Таким образом, повышение энергоэффективности экзоскелетов является многокомпонентной задачей, включающей оптимизацию приводов, снижение массы конструкции, рекуперацию энергии и интеллектуальное управление. Современные исследования подтверждают, что сочетание этих методов делает экзоскелеты более автономными, легкими и удобными, что существенно расширяет возможности их применения в реальных условиях. Перспективы дальнейшего развития связаны с созданием полностью энергоавтономных систем, способных эффективно использовать биомеханическую энергию человека и адаптироваться к индивидуальным особенностям пользователя.

Литература

1. Герасимов, М. Д. Анализ методов рекуперации энергии в человеко-машинных системах / М. Д. Герасимов, И. В. Киселев // Мехатроника, автоматизация, управление. – 2021. – № 12. – С. 22–31.
2. Панов, А. И. Современные подходы к проектированию активных экзоскелетов / А. И. Панов, К. С. Яковлев // Труды МГТУ имени Н. Э. Баумана. Серия Машиностроение. – 2023. – № 4. – С. 15–29.
3. Киселев, А. В. Биомеханические модели для управления экзоскелетами нижних конечностей / А. В. Киселев, В. А. Лапшин // Вестник МГТУ имени Баумана. Серия Приборостроение. – 2020. – № 5. – С. 67–78.
4. Селиванов, А. А. Использование легких композиционных материалов в конструкциях экзоскелетов / А. А. Селиванов, П. В. Кузнецов // Полимерные материалы и технологии. – 2024. – Т. 10, № 2. – С. 112–121.
5. Фролов, А. А. Нейроуправление и биомеханическая синхронизация в роботизированных ортезах / А. А. Фролов, А. Ю. Григорьев // Российский журнал биомеханики. – 2021. – Т. 25, № 3. – С. 45–59.
6. Лебедев, М. А. Нейроинтерфейсы и управление экзоскелетами: состояние и перспективы / М. А. Лебедев // Нейрокомпьютеры: разработка, применение. – 2020. – № 4. – С. 3–15.

АППАРАТНО-ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «АНИМАТРОННАЯ СИСТЕМА»

А. А. Белоусов

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель В. А. Савельев

Рассмотрена разработка и реализация лабораторного стенда «Аниматронная система», предназначенного для демонстрации интеграции компьютерного зрения, микроконтроллерного управления и мехатронных исполнительных механизмов. Описана архитектура системы, включающая персональный компьютер, микроконтроллер Arduino, модуль PCA9685 и сервоприводы. Приведены методы обработки видеопотока с использованием MediaPipe FaceMesh, алгоритмы фильтрации и нормализации данных, а также принципы управления сервоприводами. Представлены результаты, подтверждающие эффективность предложенного подхода.

Ключевые слова: аниматроника, микроконтроллер, MediaPipe, FaceMesh, сервопривод, фильтрация, UART.

Основной целью является создание аппаратно-программного комплекса, способного отслеживать положение головы пользователя с помощью веб-камеры и воспроизводить соответствующие движения механической модели головы с использованием сервоприводов.

Методика. Система построена по модульному принципу. На ПК реализована обработка видеопотока с использованием библиотеки MediaPipe и модели FaceMesh, извлекающей 468 ключевых точек лица. На основе координат точек рассчитываются углы поворота головы по осям yaw и pitch. Эти углы нормализуются и передаются по UART на микроконтроллер Arduino. На Arduino реализованы алгоритмы цифровой фильтрации, включая пороговую фильтрацию (deadband), экспоненциальное сглаживание и ограничение скорости изменения угла. Итоговые значения передаются на модуль PCA9685, который формирует ШИМ-сигналы для управления сервоприводами.

На стороне ПК применяется python библиотека MediaPipe версии 0.10.33, включающая модель FaceMesh, которая извлекает 468 ключевых точек лица. На основе координат этих точек вычисляются углы поворота головы по осям yaw и pitch. Для повышения устойчивости работы выполняется нормализация координат, ограничение диапазонов и подавление шумов.

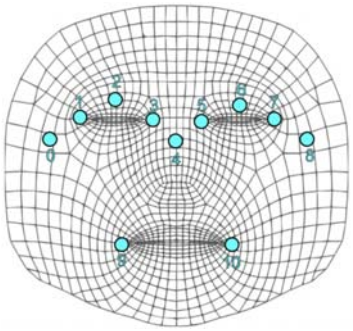


Рис. 1. Метки для отслеживания положения лица

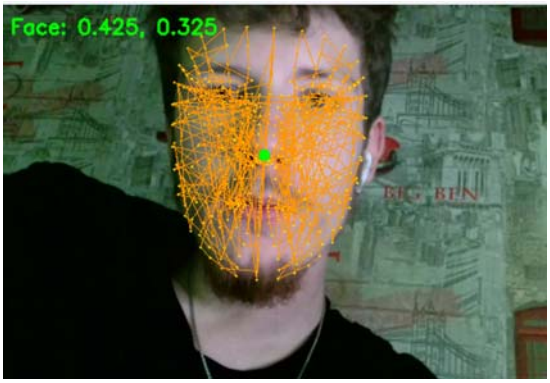


Рис. 2. Метки для отслеживания положения лица с выводом координат

Метки для отслеживания положения лица (рис. 1, 2) показывают, как Media pipe ставит точки для четкого позиционирования лица для последующего отслеживания. Полученные значения передаются на Arduino Uno по интерфейсу UART в виде компактного пакета данных, что минимизирует задержку передачи. После получения данных микроконтроллер выполняет их дополнительную обработку. Реализована пороговая фильтрация deadband, позволяющая подавлять микроколебания, возникающие из-за неточностей трекинга. Далее применяется экспоненциальное сглаживание, описываемое выражением:

$$S_t = ax + (1-a)S_{t-1},$$

где S_t – экспоненциальное среднее (прогноз) для текущего момента времени; a – коэффициент сглаживания (обычно от 0,1 до 0,4), определяющий вес последнего фактического значения; x – фактическое наблюдение в момент времени; S_{t-1} – сглаженное значение (прогноз) за предыдущий период.

После фильтрации данные преобразуются в значения ШИМ-сигналов, которые передаются на модуль PCA9685. Модуль PCA9685 обеспечивает шестнадцать независимых каналов ШИМ, что позволяет подключить шесть сервоприводов используемых в механической модели головы. Два сервопривода отвечают за поворот головы по горизонтали и вертикали, а остальные обеспечивают движение век или дополнительных элементов конструкции. Питание сервоприводов подается от вывода 5V Arduino Uno, что является допустимым, но не рекомендованным решением при высоких нагрузках. Тем не менее в рамках лабораторного стенда такая конфигурация обеспечивает стабильную работу.

Аниматронная система с модулем PCA9685 и Arduino Uno представлена на рис. 3.

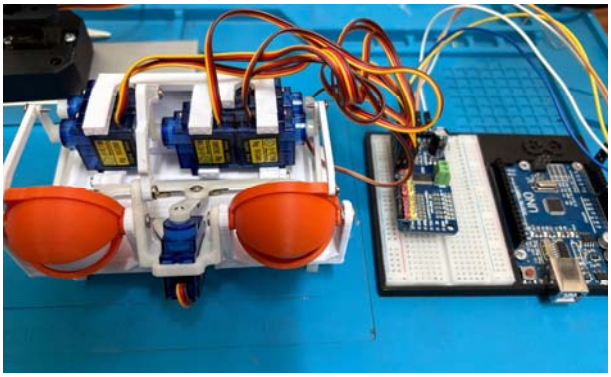


Рис. 3. Аниматронная система
с модулем PCA9685 и Arduino Uno

В качестве ИО используются сервоприводы серии SG90, Канал 0 отвечает за движение глаз по оси *x*; канал 1 отвечает за движение по оси *y*; каналы 2–5 используются для движения «веками» аниматронной системы.

Особое внимание уделяется передаче данных между ПК и микроконтроллером. Использование UART-интерфейса обеспечивает простоту реализации, однако накладывает ограничения на скорость обмена. В условиях реального времени важно минимизировать размер передаваемых пакетов и избегать избыточных данных. В текущей реализации передаются только нормализованные координаты центра лица, что позволяет достичь высокой частоты обновления. При необходимости система может быть расширена для передачи дополнительных параметров, таких как углы наклона головы или степень открытия глаз, однако это потребует оптимизации протокола обмена.

С точки зрения аппаратной части стенда важным аспектом является организация питания. Несмотря на то, что сервоприводы SG90 могут работать от вывода 5V Arduino Uno, подобная конфигурация не является оптимальной. При одновременной работе нескольких приводов возникают скачки потребляемого тока, которые могут приводить к просадкам напряжения и нестабильной работе микроконтроллера.

Проведенные испытания показали, что система работает устойчиво, а задержка реакции составляет менее 50 мс. Механическая модель плавно повторяет движения пользователя, реализованные алгоритмы фильтрации эффективно устраняют дрожание и обеспечивают стабильность.

Литература

1. Google AI. MediaPipe Face Landmarker // Google Developers. – URL: https://developers.google.com/mediapipe (date of access: 05.03.2026).
2. Официальная документация Arduino // Arduino.cc. URL: https://www.arduino.cc/ (дата обращения: 22.03.2026).
3. NXP Semiconductors. PCA9685 – 16-Channel PWM Driver Datasheet // NXP.com. – URL: https://www.nxp.com/ (date of access: 27.03.2026).
4. PySerial. Python Serial Port Extension Documentation [Электронный ресурс].

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ НАГРУЗОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЬ-ГЕНЕРАТОРНЫХ УСТАНОВОК ТЕПЛОВОЗА

Яо Бинь

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь, Шаньдунский технологический институт Хуаюй, г. Дэчжоу, Китайская Народная Республика

Научный руководитель М. Н. Погуляев

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Рассмотрена проблема высоких энергетических затрат при проведении нагрузочных испытаний дизель-генераторных установок тепловозов. Традиционные методы испытаний сопровождаются значительным рассеянием электрической энергии в виде тепла на нагрузочных реостатах, что снижает общую энергоэффективность испытательного процесса. Предложено энергосберегающее устройство, обеспечивающее рациональное использование вырабатываемой электроэнергии в ходе испытаний. Конструктивное решение основано на преобразовании и перераспределении электрической мощности с возможностью ее полезного использования во внутренних технологических цепях предприятия либо возврата в сеть. Проведен анализ принципа действия устройства, определены его основные функциональные узлы и оценен ожидаемый экономический эффект от внедрения. Результаты исследования показывают, что применение предлагаемого устройства позволяет сократить непроизводительные потери энергии, повысить энергетическую эффективность испытаний и снизить эксплуатационные затраты локомотивного хозяйства.

Ключевые слова: тепловоз, дизель-генераторная установка, нагрузочные испытания, энергосбережение, электрическая нагрузка, реостат, преобразователь энергии.

Дизель-генераторные установки (ДГУ) локомотивов являются основным источником энергии, от их надежности зависит безопасность и эффективность движения поездов.

Нагрузочные испытания дизель-генераторных установок тепловозов являются важным этапом технического обслуживания, ремонта и послеремонтной диагностики тягового подвижного состава. Их проведение позволяет оценить работоспособность си-