

Функциональные возможности ПО ЭВМ

“Система оценки техники бега”

Рабочее название: «RunForm Analyzer»

Версия документа: 1.0

Дата: декабрь 2025

Заказчик: ООО «Априори»

Исполнитель: Отдел разработки ООО «Априори»

1. Общие сведения

1.1. Наименование системы

Система оценки техники бега (По ТЗ рабочее наименование “Система автоматического анализа техники бега «RunForm Analyzer»”, далее — Система).

1.2. Назначение системы

Система предназначена для автоматизированного анализа биомеханических параметров техники бега человека на основе видеозаписи с использованием методов компьютерного зрения и машинного обучения. Система интегрирована с платформой Health Heuristics.

1.3. Цели создания системы

1. Автоматизация процесса оценки техники бега без необходимости использования специализированного оборудования (датчиков, маркеров)
2. Предоставление объективных количественных показателей техники бега
3. Выявление биомеханических отклонений, потенциально ведущих к травмам
4. Формирование персонализированных рекомендаций по улучшению техники бега

1.4. Целевая аудитория

- Тренеры по лёгкой атлетике и бегу
- Спортивные врачи и физиотерапевты
- Спортсмены-любители и профессионалы
- Фитнес-центры и беговые клубы
- Реабилитационные центры

2. Описание функционала

2.1. Загрузка и обработка видео

2.1.1. Способы загрузки видео

Функция	Описание
Drag-and-drop	Перетаскивание видеофайла в область загрузки
Выбор файла	Кнопка «Выбрать видео» открывает диалог выбора файла
Демо-режим	Кнопка «Демо-видео» для быстрого ознакомления с функционалом

2.1.2. Поддерживаемые форматы

- MP4 (рекомендуемый)
- AVI
- MOV
- MKV
- WebM

Ограничения: максимальный размер файла — 100 МБ.

2.1.3. Настройка сглаживания данных

Перед анализом пользователь может выбрать уровень сглаживания данных:

Уровень	Описание	Применение
Без сглаживания	Исходные данные без фильтрации	Для высококачественного видео
Низкое	Минимальная фильтрация выбросов	Для видео хорошего качества
Среднее	Сбалансированная фильтрация (по умолчанию)	Рекомендуемый режим
Высокое	Агрессивная фильтрация	Для видео низкого качества

Алгоритм сглаживания включает:

- **Фильтр выбросов (MAD)** — удаление аномальных значений на основе медианного абсолютного отклонения
- **Скользящее среднее** — сглаживание временных рядов

2.2. Анализ видео

2.2.1. Детекция человека

Система использует двухэтапный подход:

1. **Детекция человека** — модель YOLOX-M обнаруживает всех людей в кадре
2. **Оценка позы** — модель RTMPose-M определяет 17 ключевых точек скелета (формат COCO)

2.2.2. Трекинг бегуна

При наличии нескольких людей в кадре система автоматически выбирает целевого бегуна по критериям:

Критерий	Вес	Описание
Размер скелета	60%	Приоритет более крупному (ближе к камере)
Непрерывность траектории	40%	Минимальное смещение между кадрами

2.2.3. Ключевые точки скелета (COCO-17)

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 0 — Нос | 9 — Левое запястье |
| 1 — Левый глаз | 10 — Правое запястье |
| 2 — Правый глаз | 11 — Левое бедро |
| 3 — Левое ухо | 12 — Правое бедро |
| 4 — Правое ухо | 13 — Левое колено |
| 5 — Левое плечо | 14 — Правое колено |
| 6 — Правое плечо | 15 — Левая лодыжка |
| 7 — Левый локоть | 16 — Правая лодыжка |
| 8 — Правый локоть | |

2.3. Вычисляемые биомеханические параметры

2.3.1. Углы коленного сустава

Параметр	Формула	Единица	Норма
Угол колена (опора)	Угол между бедром, коленом и лодыжкой в фазе контакта	градусы	155–175°
Угол колена (перенос)	Минимальный угол колена в фазе переноса ноги	градусы	80–120°

Методика расчёта:

- Вычисление угла по трём точкам: тазобедренный сустав → колено → голеностоп
- Классификация фаз на основе временной динамики углов
- Статистика: перцентиль Р90 для фазы опоры, перцентиль Р10 для фазы переноса

2.3.2. Углы тазобедренного сустава

Параметр	Формула	Единица	Норма
Амплитуда бедра	Разница между Р90 и Р10 угла тазобедренного сустава	градусы	40–60°

Методика расчёта:

- Угол между плечом, тазобедренным суставом и коленом
- Использование перцентилей для робастности к выбросам

2.3.3. Наклон корпуса

Параметр	Формула	Единица	Норма
Наклон корпуса	Угол отклонения линии плечо-бедро от вертикали	градусы	5–15°

Методика расчёта:

$\text{angle} = \text{atan2}(\text{shoulder_x} - \text{hip_x}, \text{hip_y} - \text{shoulder_y})$

Положительный угол — наклон вперёд, отрицательный — назад.

2.3.4. Параметры рук

Параметр	Формула	Единица	Норма
Амплитуда рук	Диапазон движения руки относительно корпуса (P90 - P10)	градусы	30–50°
Угол локтя	Средний угол сгибания локтевого сустава	градусы	80–100°

Методика расчёта амплитуды рук:

- Угол вектора плечо→локоть относительно вектора плечо→бедро (корпус)
- Положительное значение — рука впереди, отрицательное — позади
- Амплитуда = P90 - P10 для исключения выбросов

2.3.5. Каденс (частота шагов)

Параметр	Формула	Единица	Норма
Каденс	Количество шагов × (60 / длительность видео)	шаг/мин	170–190

Методика расчёта:

1. Поиск локальных минимумов угла колена (момент максимального сгибания)
2. Фильтрация по минимальному расстоянию между шагами (на основе FPS)
3. Экстраполяция на минуту

2.3.6. Симметрия

Параметр	Формула	Единица	Норма
Симметрия шага	$\min(\text{left}, \text{right}) / \max(\text{left}, \text{right}) \times 100\%$	%	95–100%

Методика расчёта:

- Сравнение средних значений углов колена левой и правой ноги
- Соотношение меньшего к большему

2.3.7. Вертикальные колебания

Параметр	Формула	Единица	Норма
Верт. колебания	$(\text{max_hip_y} - \text{min_hip_y}) / \text{frame_height} \times 100\%$	%	2–5%

Методика расчёта:

- Отслеживание вертикального положения тазобедренного сустава
- Нормализация на высоту кадра для сопоставимости между видео

2.4. Визуализация результатов

2.4.1. Видео с разметкой скелета

Система генерирует видео с наложенной визуализацией:

Элемент	Описание
Скелет	Линии соединения ключевых точек (без лица)
Точки суставов	Цветные маркеры на ключевых точках
Текстовый оверлей	Текущие значения углов в левом верхнем углу

Отображаемые значения на видео:

- Кнее L: угол левого колена
- Кнее R: угол правого колена
- Trunk: наклон корпуса

Формат выходного видео:

- Кодек: H.264 (libx264)
- Профиль: Baseline (максимальная совместимость с браузерами)
- Контейнер: MP4 с faststart для потокового воспроизведения

2.4.2. Управление воспроизведением

Функция	Описание
Play/Pause	Стандартные элементы управления HTML5

Функция	Описание
Скорость 0.25x	Замедленное воспроизведение (четверть скорости)
Скорость 0.5x	Замедленное воспроизведение (половина скорости)
Скорость 1x	Нормальная скорость
Полноэкранный режим	Развёртывание видео на весь экран
Отображение времени	Текущая позиция и общая длительность

2.4.3. Графики параметров

Система отображает 4 интерактивных графика:

1. Углы коленного сустава

- Ось X: время (секунды)
- Ось Y: угол (градусы)
- Линии: левая нога (синий), правая нога (зелёный)

2. Углы тазобедренного сустава

- Ось X: время (секунды)
- Ось Y: угол (градусы)
- Линии: левая нога (синий), правая нога (зелёный)

3. Наклон корпуса

- Ось X: время (секунды)
- Ось Y: угол (градусы)
- Линия: наклон (оранжевый)

4. Углы локтевого сустава

- Ось X: время (секунды)
- Ось Y: угол (градусы)
- Линии: левая рука (синий), правая рука (зелёный)

Интерактивные функции графиков:

- Вертикальная красная линия показывает текущую позицию видео
- Синхронизация графиков с воспроизведением видео
- Масштабирование и панорамирование (библиотека Chart.js)

2.4.4. Таблица показателей техники бега

Таблица содержит колонки:

Колонка	Описание
ПАРАМЕТР	Название показателя с кратким описанием

Колонка	Описание
ЗНАЧЕНИЕ	Вычисленное числовое значение
НОРМА	Рекомендуемый диапазон значений
ОЦЕНКА	Цветовая индикация: Норма / Внимание / Отклонение

Цветовая индикация:

- **Норма** (зелёный) — значение в оптимальном диапазоне
- **Внимание** (жёлтый) — значение близко к границам нормы
- **Отклонение** (красный) — значение требует коррекции

Показатели в таблице:

Показатель	Описание	Норма
Амплитуда рук	Движение рук должно быть расслабленным и помогать балансу	30–50°
Угол локтя	Руки согнуты примерно под прямым углом для эффективного движения	80–100°
Амплитуда бедра	Диапазон движения тазобедренного сустава. Определяет длину шага	40–60°
Угол колена (опора)	Угол сгибания колена при контакте с землёй. Слишком малый угол увеличивает ударную нагрузку	155–175°
Угол колена (перенос)	Сгибание колена при переносе ноги. Влияет на эффективность шага	80–120°
Наклон корпуса	Небольшой наклон вперёд оптимален. Избыточный наклон создаёт нагрузку на спину	5–15°

Показатель	Описание	Норма
Каденс	Частота шагов. Высокий каденс снижает ударную нагрузку на суставы	170–190 шаг/мин
Симметрия	Баланс между левой и правой ногой. Асимметрия может указывать на дисбаланс	95–100%
Верт. колебания	Вертикальное перемещение центра масс. Избыточные колебания — потеря энергии	2–5%

2.5. Рекомендации

Система автоматически генерирует персонализированные рекомендации на основе выявленных отклонений:

2.5.1. Правила генерации рекомендаций

Условие	Рекомендация
Каденс < 170	«Каденс (X шаг/мин) ниже оптимального. Попробуйте увеличить частоту шагов до 170-180 для снижения ударной нагрузки.»
Верт. колебания > 5%	«Высокие вертикальные колебания. Старайтесь бежать более плавно, направляя энергию вперёд, а не вверх.»
Наклон корпуса > 15°	«Избыточный наклон корпуса вперёд. Это создаёт дополнительную нагрузку на поясницу.»
Симметрия < 95%	«Выявлена асимметрия (X%). Обратите внимание на равномерность шагов обеими ногами.»
Угол колена (опора) < 155°	«Угол колена при опоре ниже нормы. Старайтесь приземляться на слегка согнутую ногу.»

2.5.2. Визуальное оформление рекомендаций

- Жёлтая вертикальная полоса — предупреждение (Внимание)
- Красная вертикальная полоса — критическое отклонение

2.6. Демонстрационный режим

2.6.1. Функционал

- Предустановленное демо-видео профессионального бегуна
- Мгновенная загрузка результатов из кэша
- Полный функционал анализа доступен для ознакомления

2.6.2. Кэширование

- Результаты демо-анализа сохраняются в JSON-файл
- При повторном запуске данные загружаются без повторного анализа
- Проверка готовности кэша через endpoint `/demo-ready`

2.7. Индикация прогресса

2.7.1. Отображаемая информация

Элемент	Описание
Прогресс-бар	Визуальная полоса заполнения
Процент	Числовое значение прогресса
Этап	Текстовое описание текущего действия
Счётчик кадров	«Анализ кадра X / Y»

2.7.2. Этапы обработки

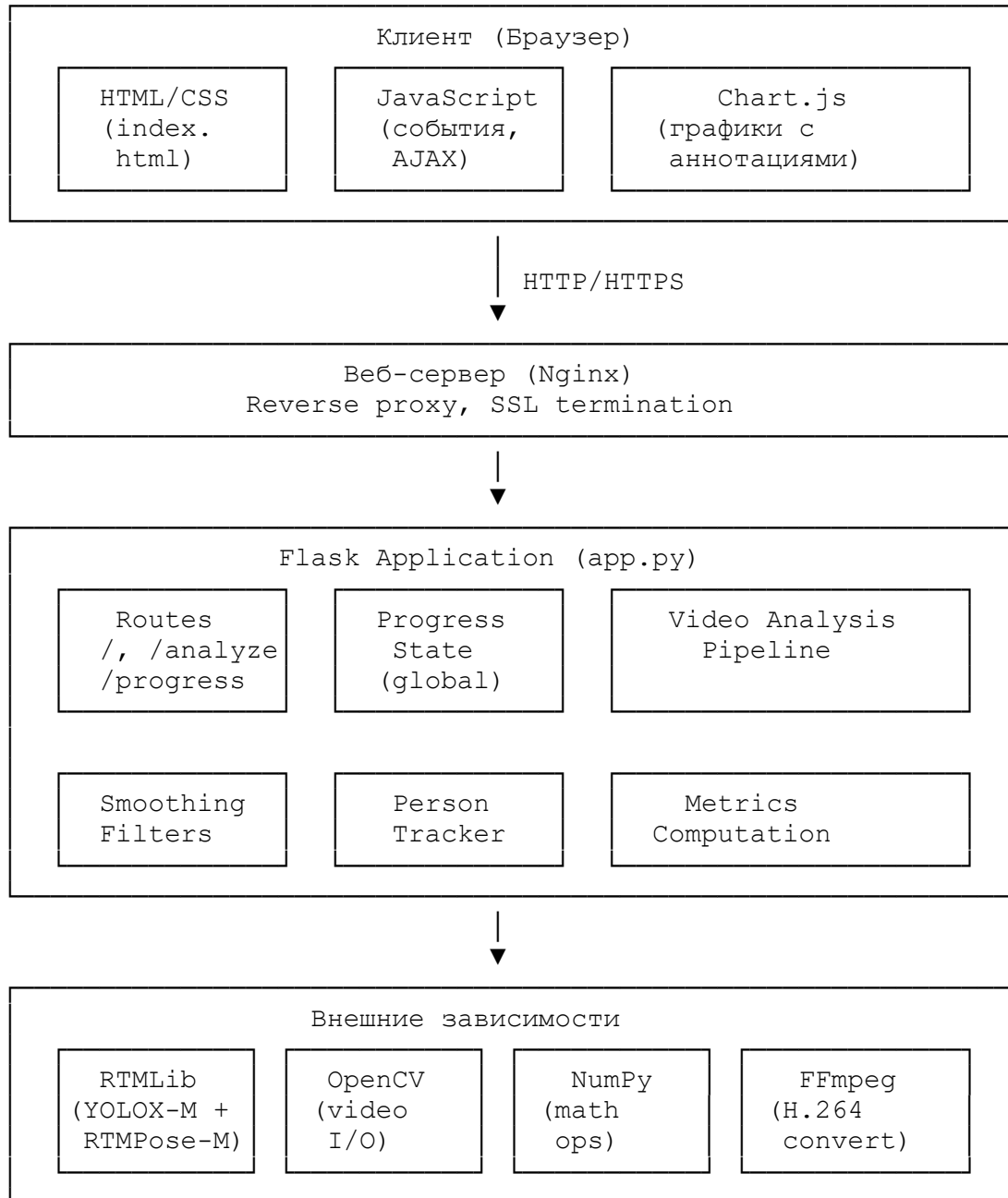
1. Загрузка моделей RTMPose
2. Анализ кадров видео
3. Вычисление метрик
4. Конвертация видео в H.264

2.7.3. Техническая реализация

- Polling запросы к `/progress` каждые 500 мс
- Глобальное состояние прогресса обновляется из функции анализа
- Прогресс-callback передаётся в функцию обработки видео

3. Архитектура системы

3.1. Общая архитектура



3.2. Структура файлов проекта

```
runform/
├── app.py          # Основное приложение (970 строк)
├── requirements.txt # Зависимости Python
```

```

├── deploy.sh          # Скрипт развёртывания
├── DEPLOY.md          # Инструкция по установке
├── README.md          # Описание проекта
├── templates/
│   └── index.html     # HTML-шаблон (1007 строк)
├── static/
│   ├── uploads/      # Загруженные и обработанные видео
│   └── demo/
│       ├── demo_runner.mp4      # Демо-видео
│       ├── demo_runner_analyzed.mp4 # Обработанное демо
│       └── demo_metrics.json    # Кэш метрик демо

```

3.3. Классы и функции

3.3.1. Классы фильтрации

Класс	Описание
OutlierFilter	Фильтр выбросов на основе MAD
MovingAverageFilter	Скользящее среднее
AngleSmoother	Комбинированный фильтр (outlier → smooth)

3.3.2. Класс трекинга

Класс	Описание
PersonTracker	Выбор и отслеживание целевого бегуна

Методы:

- `set_frame_size(width, height)` — установка размеров кадра
- `get_skeleton_info(keypoints, scores)` — получение центра и размера скелета
- `select_person(all_keypoints, all_scores)` — выбор целевого человека

3.3.3. Структуры данных

Класс	Описание
RTMPoseKeypoints	Константы индексов ключевых точек COCO-17

Класс	Описание
RunningMetrics	Dataclass с метриками и временными рядами

3.3.4. Функции вычисления углов

Функция	Описание
<code>calculate_angle(a, b, c)</code>	Угол в точке b между точками a-b-c
<code>calculate_trunk_lean(shoulder, hip)</code>	Наклон корпуса от вертикали
<code>calculate_arm_angle(shoulder, elbow, hip)</code>	Угол руки относительно корпуса

3.3.5. Функции анализа

Функция	Описание
<code>get_keypoint(keypoints, scores, idx)</code>	Извлечение координат с проверкой confidence
<code>analyze_frame(keypoints, scores)</code>	Анализ одного кадра
<code>detect_steps(knee_angles, fps)</code>	Детекция шагов по минимумам угла колена
<code>draw_body_skeleton(frame, keypoints, scores)</code>	Отрисовка скелета на кадре
<code>analyze_video(video_path, smoothing_level)</code>	Основной пайплайн анализа

3.3.6. Flask Routes

Route	Метод	Описание
/	GET	Главная страница
/analyze	POST	Анализ загруженного видео
/analyze-demo	POST	Анализ демо-видео

Route	Метод	Описание
/progress	GET	Текущий прогресс обработки
/demo-ready	GET	Проверка готовности кэша демо
/static/<path>	GET	Статические файлы

3.4. API системы

3.4.1. POST /analyze

Request:

Content-Type: multipart/form-data

video: <file>

smoothing: none | low | medium | high

Response:

```
{
  "metrics": {
    "avg_knee_angle_stance": 159.0,
    "avg_knee_angle_swing": 93.4,
    "avg_hip_angle_range": 35.8,
    "avg_trunk_lean": 11.9,
    "avg_arm_swing_angle": 61.3,
    "avg_elbow_angle": 88.2,
    "cadence_estimate": 163,
    "stride_symmetry": 98.0,
    "vertical_oscillation": 13.47
  },
  "graphs": {
    "timestamps": [0.0, 0.033, 0.067, ...],
    "knee_angles_left": [158.2, 159.1, ...],
    "knee_angles_right": [160.5, 161.2, ...],
    "hip_angles_left": [...],
    "hip_angles_right": [...],
    "trunk_angles": [...],
    "elbow_angles_left": [...],
    "elbow_angles_right": [...]
  },
  "video_url": "/static/uploads/video_analyzed_h264.mp4"
}
```

3.4.2. GET /progress

Response:

```
{  
  "current": 150,  
  "total": 300,  
  "stage": "Анализ кадра 150/300",  
  "active": true,  
  "percent": 50  
}
```

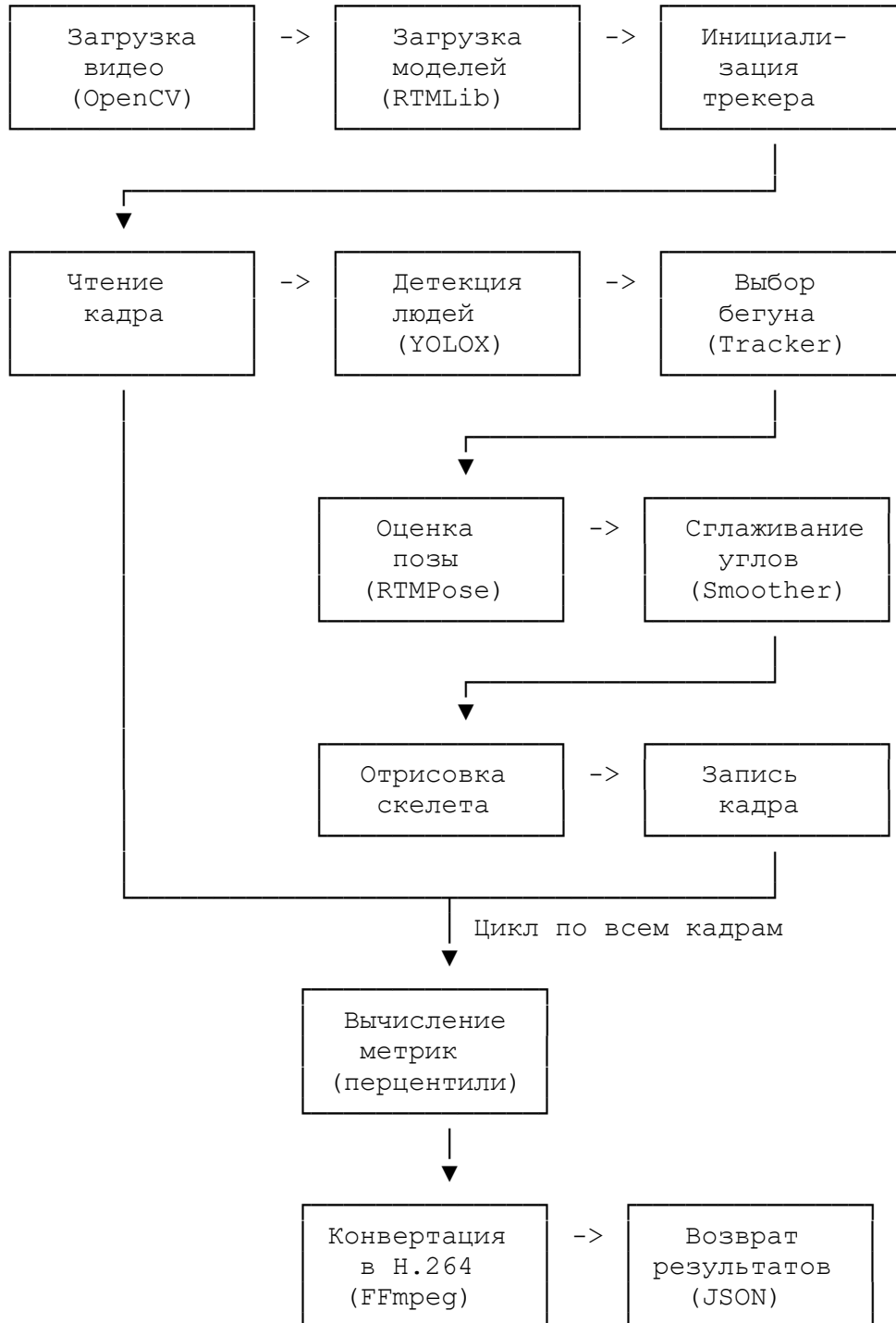
3.4.3. GET /demo-ready

Response:

```
{  
  "ready": true  
}
```

4. Пайплайн обработки видео

4.1. Блок-схема



4.2. Используемые модели

Модель	Назначение	Входной размер	Источник
YOLOX-M	Детекция человека	640×640	MMDet
RTMPose-M	Оценка позы	192×256	MMPose

URLs моделей:

YOLOX:

https://download.openmmlab.com/mmpose/v1/projects/rtmposev1/onnx_sdk/yolox_m_8xb8-300e_humanart-c2c7a14a.zip

RTMPose:

https://download.openmmlab.com/mmpose/v1/projects/rtmposev1/onnx_sdk/rtmpose-m_simcc-body7_pt-body7_420e-256x192-e48f03d0_20230504.zip

5. Требования к системе

5.1. Серверные требования

5.1.1. Минимальные требования

Параметр	Значение
ОС	Ubuntu 20.04 / 22.04 LTS
CPU	4 ядра, 2.0 GHz
RAM	4 ГБ
Диск	10 ГБ
Python	3.8+

5.1.2. Рекомендуемые требования

Параметр	Значение
CPU	8 ядер, 3.0 GHz
RAM	8 ГБ
Диск	50 ГБ SSD

Параметр	Значение
GPU	NVIDIA с CUDA (опционально)

5.2. Зависимости Python

```
flask>=2.0
opencv-python>=4.5
numpy>=1.20
rtmlib>=0.0.9
onnxruntime>=1.10
```

5.3. Системные зависимости

- FFmpeg (для конвертации видео в H.264)
- Nginx (для production-развёртывания)

5.4. Клиентские требования

Браузер	Минимальная версия
Chrome	90+
Firefox	88+
Safari	14+
Edge	90+

6. Ограничения системы

6.1. Технические ограничения

Ограничение	Описание
Плоскость съёмки	Только сагиттальная (съёмка сбоку)
Количество бегунов	Анализ одного человека за раз
Качество видео	Зависимость от освещения и разрешения
3D-реконструкция	Не поддерживается

Ограничение	Описание
Анализ пронации	Не поддерживается (требует фронтальной съёмки)

6.2. Методологические ограничения

Ограничение	Описание
Универсальность норм	Нормы усреднены и могут не учитывать индивидуальные особенности
Зависимость от скорости	Параметры меняются при разной скорости бега
Медицинская диагностика	Система не является медицинским устройством
Интерпретация	Рекомендуется консультация со специалистом

7. Развёртывание

7.1. Установка

```
# Клонирование и установка
cd /var/www
mkdir runform && cd runform
# Распаковка исходников
# Создание виртуального окружения
python3 -m venv venv
source venv/bin/activate
# Установка зависимостей
pip install -r requirements.txt
# Установка FFmpeg
apt install -y ffmpeg
```

7.2. Systemd сервис

```
[Unit]
Description=RunForm Analyzer
After=network.target
```

```
[Service]
User=root
WorkingDirectory=/var/www/runform
Environment="PATH=/var/www/runform/venv/bin"
ExecStart=/var/www/runform/venv/bin/python app.py
Restart=always
[Install]
WantedBy=multi-user.target
```

7.3. Nginx конфигурация

```
server {
    listen 80;
    server_name runform.example.com;

    client_max_body_size 100M;

    location / {
        proxy_pass http://127.0.0.1:5000;
        proxy_set_header Host $host;
        proxy_set_header X-Real-IP $remote_addr;
        proxy_read_timeout 300;
    }
}
```

8. Глоссарий

Термин	Определение
Каденс	Частота шагов при беге (шагов в минуту)
Опорная фаза	Фаза, когда стопа контактирует с поверхностью
Фаза переноса	Фаза, когда нога переносится вперёд в воздухе
MAD	Median Absolute Deviation — медианное абсолютное отклонение
Сагиттальная плоскость	Плоскость, разделяющая тело на левую и правую половины
RTMPose	Real-Time Multi-Person Pose Estimation

Термин	Определение
COCO	Common Objects in Context — формат разметки ключевых точек
Перцентиль	Значение, ниже которого находится определённый процент данных