

1. Toshkent shahridagi G.V.Plexanov nomidagi Rossiya iqtisodiyot universiteti
2. Toshkent davlat iqtisodiyot universiteti
3. Toshkent irrigatsiya va qishloq xo'jaligini mexanizatsiyalash muhandislari instituti" milliy tadqiqot universiteti
4. Islom Karimov nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti
5. Muhammad al-Xorazmiy nomidagi Toshkent axborot texnologiyalari universiteti
6. Toshkent davlat transport universiteti
7. Toshkent arxitektura-qurilish universiteti
8. Toshkent kimyo-texnologiya universiteti
9. Jizzax politexnika instituti



# MUNDARIJA

XIZMAT KO'RSATISH KORXONALARI FAOLİYATI SAMARADORLIGINING IJTIMOY-IQTISODIY AHAMIYATI .....	8
<i>Jumaniyazov Rashid Azamatovich, Ismailov Baxit Abdireymovich</i>	
O'ZBEKISTON QISHLOQ XO'JALIGINING TARMOQ TAHLILI.....	12
<i>Go'zal Samadova Solik qizi, Husan Normurodov</i>	
SUN'IY INTELLEKT ASOSIDA DAVLAT BOSHQARUV TIZIMLARINI RAQAMLASHTIRISH .....	17
<i>Aytmuratov Qutlimurat Jalgasovich, Aytmuratova Ulbike</i>	
O'ZBEKISTONDA MOLIYAVIY SEKTORINI RIVOJLANTIRISH OMILLARI.....	21
<i>Abdusalilov S.A., Normurodov X.E.</i>	
ФОРМИРОВАНИЕ СТРАТЕГИЧЕСКИХ ЦЕЛЕЙ ИНВЕСТИЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ.....	27
<i>Абдужаидов Шохжахон Шухратович, Захидов Шухрат Шокирович, Насиров Дилшод Фархадович</i>	
СТЕЙБЛКОИНЫ КАК ФАКТОР ТРАНСФОРМАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФИНАНСОВОГО ПОСРЕДНИЧЕСТВА .....	31
<i>Бахтиярова А.Б., Алиева С.С.</i>	
TASHKILOT AXBOROT TIZIMLARINI KVANT TAHDIDLARIDAN HIMOYALASHDA POST-KVANT KRIPTOGRAFIK ALGORITMLARNI QO'LLASH.....	38
<i>G'ofurova Muxlisa G'ulom qizi, Tursunova Sadoqat Abdusalom qizi</i>	
CHORVACHILIKDA QIYMAT ZANJIRI: BARQARORLIK VA DAROMAD .....	44
<i>Saidov Muhammadali Hakimovich, Mahmatov Hoshim, Esanbekov Diyorbek</i>	
KICHIK BIZNES VA TADBIRKORLIK SUBYEKTLARIGA BERILAYOTGAN SOLIQ IMTIYOZLARINING SAMARADORLIGI .....	50
<i>Sarsengalieva Albina Askar Qizi, Sarsenbaev Baxitjan Abdulgazievich</i>	
STATISTIK TAHLILDA DASTURIY VOSITALARDAN FOYDALANISH.....	56
<i>Rizayeva Bahoroy Jahongir qizi, Daminova Barno Esanovna</i>	
QISHLOQ XO'JALIGI IQTISODIYOTINING YASHIL RIVOJLANISH XUSUSIYATLARI .....	62
<i>Dexkanova Shodiyona Kaxramon qizi, Normurodov X.E.</i>	
O'ZBEKISTON TURIZM INFRATUZILMASINI RIVOJLANTIRISHNING USTUVOR YO'NALISHLARI .....	66
<i>Abdurazakova Farangis Dilshod qizi, Normurodov X.E.</i>	
ИННОВАЦИОННЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ БИЗНЕС-ПРОЦЕССАМИ ОРГАНИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ ЭКОНОМИКИ .....	71
<i>Насиров Дилшод Фархадович, Абилова Мухлиса, Насимова Рухангиз</i>	
THE ROLE OF FOREIGN DIRECT INVESTMENT IN THE ECONOMY OF UZBEKISTAN .....	75
<i>Amanova Durdona Zoir qizi, Shodiboyeva Dilzoda Farhodjon qizi</i>	
INSTITUTIONAL ISLOHOTLAR VA IQTISODIY O'SISH O'RTASIDAGI BOG'LIQLIK.....	80
<i>Yarboeva Farida Ulug'bekovna, Yoqubova Zilola Tura qizi</i>	
QURILISH YUKLARINI TASHISH JARAYONIDA LOGISTIKA MASALALARI.....	86
<i>Ne'matov Husniddin Alijon o'g'li, Maxmudov Abrorxon Axmadxonovich</i>	
RAQAMLI IQTISODIYOT: O'ZBEKISTONDA RIVOJLANISH MUAMMOLARI VA ISTIQBOLLARI .....	90
<i>Yo'ldashaliyev Muxammadaziz Xabibulla o'g'li, Yoqubova Zilola Tura qizi</i>	
RAQAMLI IQTISODIYOT SHAROITIDA KICHIK BIZNESNI MIKROMOLIYALASHTIRISH ORQALI RIVOJLANTIRISH MUAMMOLARI .....	95
<i>Tojiyev Javlonbek Rustamovich, Yuldashev Sobirjon Xaknazarovich, Abdullayev Sunnat Nurullayevich</i>	



ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫРАЖЕНИЙ ЛИЦА НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ  
С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА.....101  
Гофуржонов М.Р., Абдуллаев А.А.



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ВЫРАЖЕНИЙ ЛИЦА НА ЦИФРОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЯХ С ПОМОЩЬЮ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА



## Гофуржонов М.Р.

Ташкентский университет  
информационных технологий  
им. Мухаммада ал-Хоразмий  
Ассистент кафедры “Искусственный интеллект”



## Абдуллаев А.А.

Ташкентский университет  
информационных технологий им.  
Мухаммада ал-Хоразмий  
Студент 4-го курса, факультет  
Программной инженерии

**Аннотация:** В статье рассматриваются методы автоматического определения и классификации выражений лица на цифровых изображениях с применением глубокого обучения. Проведен сравнительный анализ современных архитектур нейронных сетей — CNN, ResNet, MobileNet, EfficientNet и Vision Transformer — для задачи распознавания семи базовых эмоций. Описана разработанная система, включающая детектирование лица, нормализацию, извлечение признаков и классификацию. На датасете FER2013 достигнута точность 78,2 %, что превышает базовые показатели на 4,7 процентного пункта. Обсуждаются перспективы применения технологии в медицине, безопасности и взаимодействии человека с компьютером.

**Ключевые слова:** распознавание эмоций, выражения лица, глубокое обучение, сверточные нейронные сети, компьютерное зрение, FER2013, Vision Transformer.

**Annotatsiya:** Ushbu maqolada chuqur o'qitish usullaridan foydalangan holda raqamli tasvirlarda yuz ifodalarni avtomatik aniqlash va tasniflash metodlari ko'rib chiqiladi. Yettita asosiy emotsiyani aniqlash vazifasi uchun CNN, ResNet, MobileNet, EfficientNet va Vision Transformer kabi zamonaviy neyron tarmoq arxitekturalarining qiyosiy tahlili amalga oshirilgan. Ishlab chiqilgan tizim yuzni aniqlash, normallashtirish, xususiyatlarni ajratib olish va klassifikatsiya bosqichlarini o'z ichiga oladi. FER2013 ma'lumotlar to'plamida 78,2 % aniqlik darajasiga erishilgan bo'lib, bu bazaviy ko'rsatkichlardan 4,7 foiz punktga yuqoridir. Texnologiyaning tibbiyot, xavfsizlik va inson-kompyuter o'zaro ta'siri sohalarida qo'llanish istiqbollari muhokama qilinadi.

**Kalit so'zlar:** emotsiyalarni aniqlash, yuz ifodalari, chuqur o'qitish, konvolyutsion neyron tarmoqlar, kompyuter ko'rishi, FER2013, Vision Transformer.

**Abstract:** This article examines methods for the automatic detection and classification of facial expressions in digital images using deep learning techniques. A comparative analysis of modern neural network architectures — CNN, ResNet, MobileNet, EfficientNet, and Vision Transformer — was conducted for the task of recognizing seven basic emotions. The developed system includes face detection, normalization, feature extraction, and classification stages. On the FER2013 dataset, an accuracy of 78.2% was achieved, exceeding baseline results by 4.7 percentage points. The prospects for applying this technology in medicine, security, and human-computer interaction are discussed.

**Keywords:** emotion recognition, facial expressions, deep learning, convolutional neural networks, computer vision, FER2013, Vision Transformer.

## ВВЕДЕНИЕ

Человеческое лицо является одним из важнейших источников невербальной информации. В процессе общения люди способны за доли секунды распознавать эмоциональное состояние собеседника по мимике, жестам и изменениям выражения лица. Согласно исследованиям Albert Mehrabian, именно мимика передаёт значительную часть эмоциональной информации в межличностном взаимодействии. Поэтому задача автоматического распознавания выражений лица представляет собой не только научный интерес, но и имеет высокую практическую значимость.

Одним из основоположников исследований в данной области является Paul Ekman, который в 1970-х годах доказал универсальность базовых эмоций независимо от культурной принадлежности человека. К числу таких эмоций относятся радость, грусть, гнев, страх, удивление, отвращение и нейтральное состояние. Именно эти семь категорий чаще всего используются в современных системах автоматической классификации эмоций.

На протяжении длительного времени методы распознавания эмоций основывались на ручном выделении признаков, таких как Local Binary Patterns, Histogram of Oriented Gradients и Scale-Invariant Feature Transform. В сочетании с традиционными алгоритмами классификации они демонстрировали приемлемые результаты в контролируемых условиях, однако существенно снижали точность при изменении освещения, повороте головы, частичном перекрытии лица и других факторах реальной среды.

Ситуация существенно изменилась с развитием технологий глубокого обучения. Современные архитектуры, такие как Convolutional Neural Network, ResNet, MobileNet, EfficientNet и Vision Transformer, позволяют автоматически извлекать информативные признаки и значительно повышают качество распознавания эмоций.

Целью данной работы является разработка и исследование системы автоматического распознавания выражений лица на основе современных архитектур нейронных сетей, а также оценка её применимости для решения практических задач. Для достижения поставленной цели проведён обзор существующих методов, выбрана и настроена оптимальная архитектура, выполнено обучение модели и проведено её сравнение с альтернативными решениями на основе датасета FER2013.

## ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ ПО ТЕМЕ

Первые системы автоматического распознавания эмоций основывались на ручном выделении признаков изображения. Одним из наиболее распространённых методов являлся Local Binary Patterns, который кодировал локальную текстуру изображения через бинарные шаблоны соседних пикселей. Другим популярным подходом был Histogram of Oriented Gradients, фиксирующий направления градиентов и контуров на отдельных участках изображения. В сочетании с многоклассовыми алгоритмами, такими как Support Vector Machine, подобные методы обеспечивали точность порядка 60–65 % на датасете FER2013. Однако их эффективность существенно снижалась при изменении освещения, повороте головы или частичном перекрытии лица.

Другим направлением стали геометрические модели лица, в частности Active Shape Model и Active Appearance Model. Эти методы позволяли описывать форму и структуру лица через деформируемые шаблоны, однако показывали устойчивые результаты главным образом в лабораторных условиях. При использовании реальных изображений с различными ракурсами и сложным фоном их точность заметно снижалась.

Существенный прорыв в области компьютерного зрения произошёл после появления модели AlexNet, которая победила в конкурсе ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge в 2012 году и значительно превзошла существующие решения по точности классификации изображений. После этого сверточные нейронные сети стали доминирующим подходом в задачах анализа изображений.



Особое значение приобрела архитектура ResNet, предложившая использование остаточных соединений. Это позволило обучать очень глубокие сети без деградации качества обучения. На датасете FER2013 модель ResNet-50 стабильно достигает точности 74–75 %. Одновременно развивались облегченные архитектуры, такие как MobileNetV2 и SqueezeNet, ориентированные на использование в мобильных устройствах и системах с ограниченными вычислительными ресурсами.

Современным этапом развития методов распознавания эмоций стало применение трансформеров. Архитектура Vision Transformer переносит идеи трансформеров из обработки текста в компьютерное зрение. Изображение разбивается на отдельные патчи, которые рассматриваются как последовательность токенов и анализируются с помощью механизма само-внимания. Подобный подход обеспечивает высокую точность распознавания эмоций, однако требует значительных вычислительных ресурсов и больших объемов данных для обучения.

Современное состояние исследований в данной области подробно отражено в работах Li и Deng, которые рассматривают преимущества и ограничения как классических методов, так и современных архитектур глубокого обучения.

## МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для обучения и последующей оценки качества модели использовался датасет FER2013, содержащий 35 887 изображений лиц размером 48×48 пикселей и включающий семь классов эмоций. Особенностью данного набора данных является его высокая вариативность: изображения отличаются условиями освещения, ракурсами, качеством съёмки и наличием ошибок разметки. Благодаря этому датасет считается одним из наиболее приближенных к реальным условиям эксплуатации систем распознавания эмоций.

Дополнительно для предварительного обучения энкодера использовались датасеты AffectNet и RAF-DB. Датасет AffectNet включает около 450 000 изображений лиц с ручной разметкой по восьми категориям эмоций, тогда как RAF-DB содержит 29 672 изображения и широко применяется для обучения моделей распознавания эмоций в условиях реальных сцен.

В процессе подготовки данных выполнялись этапы детектирования лица, выравнивания, нормализации яркости и масштабирования изображений. Для повышения устойчивости моделей применялись методы аугментации данных: случайный поворот, отражение по горизонтали, изменение яркости и контрастности, а также случайное масштабирование. Это позволило повысить устойчивость системы к изменениям условий съёмки и уменьшить риск переобучения.

Для сравнительного анализа были использованы архитектуры Convolutional Neural Network, ResNet, MobileNet, EfficientNet и Vision Transformer. Оценка качества проводилась по метрикам accuracy, precision, recall и F1-score. Основным критерием сравнения являлась итоговая точность классификации на тестовой выборке.

Распределение классов эмоций в датасете FER2013 представлено в Таблице 1.

Таблица 1. Распределение классов в датасете FER2013

Эмоция	Кол-во образцов	Ключевые AU (Action Units)
Счастье	3 995	Подъём уголков рта, «гусиные лапки»
Грусть	436	Опускание уголков рта, брови сведены
Гнев	4 965	Сдвинутые брови, сжатые губы
Страх	4 097	Широко открытые глаза, поднятые брови
Удивление	4 002	Открытый рот, приподнятые брови
Отвращение	111	Поднятая верхняя губа, морщины на носу
Нейтральность	6 198	Расслабленные черты лица

Источник: составлено автором на основе данных Kaggle FER2013 Challenge

В качестве основного классификатора была выбрана архитектура EfficientNet-B3, предварительно обученная на датасете ImageNet. Выбор данной модели обусловлен использованием метода compound scaling, при котором глубина, ширина и разрешение сети увеличиваются сбалансированно, что позволяет достичь высокого качества классификации при умеренных вычислительных затратах.

Поверх предобученного энкодера была построена классификационная головка, включающая глобальное среднее пулирование, слой Dropout с вероятностью 0,4, полносвязный слой на 512 нейронов с функцией активации ReLU, дополнительный слой Dropout с вероятностью 0,3 и выходной слой на семь классов с функцией активации Softmax.

Обучение модели проводилось в два этапа с использованием стратегии progressive unfreezing. На первом этапе обучалась только классификационная головка, а затем последовательно размораживались верхние блоки энкодера с постепенным уменьшением скорости обучения. В качестве оптимизатора использовался AdamW в сочетании с методом cosine annealing. Обучение проводилось в течение 100 эпох при размере батча 64.

Для уменьшения риска переобучения применялись различные методы аугментации данных: горизонтальное отражение, повороты до  $\pm 15^\circ$ , изменение яркости и контрастности, добавление гауссова шума, а также метод CutMix. Кроме того, использовалась взвешенная функция потерь class-weighted cross-entropy, что позволило компенсировать дисбаланс классов эмоций.

Детектирование лиц реализовано на основе архитектуры MTCNN с последующим аффинным выравниванием по ключевым точкам лица. Для улучшения качества изображений применялась нормализация яркости методом CLAHE.

## АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Сравнительный анализ архитектур на тестовой выборке FER2013 при одинаковых условиях обучения представлен в Таблице 2.

Таблица 2. Сравнение архитектур нейронных сетей на FER2013

Архитектура	Точность (FER2013)	Параметры	Скорость (FPS)	Применение
VGG-16	71,2%	138M	45	Базовое детектирование
ResNet-50	74,8%	25M	62	Общее назначение
MobileNetV2	70,1%	3,4M	120+	Мобильные устройства
EfficientNet-B3	76,3%	12M	88	Оптимальный баланс
Vision Transformer	78,9%	86M	30	Высокая точность

Источник: результаты собственных экспериментов автора

Предложенная система на основе EfficientNet-B3 с описанными техниками обучения достигла точности 78,2% и взвешенного F1-Score 0,774 на тестовой выборке FER2013 — на 4,7 процентных пункта выше базовой CNN, что сопоставимо с лучшими опубликованными результатами для данного датасета.

Анализ матрицы ошибок показывает, что самыми сложными для модели оказались страх (61,3%) и отвращение (52,7%): оба класса малочисленны, а визуально страх легко перепутать с удивлением, отвращение — с гневом. Лучше всего система справляется с радостью (92,4%) и нейтральным выражением (88,1%) — эмоциями с наиболее чёткими и стабильными мимическими паттернами. Модель проявила устойчивость к вариациям освещения и частичному перекрытию лица, что подтверждает эффективность применённой стратегии аугментации.

Система протестирована на NVIDIA RTX 3060 (12 ГБ VRAM) и Intel Core i7-12700H. При обработке видеопотока 1080p средняя задержка составила 11,2 мс на одно лицо, что соответствует 89 FPS — достаточно для уверенной работы в реальном времени. На мобильной платформе Qualcomm Snapdragon 8 Gen 2 модель MobileNetV2 достигает 34 FPS.

## ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Проведённое исследование показало, что разработанная система автоматического распознавания выражений лица на основе архитектуры EfficientNet-B3, стратегии progressive unfreezing и расширенной аугментации данных обеспечивает высокую эффективность при решении задачи классификации эмоций. На датасете FER2013 достигнута точность 78,2 %, что превышает базовые показатели на 4,7 процентных пункта. Система демонстрирует устойчивость к изменениям освещения, частичным перекрытиям лица и способна функционировать в реальном времени со скоростью до 89 FPS на GPU.

Сравнение различных архитектур подтверждает, что EfficientNet обеспечивает оптимальное соотношение между точностью классификации и вычислительными затратами, что делает его особенно перспективным для мобильных и встраиваемых решений. В то же время Vision Transformer показывает более высокие результаты при наличии достаточных вычислительных ресурсов и больших объёмов обучающих данных.

Практическая значимость исследования проявляется в широких возможностях применения технологии. В медицине система может использоваться для мониторинга пациентов с эмоциональными



и аффективными расстройствами, а также в сфере телемедицины. В образовании технология позволяет адаптировать подачу учебного материала в зависимости от эмоционального состояния обучающихся. В автомобильной отрасли она может быть интегрирована в системы Advanced Driver Assistance Systems для контроля усталости и внимания водителя. Кроме того, технология представляет интерес для маркетинга и анализа потребительского поведения.

Несмотря на достигнутые результаты, система имеет ряд ограничений. Снижение точности наблюдается при экстремальном освещении, поворотах головы более чем на 45 градусов, а также при наличии очков, масок и других аксессуаров, частично перекрывающих лицо.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются мультимодальный анализ, объединяющий мимику, голос и жесты, использование методов Self-Supervised Learning для уменьшения зависимости от размеченных данных, а также интеграция системы Facial Action Coding System для более точного моделирования отдельных мимических движений.

Отдельного внимания заслуживают вопросы этики и конфиденциальности. Использование систем распознавания эмоций без согласия пользователя может затрагивать право на частную жизнь, поэтому внедрение подобных технологий должно сопровождаться прозрачными правилами применения, соблюдением требований защиты персональных данных и развитием соответствующей нормативно-правовой базы.

#### **СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ**

1. Ekman P., Friesen W. V. Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement. — Palo Alto: Consulting Psychologists Press, 1978. — 228 p.
2. LeCun Y., Bengio Y., Hinton G. Deep learning // Nature. — 2015. — Vol. 521. — P. 436–444. DOI: 10.1038/nature14539
3. He K., Zhang X., Ren S., Sun J. Deep Residual Learning for Image Recognition // Proc. IEEE CVPR. — 2016. — P. 770–778. DOI: 10.1109/CVPR.2016.90
4. Dosovitskiy A. et al. An Image is Worth 16×16 Words: Transformers for Image Recognition at Scale // ICLR 2021. — arXiv:2010.11929
5. Tan M., Le Q. V. EfficientNet: Rethinking Model Scaling for Convolutional Neural Networks // ICML 2019. — arXiv:1905.11946
6. Goodfellow I. J. et al. Challenges in Representation Learning: A Report on Three Machine Learning Contests // Neural Networks. — 2015. — Vol. 64. — P. 59–63.
7. Zhang K. et al. Joint Face Detection and Alignment Using Multitask Cascaded Convolutional Networks // IEEE Signal Processing Letters. — 2016. — Vol. 23, No. 10. — P. 1499–1503.
8. Li S., Deng W. Deep Facial Expression Recognition: A Survey // IEEE TAFFC. — 2022. — Vol. 13, No. 3. — P. 1195–1215. DOI: 10.1109/TAFFC.2020.2981446
9. Sandler M. et al. MobileNetV2: Inverted Residuals and Linear Bottlenecks // Proc. IEEE CVPR. — 2018. — P. 4510–4520.
10. Mollahosseini A., Hasani B., Mahoor M. H. AffectNet: A Database for Facial Expression, Valence, and Arousal Computing in the Wild // IEEE TAFFC. — 2019. — Vol. 10, No. 1. — P. 18–31.

# **muhandislik**

# **& iqtisodiyot**

ijtimoiy-iqtisodiy, innovatsion texnik,  
fan va ta'limga oid ilmiy-amaliy jurnal

**Ingliz tili muharriri:** Feruz Hakimov

**Musahhih:** Zokir Alibekov

**Sahifalovchi va dizayner:** Iskandar Islomov

**2-Maxsus son.**

**Bakalavr talabalarining maqolalari to'plami**

© Materiallar ko'chirib bosilganda "Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali manba sifatida ko'rsatilishi shart. Jurnalda bosilgan material va reklamalardagi dalillarning aniqligiga mualliflar ma'sul. Tahririyat fikri har vaqt ham mualliflar fikriga mos kelmasligi mumkin. Tahririyatga yuborilgan materiallar qaytarilmaydi.

"Muhandislik va iqtisodiyot" jurnali 26.06.2023-yildan  
O'zbekiston Respublikasi Prezidenti Adminstratsiyasi huzuridagi  
Axborot va ommaviy kommunikatsiyalar agentligi tomonidan  
№S-5669245 reyestr raqami tartibi bo'yicha ro'yxatdan o'tkazilgan.  
**Litsenziya raqami: №095310.**

**Manzilimiz: Toshkent shahri Yunusobod  
tumani 15-mavze 19-uy**





+998 93 718 40 07



<https://muhandislik-iqtisodiyot.uz/index.php/journal>



[t.me/yait\\_2100](https://t.me/yait_2100)