Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого
Институт компьютерных наук и кибербезопасности
Высшая школа компьютерных технологий и информационных систем

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА
РАБОТА БАКАЛАВРА

МУЛЬТИМОДАЛЬНОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ЭМОЦИЙ

по направлению 09.03.01 Информатика и вычислительная техника
направленность (профиль) 09.03.01_01 Разработка компьютерных систем

Выполнил
студент гр. 3530901/10101 Непомнящий Матвей Тимофеевич

Руководитель
старший преподаватель Куляшова Зинаида Викторовна

Научный консультант
доцент, к. ф.-м. н. Пак Вадим Геннадьевич

Санкт-Петербург
2025

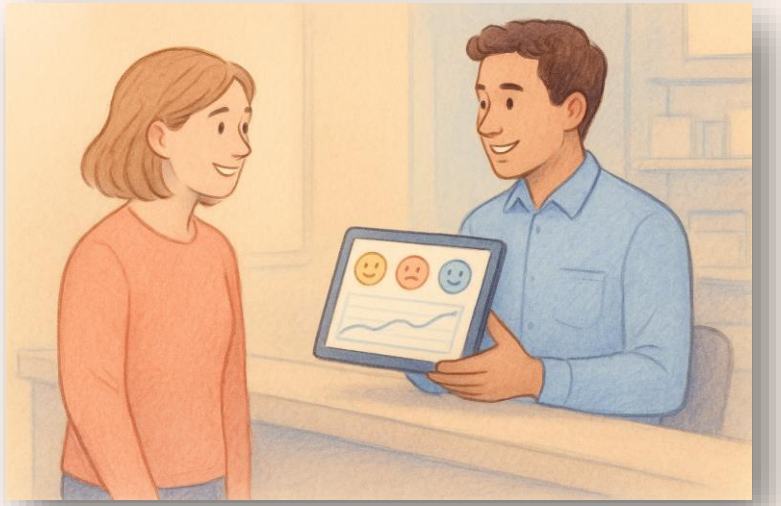
Цели и задачи работы

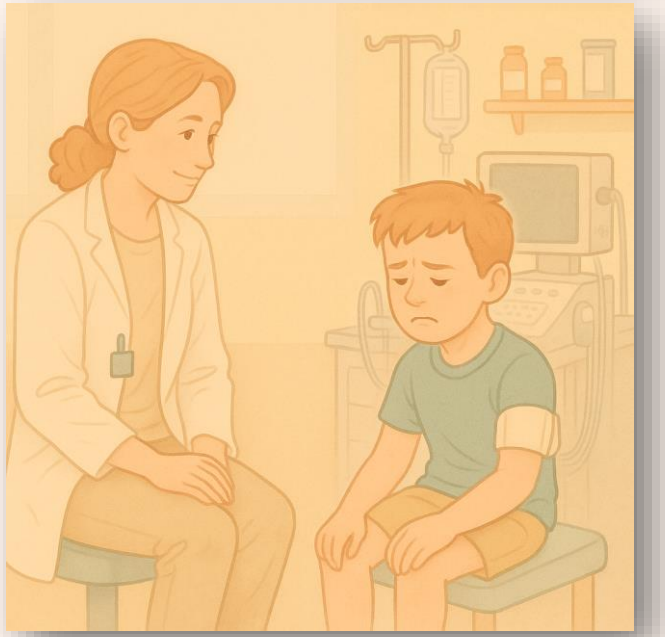
Цель работы — разработка и реализация системы мультимодального распознавания эмоций на основе анализа видео-, аудио- и текстовой информации с применением механизма взвешивания модальностей для обеспечения устойчивости к неполноте и зашумлённости входных данных.

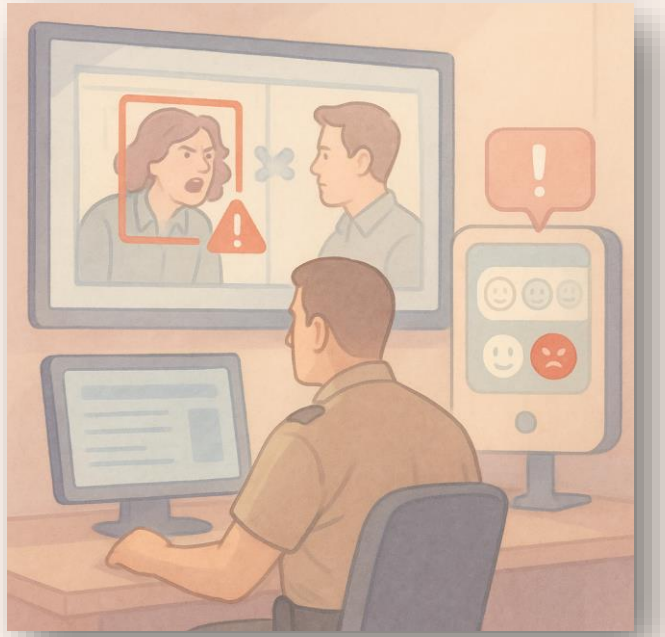
Задачи:

1. Анализ существующих решений.
2. Создание системы, обеспечивающую независимую обработку каждой модальности.
3. Разработка алгоритма объединения результатов работы отдельных модулей в единую мультимодальную оценку эмоционального состояния.
4. Тестирование и оценка качества работы системы на реальных данных.

Актуальность







Проблематика

- Нет текстового контекста
- Скрыта мимика
- Отсутствует интонация
- Полный контекст

Существующие решения

Мультимодальная структура

Единая модель, которая сразу анализирует видео, аудио и текст.

✓ Простота интеграции;
✗ Тяжёлая и ресурсозатратная, нет гибкости в обновлении модальностей.

Существующие решения

Emotion-LLaMA

- ✓ Генерирует rationale, высокая точность в “чистых” условиях
- ✗ Требует специализированных датасетов и мощных GPU

Существующие решения

Azure Emotion API

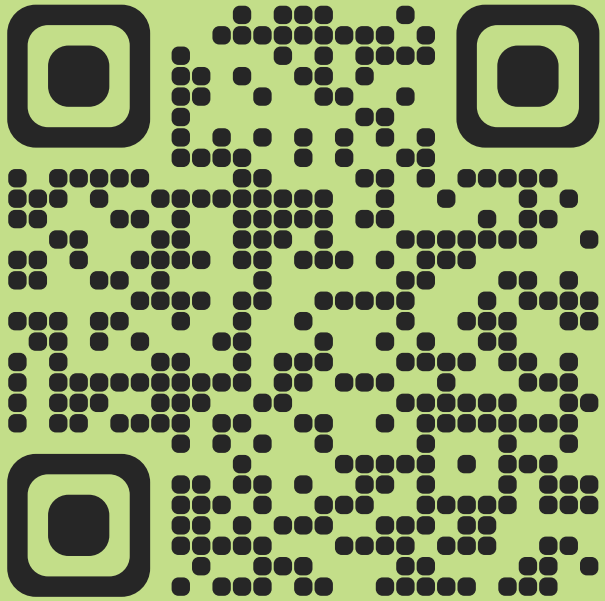
- ✓ Быстрая интеграция, готовый мультимодальный сервис
- ✗ Нет доступа к весам и промежуточным данным, низкая адаптивность

Существующие решения

Модульная структура

– Больше данных для каждой отдельной модальности
– Легче обновлять или подменять один канал без переобучения всей системы
– Меньше вычислительных затрат по сравнению с мультимодальными схемами

Существующие решения



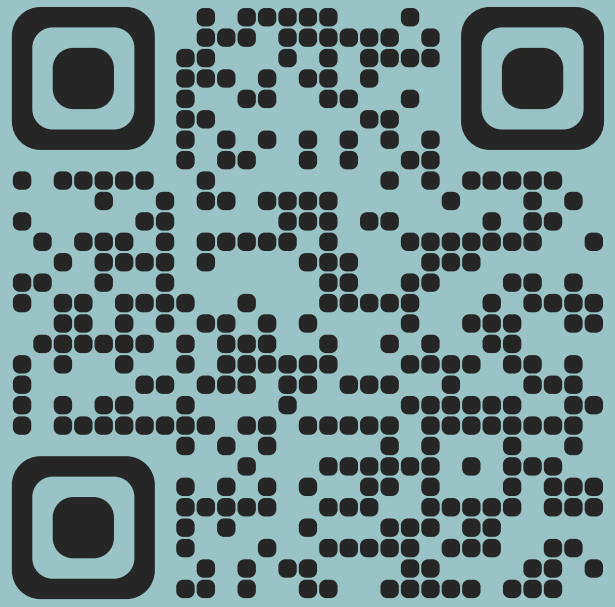
Shifted Window Transformer V2

(визуальная модальность)

✓ Меньше потребление памяти по сравнению с ViT

✗ Остаётся требовательным по ресурсам, требует большого количества данных для обучения

Существующие решения

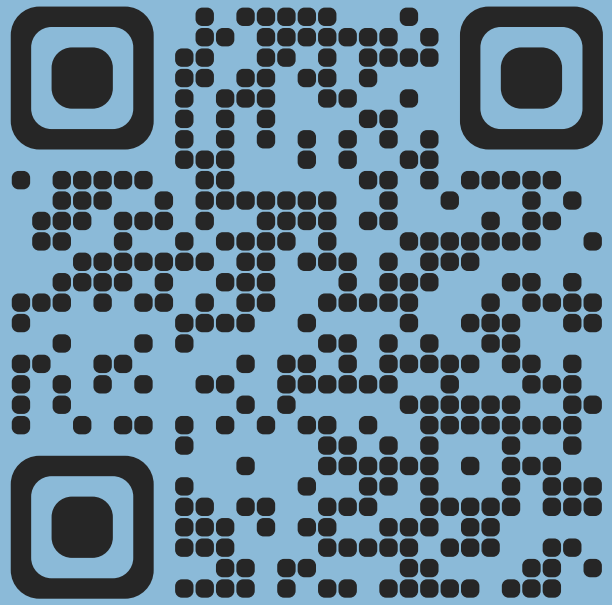


CNN с учётом времени

(визуальная модальность)

- ✓ Учитывает изменение выражения лица во времени
- ✗ Чуть менее точные, чем трансформеры

Существующие решения



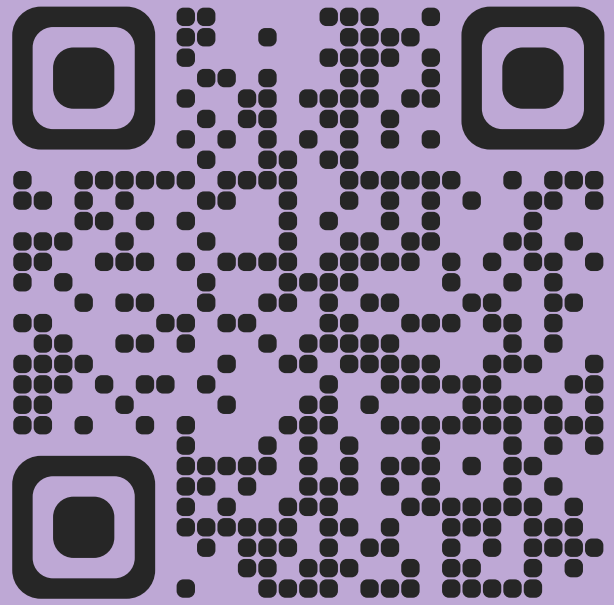
Wav2Vec 2.0

(аудио модальность)

✓ Устойчивость к шуму

✗ Остаётся требовательным по ресурсам, высокая потребность в вычислениях и памяти

Существующие решения



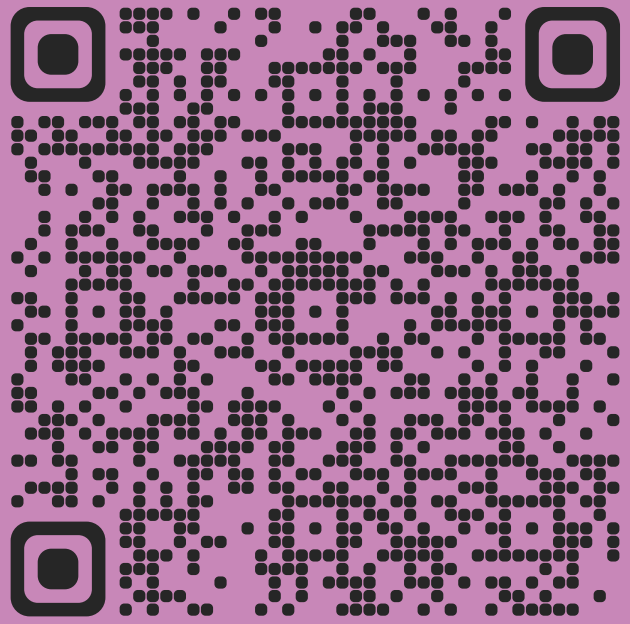
Спектрограммы + CNN

(аудио модальность)

✓ Просты в реализации, не требовательны по ресурсам

✗ Плохо улавливают длительную динамику

Существующие решения



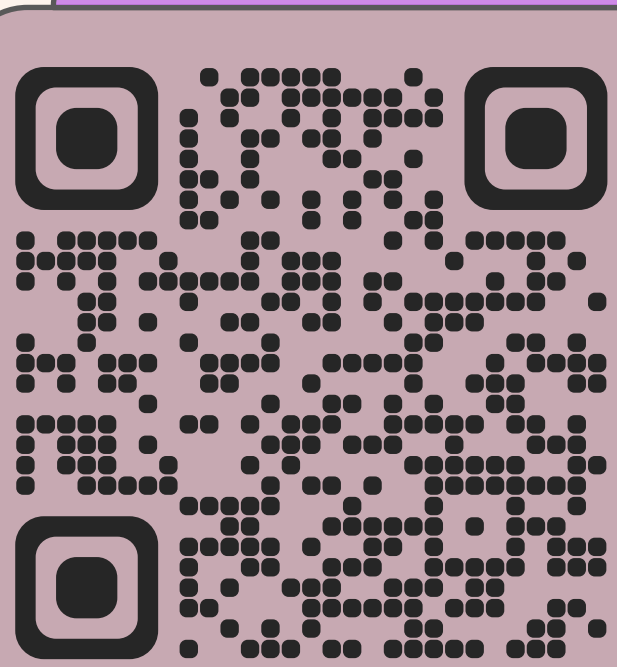
BiLSTM + Attention

(текстовая модальность)

✓ Быстрая скорость работы

✗ Плохо улавливает контекст, не подходит для большого текста

Существующие решения

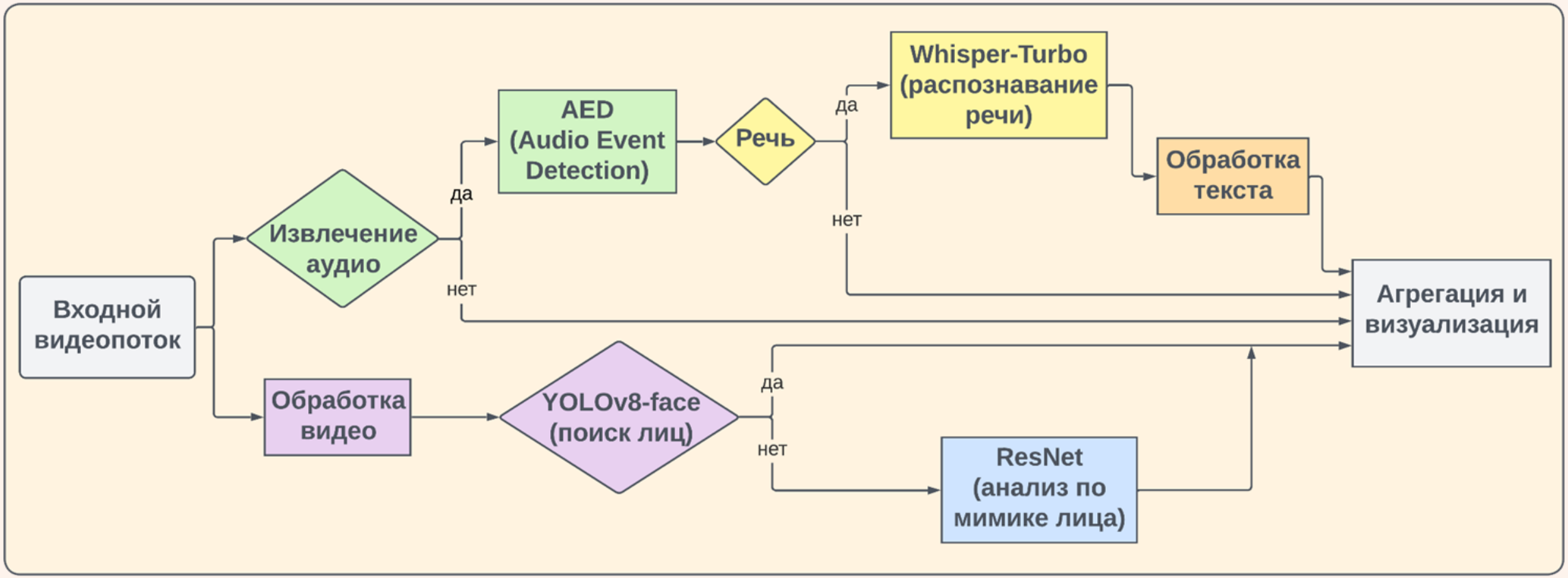


BERT/RoBERTa

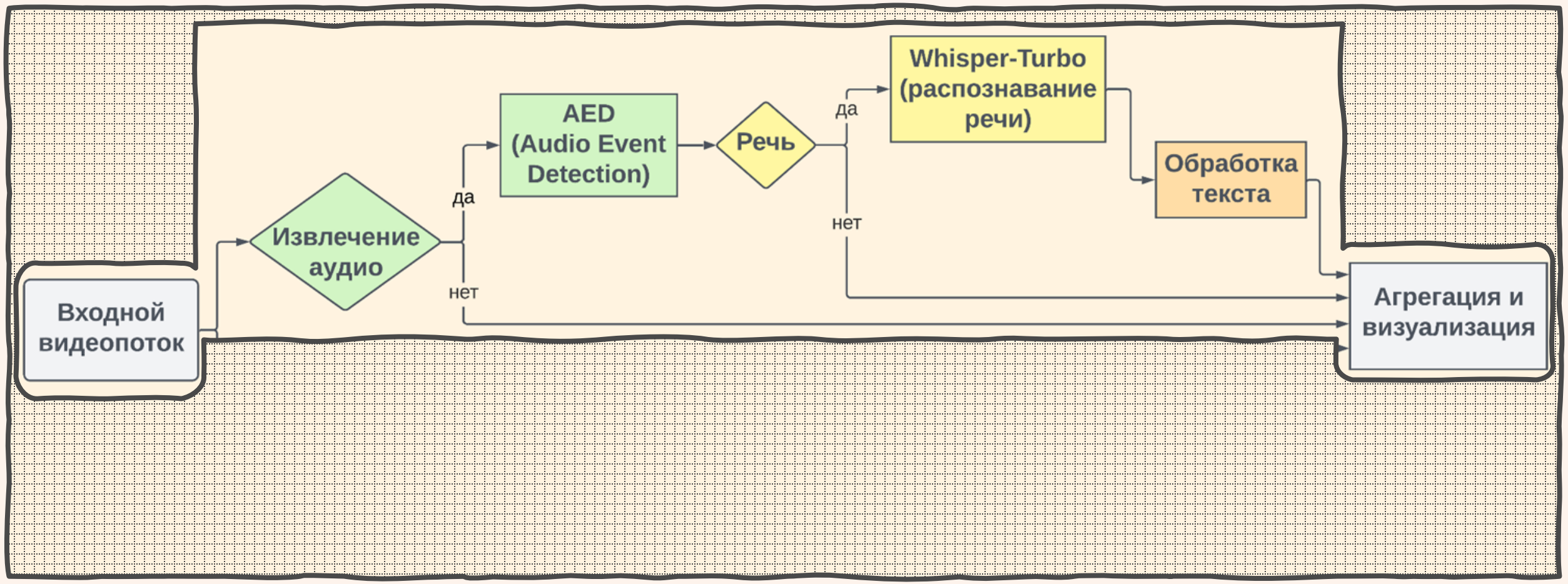
(текстовая модальность)

- ✓ Высокая точность, лёгкая масштабируемость
- ✗ Чуть более требователен по ресурсам

Общая структура системы



Анализ аудио и текста



Извлечение аудио

Видео

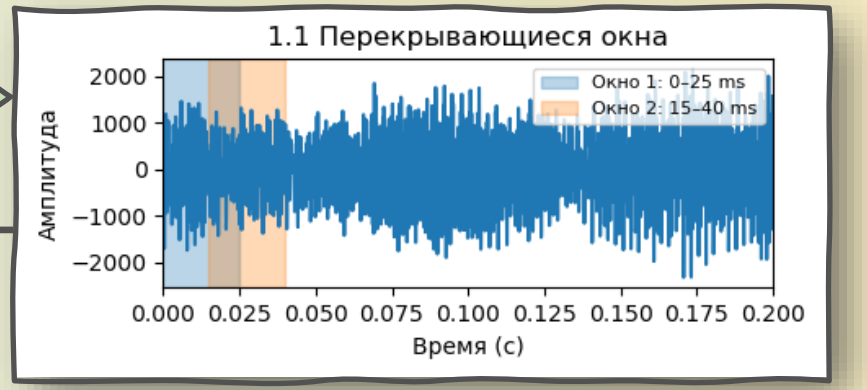
```python
def extract_audio_from_video(self, video_path):
    video_name = Path(video_path).stem
    audio_path = self.audio_output_dir / f"{video_name}.wav"
    if not audio_path.exists():
        probe_cmd = [
            'ffprobe', '-v', 'error',
            '-select_streams', 'a',
            '-show_entries', 'stream=codec_type',
            '-of', 'default=noprint_wrappers=1:nokey=1',
            str(video_path)
        ]
        result = subprocess.run(probe_cmd, capture_output=True, text=True, check=True)
        if not result.stdout.strip():
            print("No audio stream found in video")
            return None
        command = [
            'ffmpeg', '-i', str(video_path),
            '-vn', '-acodec', 'pcm_s16le',
            '-ar', '16000', '-ac', '1',
            str(audio_path)
        ]
        subprocess.run(command, capture_output=True, check=True)
        print(f"Audio extracted to {audio_path}")
```

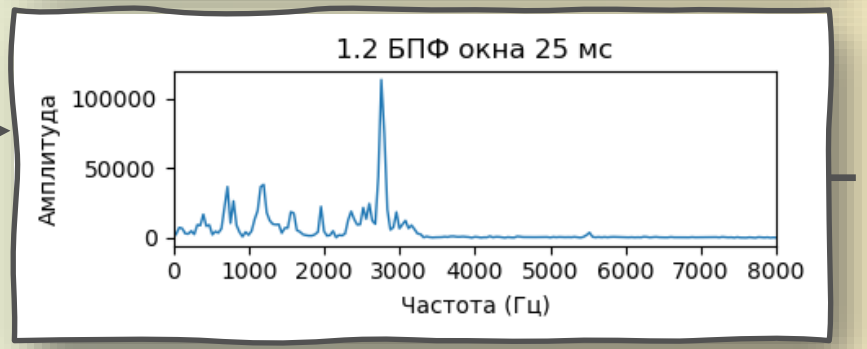
.wav файл

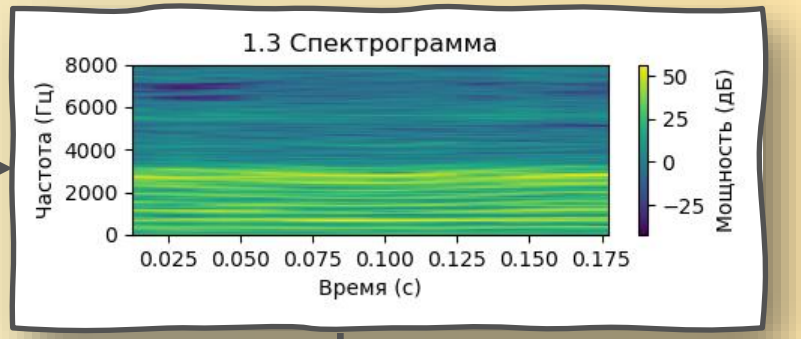
Пропуск

Анализ аудио (AED)

.wav файл



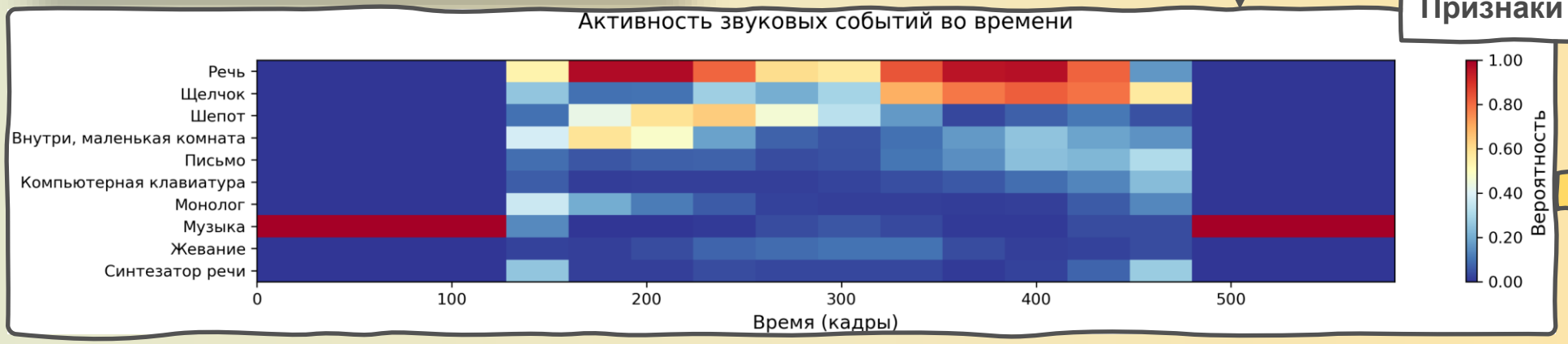




2DCNN

$$y[i,j] = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} x[i+k, j+l] \cdot w[k,l]$$

Признаки

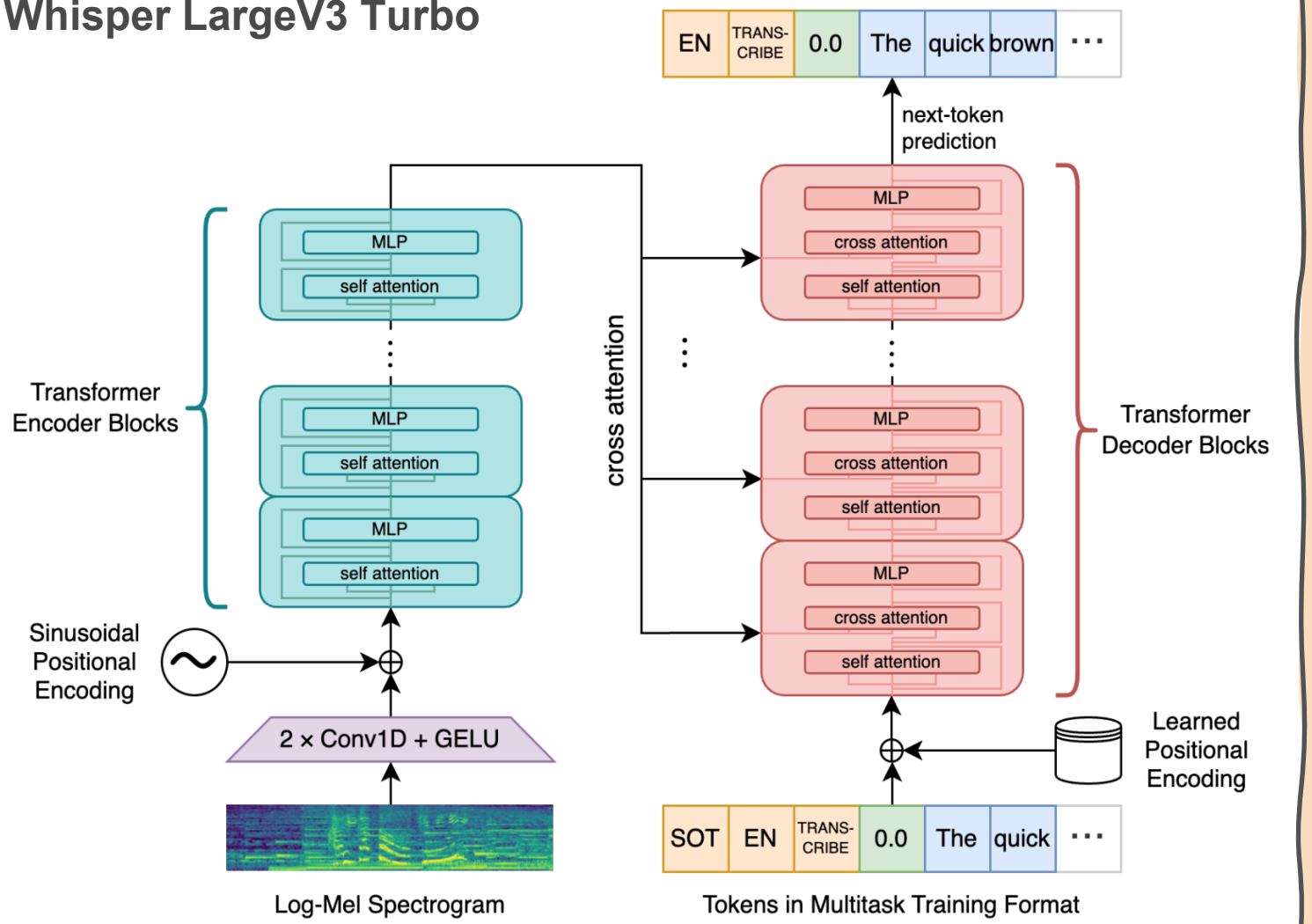


Пропуск

Детекция речи

Извлечение текста (ASR)

Детекция речи



Тип обучения: seq2seq

99 языков, 680 000 часов разметки

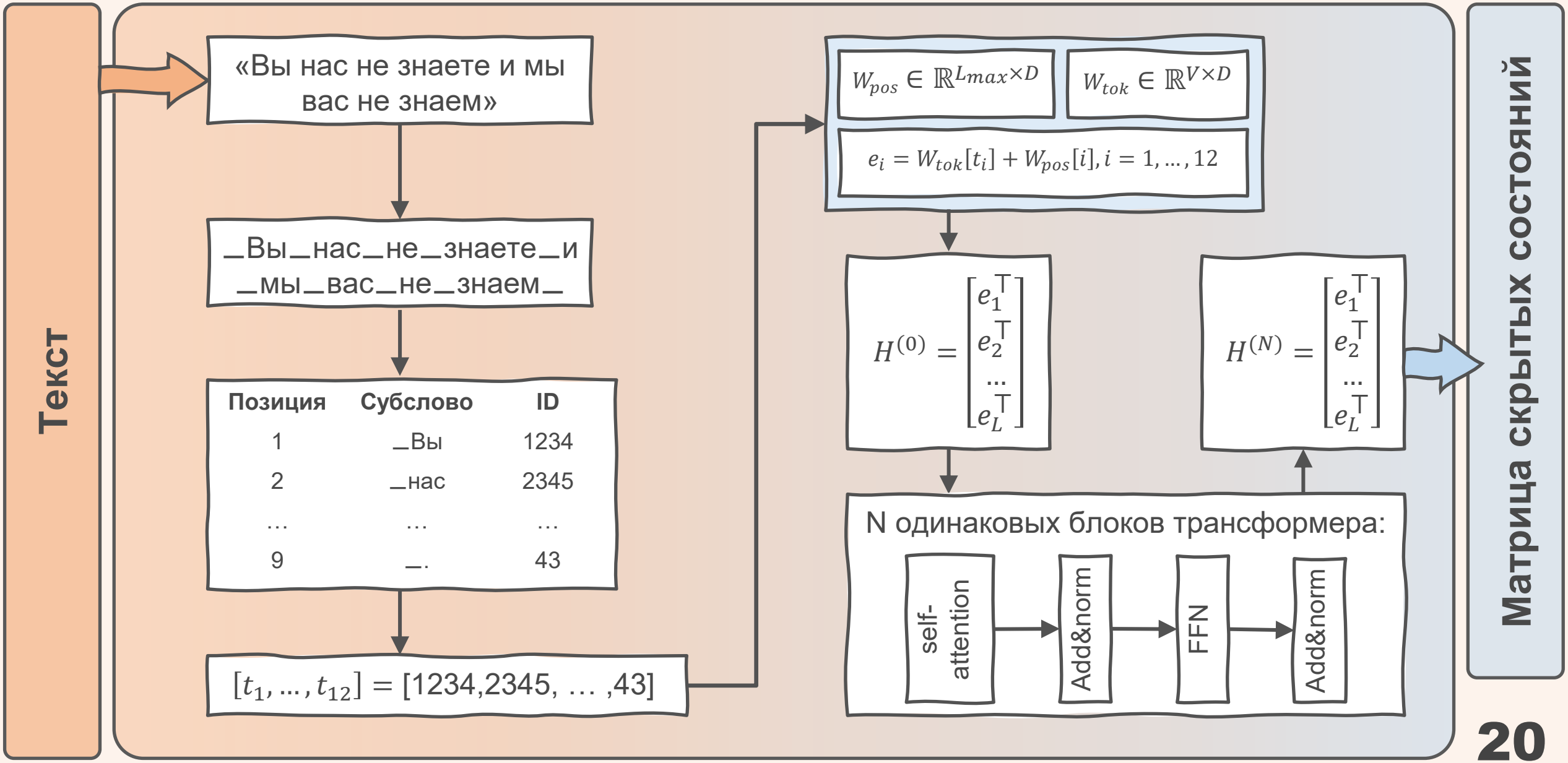
test-clean: ~2.8 %
test-other: ~11.5 %
WER: ~ 5.6 %

Пример текста:

“Здравствуйте, еще вопросы есть? Сумма? 300? Это не серьезно. Не-не-не, так не пойдет. Вы нас не знаете и мы вас не знаем. Вести дурачков. Я на русалках больше заработаю. Пошли, пошли. Куром на смех. Подумаешь, 300. Стойте.”

Текст

Анализ текста (TED)



Сравнение эмбеддингов

Матрица скрытых состояний

$H^{(N)} \in \mathbb{R}^{L \times D}$

Mean-пулинг

$$v = \frac{1}{L}\sum_{i=1}^{L} H_i^{(N)}$$

L2-нормировка

$$||v||_2 = \sqrt{\sum_{j=1}^{D} v_j^2}$$

Эмбеддинг

$$\hat{v} = \frac{v}{||v||_2},\ ||\hat{v}||_2 = 1$$

```
"ted": {
  "transcription": "Здравствуйте, еще вопросы есть? Сумма? 300. Это не серьезно. Не-не
-не, так не пойдет. Вы нас не знаете и мы вас не знаем. Вести дурачков. Я на русалках
больше заработаю. Пошли, пошли. Куром на змех. Подумаешь, 300. Стойте.",
  "emotions": {
    "отвращение": 0.26007319361513087,
    "гнев": 0.20736210956674103,
    "нейтральность": 0.18738932417066914,
    "грусть": 0.17031209807198822,
    "радость": 0.13441901791317423,
    "страх": 0.040444256662296 59,
    "удивление": 0.0
  },
  "top_emotion": "отвращение"
```

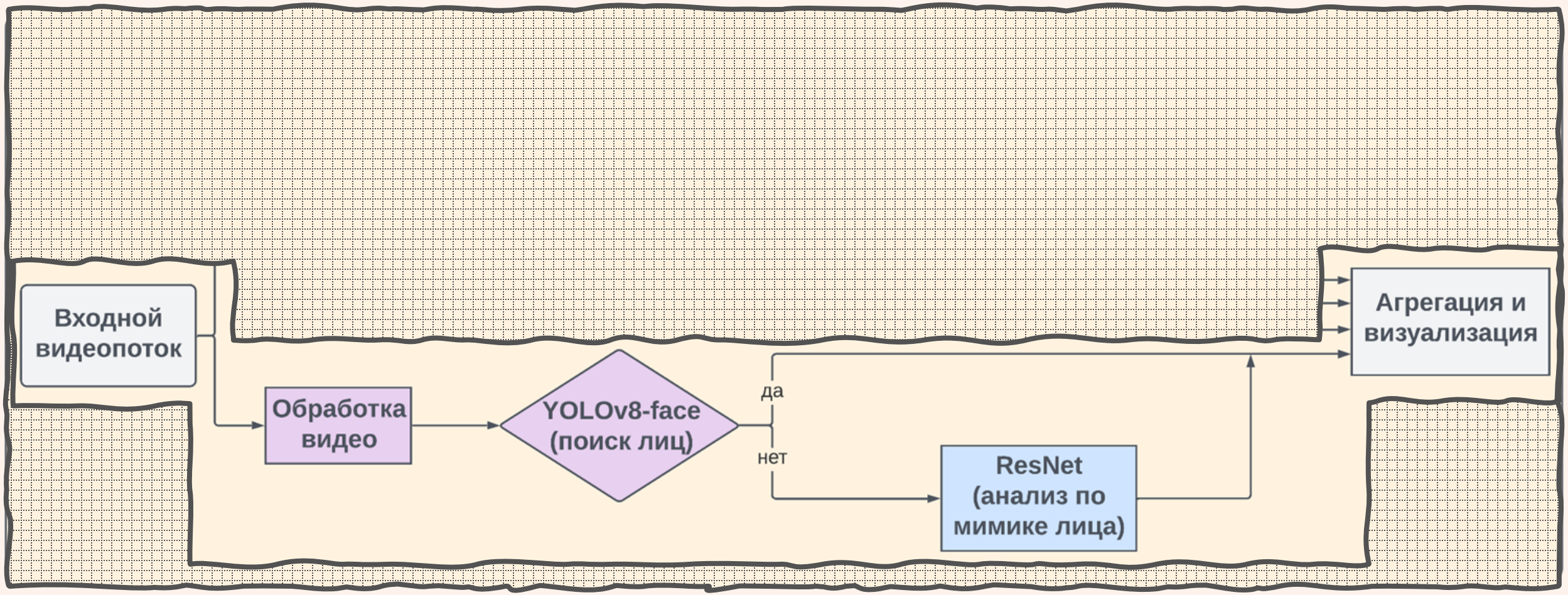
$$\cos(v, w) = \frac{v \cdot w}{||v||_2 ||w||_2} = \frac{\sum_{i=1}^{D} v_i^2 w_i^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^{D} v_i^2}\sqrt{\sum_{i=1}^{D} w_i^2}}$$

$\varepsilon = \mathbb{R}^D$

удивление
страх
радость
грусть
нейтральность
гнев
отвращение

Эмоции

Визуальная модальность

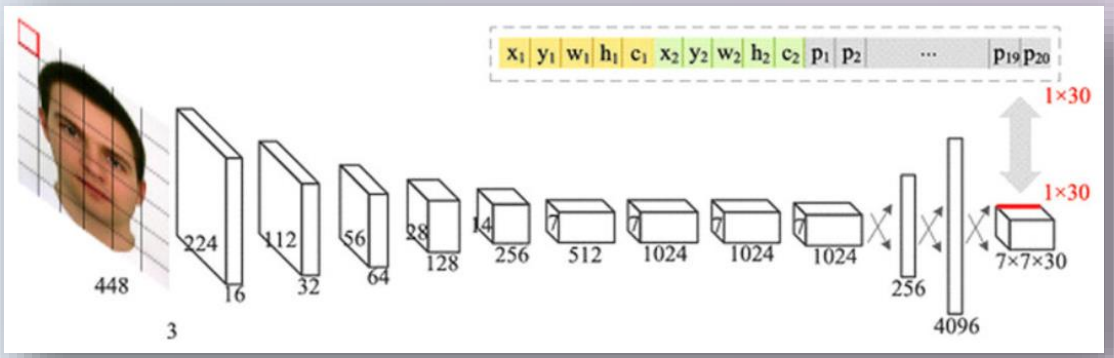


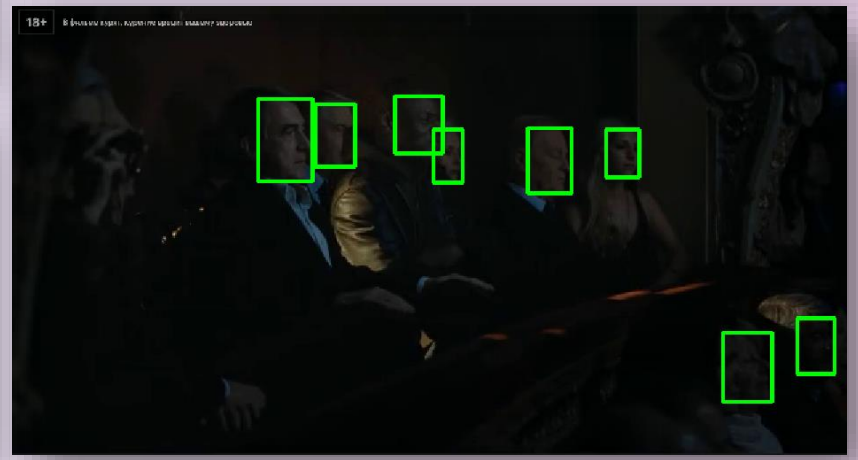
Поиск лиц

Видео

```python
from ultralytics import YOLO
import cv2

yolo_model = YOLO("fed/weights/yolov8l-face.pt")
frame = ...  # кадр из видео
results = yolo_model(frame)[0]
for box in results.boxes.xyxy.numpy():
    x1, y1, x2, y2 = map(int, box)
    cv2.rectangle(frame, (x1, y1), (x2, y2), (0, 255, 0), 2)
cv2.imshow("Face Detection", frame)
cv2.waitKey(0)
```





Координаты bbox

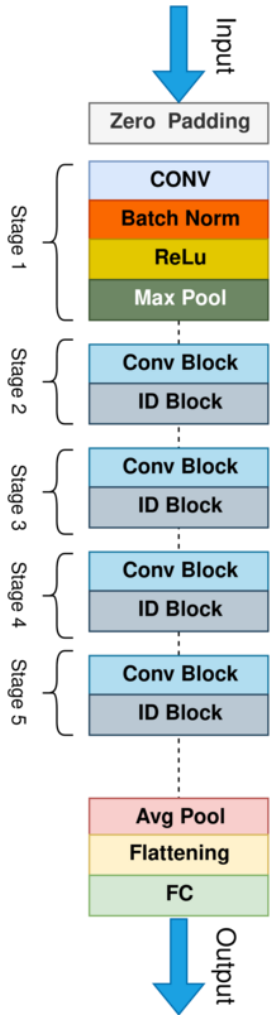
Пропуск

Анализ области bbox

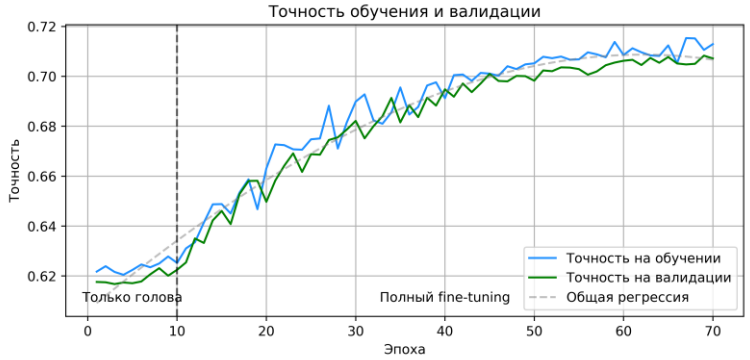
Координаты bbox

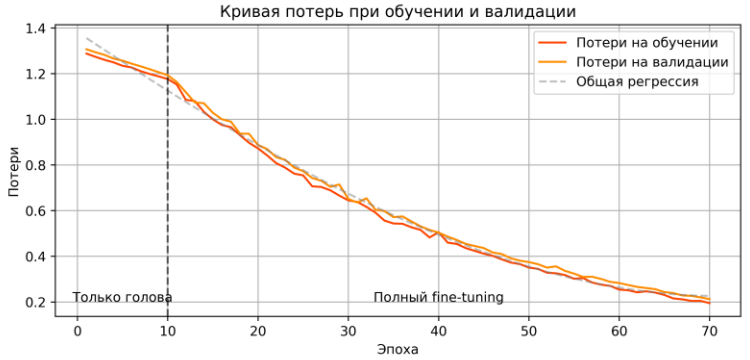
Эмоции

ResNet50



Графики обучения

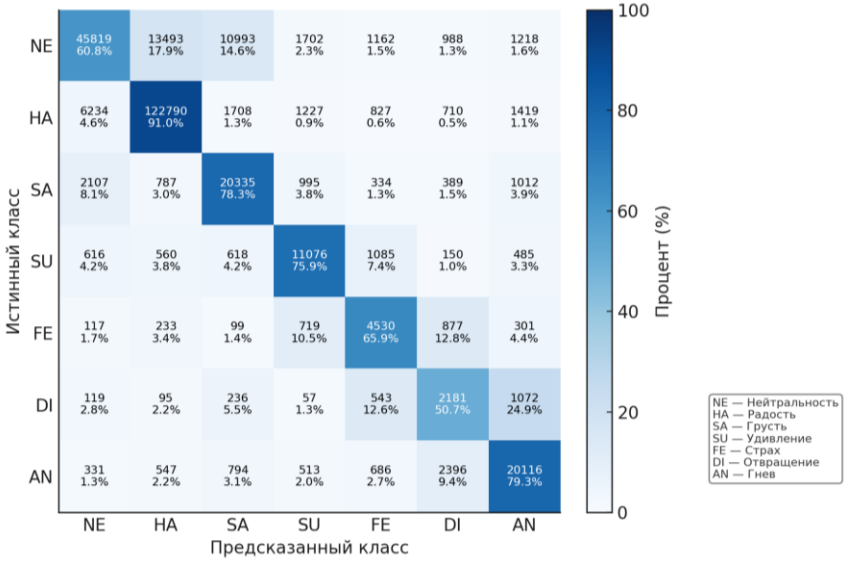




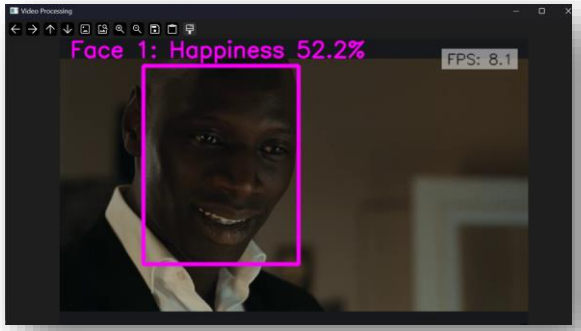
Датасет AffectNet

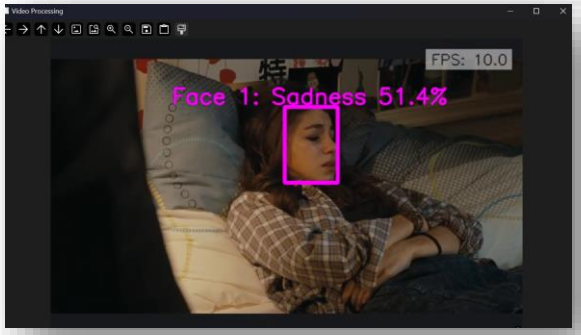
Neutral	75374
Happy	134915
Sad	25959
Surprise	14590
Fear	6878
Disgust	4303
Anger	25382
Contempt	4250
None	33588
Uncertain	12145
Non-Face	82915
Total	420299

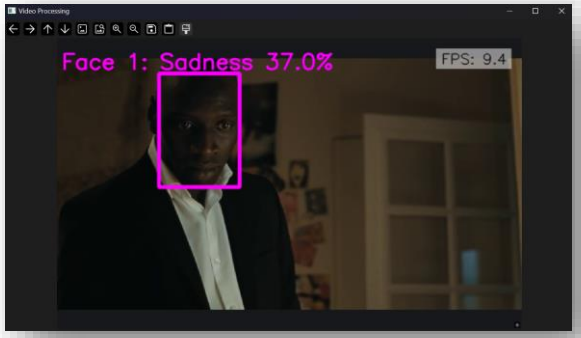
Матрица путаницы эмоций

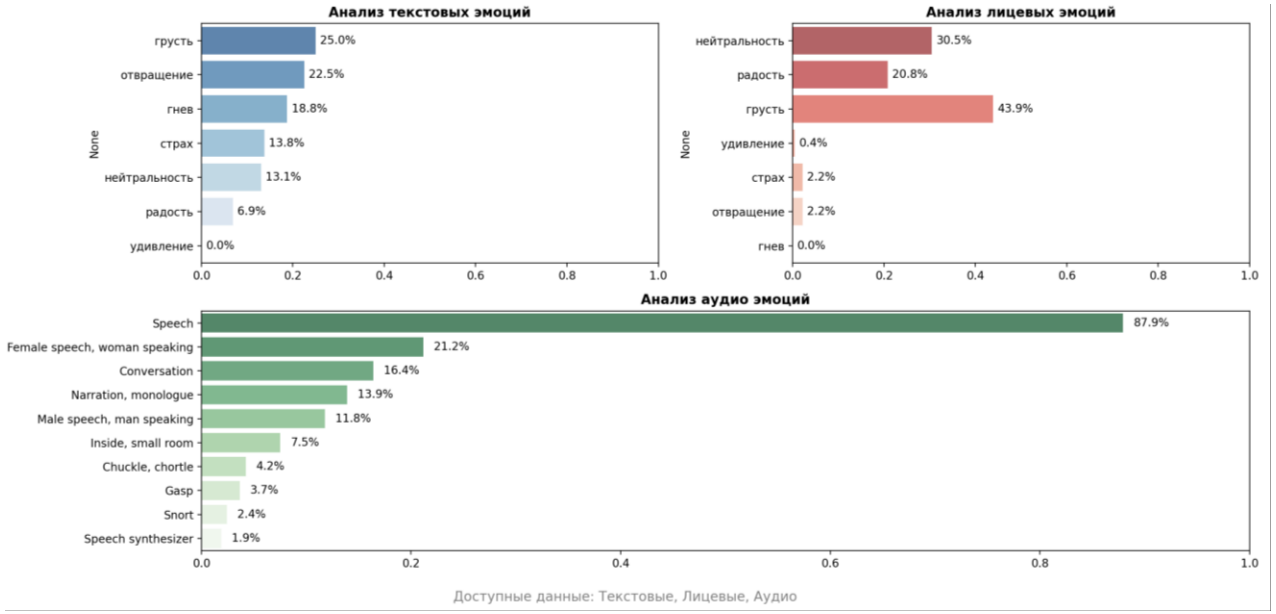


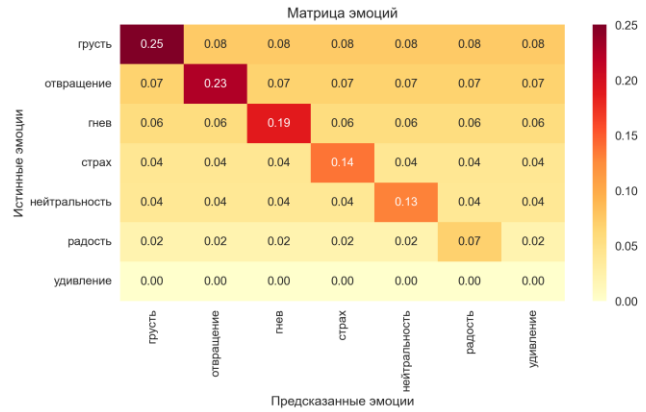
Пример работы 1

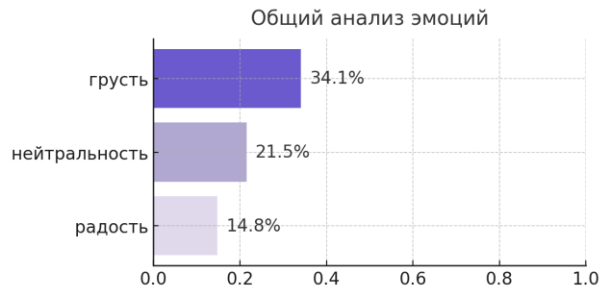












Распознанный текст:

“Ну что, звоним в скорую? Из-за чего это? Из-за Бастиана. И что с ним? Он меня бросил и ещё смеётся.“

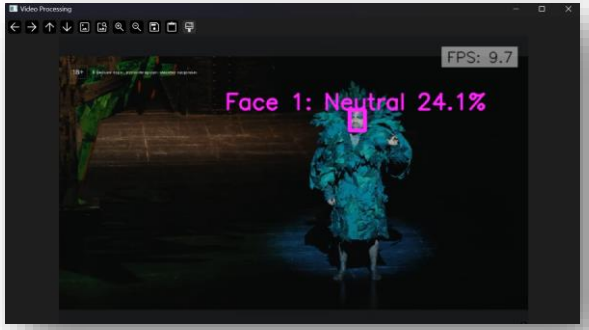
Аудио теги:

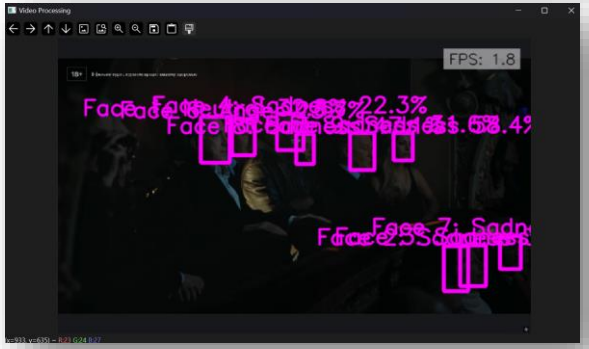
Речь, женская речь, разговор, мужская речь, хихиканье, шёпот

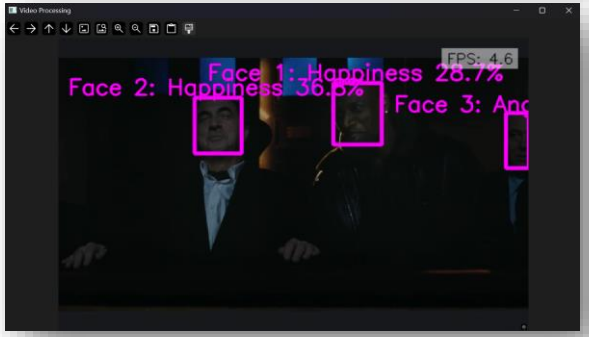
ТОП-3 эмоции:

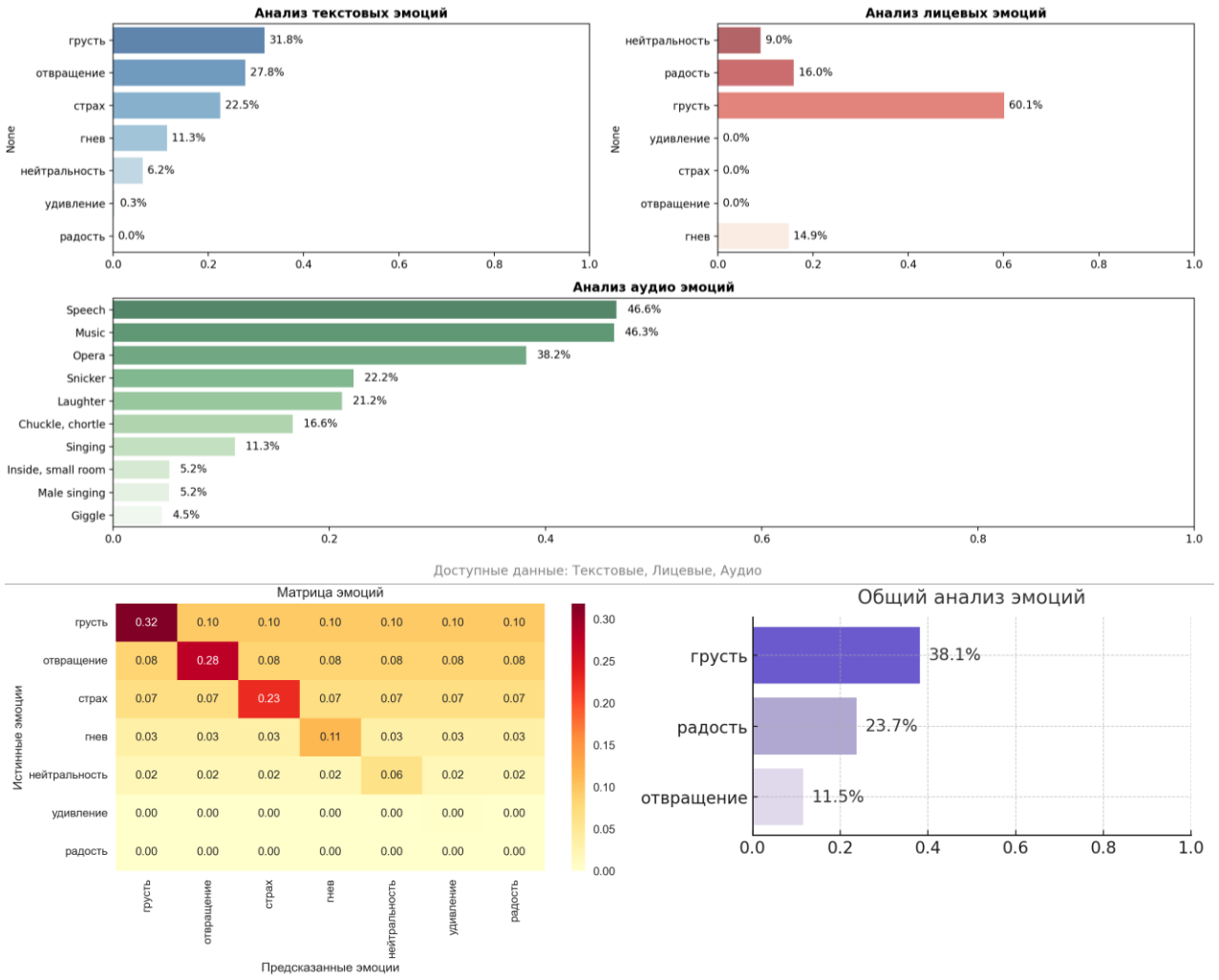
Грусть: 34.1%
Нейтральность: 21.5%
Радость 14.8%

Пример работы 2









Распознанный текст:

“Какой ужас! Что это с ним? Чего шипишь?“

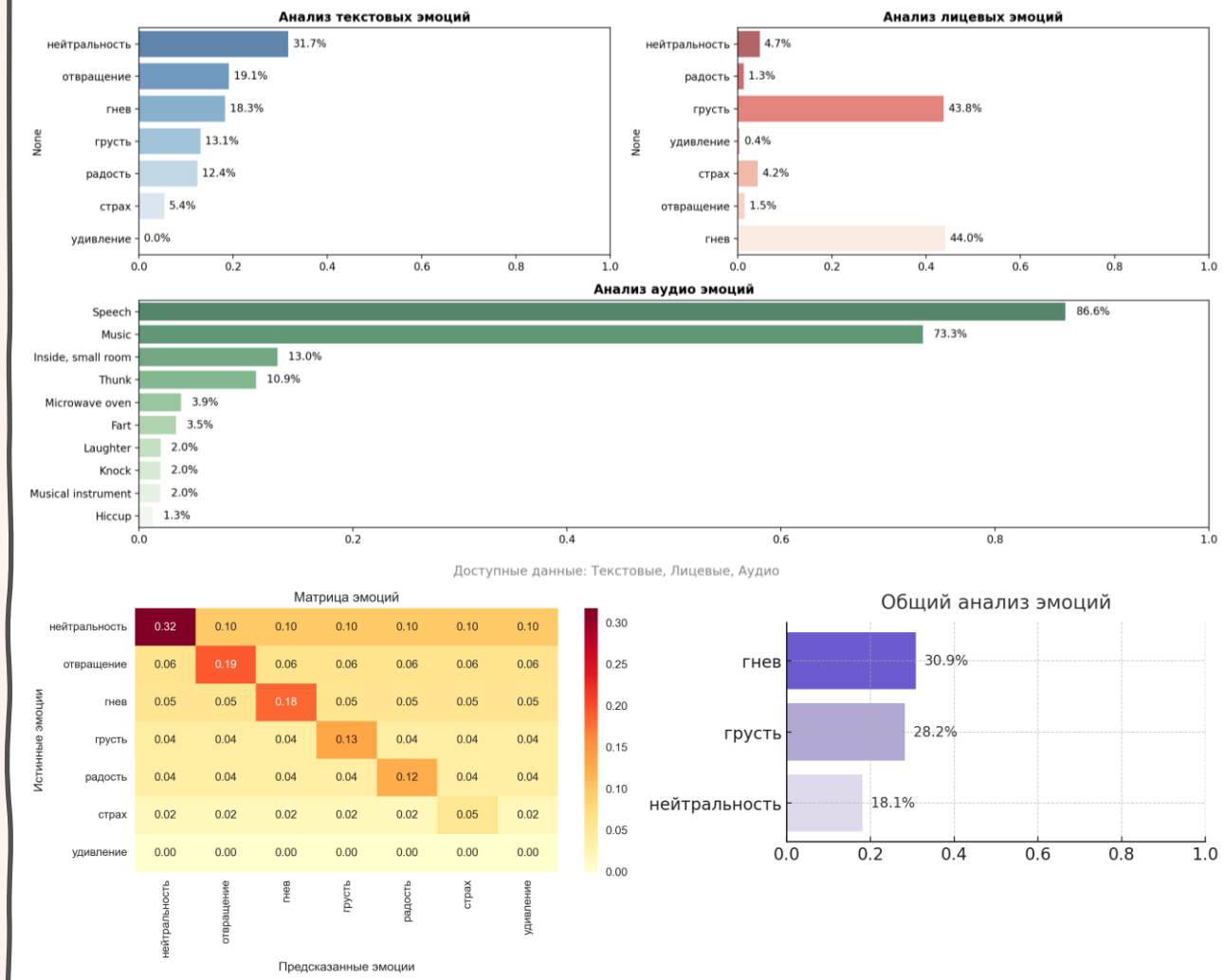
Аудио теги:

Опера, музыка, речь, смех, классическая музыка, пение, хихиканье, оркестр

ТОП-3 эмоции:

Грусть: 38.1%
Радость: 23.7%
Отвращение: 11.5%

Пример работы 3



Распознанный текст:

“Не нам, а вам. Нет, на этот раз именно вам. Да? Да. А что значит нейтрализовать? Статья 193, пункт 2. До трех лет. Не пойдет. Нет, не пойдет. Никаких... Сторож нежно усыпляется хлороформом и связывается без нанесения телесных повреждений.“

Аудио теги:

Речь, музыка, замкнутое пространство, стук, смех, икота

ТОП-3 эмоции:

Гнев: 30.9%
Грусть: 28.2%
Нейтральность 18.1%

Результаты

1. Разработана мультимодальная система автоматического распознавания эмоций, интегрирующая визуальную, аудио- и текстовую информацию.
2. Предложен алгоритм адаптивного взвешивания модальностей.
3. Система успешно протестирована на реальных мультимодальных данных, показав высокую точность и стабильность работы.

Спасибо за внимание!