Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники

УДК 628.8: 159.9

Каменкова
Анна Дмитриевна

Оптимизация эргономических характеристик программно-аппаратного комплекса управления автономными источниками освещения, температуры и влажности на базе Raspberry Pi 4B и ESP 32

АВТОРЕФЕРАТ

на соискание степени магистра по специальности
7-06-0611-01 «Информационные системы и технологии
(профилизация: Цифровизация в психологии управления
человеческими ресурсами)»

_____

Научный руководитель
Телеш Инна Анатольевна
кандидат географический наук, доцент
доцент кафедры ИПиЭ

_____

Минск 2026

ВВЕДЕНИЕ

Создание комфортных условий в жилых и производственных помещениях сегодня рассматривается не только как задача инженерии, но и как важный фактор, влияющий на работоспособность, эмоциональное состояние и общее качество жизни человека. Температура, влажность и освещённость – параметры, которые человек воспринимает практически постоянно, даже не задумываясь об этом, и любое их отклонение немедленно отражается на субъективном ощущении комфорта. Современные тенденции в области автоматизации окружающей среды показывают, что всё больше внимания уделяется не просто поддержанию заданных значений микроклимата, а адаптивному управлению, учитывающему реальные потребности пользователя и особенности конкретного помещения.

Программно-аппаратные решения на базе микрокомпьютеров и микроконтроллеров, таких как Raspberry Pi 4B и ESP32, предоставляют широкие возможности для создания гибких и недорогих систем мониторинга и управления с учетом эргономических аспектов. Даже хорошо работающая техническая система может оказаться неудобной или непонятной для пользователя, если интерфейс перегружен информацией, реакции системы слишком медленные, а управляющие алгоритмы не согласованы с восприятием человека. Поэтому задача оптимизации эргономических характеристик таких комплексов становится не менее важной, чем их техническая реализация.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы магистерской диссертации обусловлена разработкой систем автоматизированного контроля освещения, температуры и влажности, устанавливаемых в домах и офисных помещениях, с целью организации оптимального микроклимата.

Степень разработанности проблемы. Изучение области эргономических аспектов систем управления автономными источниками освещения, температуры и влажности на базе платформ Raspberry Pi 4B и ESP32 находятся в стадии активного формирования и развития. Интерес к интеллектуальным системам управления микроклиматом, в которых данные платформы рассматриваются именно с позиций эргономических принципов и человеко-ориентированного проектирования, остаётся ограниченным.

Следует отметить устойчивую тенденцию к изучению эргономических аспектов в IoT-системах и «умного дома», где управление параметрами окружающей среды рассматривается как средство адаптации пространства под индивидуальные потребности пользователя. Основное внимание уделяется созданию комфортной и интуитивно управляемой среды, способной автоматически реагировать на изменения условий и поведение человека. Однако в большинстве случаев акцент делается на функциональных возможностях систем, тогда как эргономическая составляющая остаётся вторичной.

Актуальной проблемой остаётся и интеграция данных от сенсорных систем, контролирующих температуру, влажность и освещённость. Эргономический аспект таких систем заключается не только в точности измерений, но и в способах обработки, фильтрации и представления информации пользователю. Неправильная интерпретация данных или перегруженные интерфейсы способны значительно снизить комфорт и эффективность взаимодействия с системой.

Дополнительное внимание в настоящее время уделяется вопросам энергосбережения и устойчивости, которые всё чаще рассматриваются как неотъемлемая часть эргономики. Оптимизация энергопотребления автономных устройств напрямую связана с надёжностью системы и удобством её эксплуатации, поскольку стабильная и энергоэффективная работа снижает необходимость вмешательства пользователя и повышает доверие к автоматическим режимам.

Таким образом, несмотря на наличие значительного числа исследований в смежных областях, комплексный эргономический подход к проектированию программно-аппаратных систем управления микроклиматом на базе Raspberry Pi 4B и ESP32 остаётся недостаточно проработанным. Это определяет актуальность настоящего исследования и обосновывает необходимость

разработки и экспериментальной проверки эргономически оптимизированного программно-аппаратного комплекса.

Цели и задачи исследования. Разработать оптимальные характеристики для обеспечения работы программно-аппаратного комплекса управления автономными источниками освещения, температуры и влажности на базе Raspberry Pi 4B и ESP32.

Для достижения поставленной цели предстоит решить следующие **задачи**:

1 Проанализировать аналоги эргономических систем обеспечения микроклимата в домашних и производственных помещениях, а также нормативные, физиолого-гигиенические и психофизиологические требования к параметрам микроклимата и эргономическим характеристикам систем управления освещением, температурой и влажностью в жилых и производственных помещениях.

2 Исследовать существующие эргономические системы обеспечения микроклимата и современные технические средства их реализации, выявив основные направления развития и ограничения с точки зрения удобства и надёжности эксплуатации.

3 Разработать модель функционирования программно-аппаратного комплекса управления микроклиматом и определить ключевые факторы эргономической оптимизации.

4 Сформировать критерии и методы количественной и качественной оценки эргономических характеристик программно-аппаратного комплекса и реализовать экспериментальный образец на базе Raspberry Pi 4B и ESP32.

5 Выполнить экспериментальную оценку эффективности предложенных методов оптимизации и выполнить анализ полученных результатов в реальных условиях эксплуатации.

Объект исследования: программно-аппаратный комплекс управления автономными источниками освещения, температуры и влажности.

Предмет исследования: технологии разработки программно-аппаратного комплекса, параметры эргономических характеристик микроклимата

Теоретическая и методологическая основа исследования

В основу диссертации легли результаты исследований параметров микроклимата для производственных и жилых помещений отечественных и зарубежных ученых в области моделирования интеллектуальных систем «умный дом». Математические расчеты по теоретическому обоснованию характеристик программно-аппаратного комплекса производились в пакете Excel.

Научная новизна диссертационной работы заключается в модификации модели для расчета эргономических параметров освещенности, яркости света, влажности, температуры, их настройки, и эксплуатации

программно-аппаратного комплекса на базе Raspberry Pi 4B и ESP32, где получена новая закономерность и изучена особенность влияния на людей различной возрастной категории и образа жизни, определяющая персональные настройки для улучшения условий нахождения.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту.

1 Разработать программно-аппаратный комплекс, предназначенный для автономного управления параметрами микроклимата и освещения в помещении.

2 Обосновать эргономическую оптимизацию системы освещения программно-аппаратного комплекса. При этом выполнить расчеты по оптимизации эргономических показателей, таких как равномерность светового потока, спектральный состав, уровень пульсации, степень тепловыделения и воздействие на зрительное восприятие пользователя. При этом светодиодные ленты с нейтральным спектром (4000–4500 К) обеспечивают более равномерное распределение освещённости и меньшую зрительную утомляемость по сравнению с точечными лампами аналогичной мощности, что делает их предпочтительными для использования в составе автономной системы.

3 Выполнить экспериментальную оценку по определению оптимальных параметров микроклимата для обеспечения эргономичности системы. При этом выполнить расчеты климатических параметров, выявленных экспериментально в помещении площадью 35 м², в ходе которых определялись оптимальные диапазоны температуры, влажности и уровня освещённости с точки зрения субъективного комфорта и стабильности ощущений пользователя. В результате установлено, что наиболее благоприятными значениями являются температура 22–24 °C и относительная влажность 45–55 %, обеспечивающие минимальную вариативность показателей термического комфорта и отсутствие жалоб на «сухой» или «тяжёлый» воздух. Освещённость в диапазоне 250–350 лк оказалась оптимальной для длительной работы без избыточной нагрузки на зрение. Полученные экспериментальные данные были использованы при калибровке управляющих алгоритмов комплекса, что позволило согласовать динамику изменения параметров микроклимата с психофизиологическими потребностями пользователя и обеспечить высокий уровень эргономичности системы.

Теоретическая значимость. Разработан комплексный подход к анализу эргономических характеристик программно-аппаратных систем управления микроклиматом, основанный на интеграции моделей восприятия пользователя, алгоритмов автоматического регулирования параметров среды и структурных особенностей распределённой архитектуры на базе Raspberry Pi 4B и ESP32. Предложенная методика позволяет описать взаимосвязи между техническими параметрами сенсорных узлов, динамикой изменения

температуры, влажности и освещённости и субъективными показателями комфорта, что обеспечивает возможность выявления согласованного изменения характеристик управления и пользовательских психофизиологических реакций.

Практическая значимость. Полученные зависимости между техническими характеристиками программно-аппаратного комплекса и эргономическими показателями пользователя служат основой для разработки и настройки систем автоматизированного управления микроклиматом в жилых и производственных помещениях. Разработанный экспериментальный образец комплекса демонстрирует возможность применения предложенных методов для повышения удобства эксплуатации, оптимизации освещённости и поддержания комфортных климатических условий. Результаты исследования могут использоваться при проектировании интеллектуальных систем «умного дома», автономных климатических модулей и распределённых сетей мониторинга для обеспечения высокого уровня эргономичности и снижения когнитивной нагрузки на пользователя.

Личный вклад соискателя. Все основные результаты, выводы и экспериментальные данные получены соискателем самостоятельно. В процессе работы над диссертацией соискателем изучены современные методы эргономической оценки программных интерфейсов и аппаратных систем, разработаны математические модели оптимизации параметров микроклимата, произведён выбор технических компонентов комплекса, разработан и собран экспериментальный образец на базе Raspberry Pi 4B и ESP32, выполнены экспериментальные исследования по определению оптимальных параметров освещённости, температуры и влажности, а также проведён анализ влияния данных факторов на психофизиологическое состояние пользователя.

Апробация результатов диссертации. Результаты исследований, представленные в диссертации, представлены в материалах научных конференциях «BIG DATA and Advanced Analytics», «Инженерное образование в цифровом обществе», 59-ая и 60-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР.

Магистерская диссертация включает: оглавление, общую характеристику работы, введение, три главы основной части (обзор литературы; теоретический раздел; экспериментальный раздел), заключение, список использованной литературы и приложения. Структура и рекомендованный объём оформляются в соответствии с методическими материалами БГУИР.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность эргономической оптимизации систем управления микроклиматом в условиях широкого распространения автономных и интеллектуальных решений для жилых и производственных помещений. Показано, что нестабильность параметров освещения, температуры и влажности, а также непродуманная логика автоматического управления и пользовательского взаимодействия приводят к снижению комфорта, росту количества ручных вмешательств и утрате доверия к системе. Отмечено, что в современных системах «умного дома» качество пользовательского восприятия напрямую зависит от точности сенсорных данных, предсказуемости алгоритмов регулирования и устойчивости программно-аппаратной инфраструктуры.

В общей характеристике работы сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет, а также обоснован выбор эргономического подхода к оценке эффективности программно-аппаратного комплекса управления микроклиматом. Эффективность рассматривается как совокупность технической результативности системы, затрат времени и усилий пользователя, а также субъективного уровня комфорта и доверия при взаимодействии с автоматическими режимами. Указано, что работа ориентирована на разработку и экспериментальную проверку эргономически оптимизированного комплекса на базе Raspberry Pi 4B и ESP32.

В первой главе выполнен обзор нормативных требований и научно-технической литературы в области микроклимата, эргономики и систем автоматизации. Рассмотрены физиолого-гигиенические и психофизиологические основы влияния температуры, влажности и освещённости на состояние и работоспособность человека, а также особенности пользовательского восприятия параметров среды. Проанализированы современные технические средства мониторинга и регулирования микроклимата, включая системы «умного дома» и промышленные автоматизированные комплексы, и показано, что эргономические аспекты их функционирования зачастую остаются вторичными по отношению к техническим характеристикам.

Во второй главе обоснована эргономическая оптимизация программно-аппаратного комплекса управления микроклиматом. Рассмотрены математические модели изменения температуры, влажности и освещённости, а также алгоритмические подходы к регулированию параметров, включая логическое управление, PID-регуляторы и элементы адаптивных алгоритмов. Проанализировано влияние точности датчиков, частоты обновления данных, устойчивости беспроводных протоколов и энергоэффективности автономных

узлов на эргономическое восприятие системы пользователем. Сформированы критерии и показатели количественной и качественной оценки эргономических характеристик комплекса.

В третьей главе описаны методика и условия проведения исследований, разработан и реализован экспериментальный прототип программно-аппаратного комплекса управления микроклиматом на базе Raspberry Pi 4B и ESP32. Экспериментальная программа включала тестовые сценарии управления освещением, температурой и влажностью в реальных условиях эксплуатации с учётом этажности зданий, климатических особенностей и высоты над уровнем моря. Представлены результаты сравнительного анализа базовой и оптимизированной конфигураций системы, показавшие снижение времени реакции, повышение стабильности данных, уменьшение перерегулирования и сокращение числа ручных корректировок. Отмечено значимое улучшение субъективного восприятия системы пользователями и рост доверия к автоматическим режимам управления.

Полученные результаты подтверждают эффективность предложенного эргономического подхода и демонстрируют практическую применимость разработанного прототипа при проектировании и модернизации систем управления микроклиматом в жилых и производственных помещениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации решена научно-практическая задача повышения эргономических характеристик системы управления микроклиматом, включающей управление освещением, температурой и влажностью, реализованной на базе Raspberry Pi 4B 4B и ESP32. Интерес к данной тематике обусловлен применением автоматизированных систем в повседневной жизни, а также требований к ним, которые выходят за рамки простой функциональности и надёжности, включая удобство эксплуатации и субъективный комфорт пользователя.

На основании анализа существующих программно-аппаратных комплексов, которые ориентированы преимущественно на техническую реализацию и энергоэффективность, тогда как эргономические аспекты взаимодействия пользователя с системой остаются недостаточно проработанными, разработаны модели и критерии эргономической оптимизации системы управления микроклиматом. Показано, что такие факторы, как точность и стабильность показаний датчиков, выбор алгоритмов регулирования, устойчивость беспроводных соединений, а также корректное размещение датчиков и исполнительных устройств, оказывают существенное влияние на предсказуемость работы системы и её восприятие пользователем.

Разработан и реализован экспериментальный прототип программно-аппаратного комплекса на базе Raspberry Pi 4B и ESP32, позволяющий управлять автономными источниками освещения, температуры и влажности. Проведённые экспериментальные исследования в реальных условиях эксплуатации показали, что оптимизация алгоритмов управления и обработки данных позволяет сократить время реакции системы, повысить стабильность отображаемых параметров и уменьшить количество ручных вмешательств со стороны пользователя. В результате система воспринимается как более понятная, надёжная и комфортная в использовании.

Применение эргономического подхода при проектировании интеллектуальных систем управления микроклиматом является целесообразным. Разработанный прототип и предложенные методы оптимизации использованы при создании и модернизации систем автоматизации жилых и производственных помещений, а также служат основой для дальнейших исследований, направленных на развитие адаптивных и человеко-ориентированных решений в области «умных» инженерных систем.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ СОИСКАТЕЛЯ

[1-А] Каменкова, А. Д. Умные дома и Data Science: преобразование данных в производственных и бизнес-средах. Преимущества и недостатки = Smart homes and Data Science: data transformation in industrial and business environments. Advantages and disadvantages / А. Д. Каменкова // BIG DATA и анализ высокого уровня = BIG DATA and Advanced Analytics : сборник научных статей X Международной научно-практической конференции, Минск, 13 марта 2024 г. : в 2 ч. Ч. 2 / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: В. А. Богуш [и др.]. – Минск, 2024. – С. 315–319.

[2-А] Каменкова, А. Д. Автономные источники освещения с различным цветовым спектром и их влияние на человека = Autonomous lighting sources with different color spectrum and their impact on humans / А. Д. Каменкова // Электронные системы и технологии : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2023. – С. 155–157.

[3-А] Каменкова, А. Д. Инженерно-психологические аспекты умных домов: когнитивная эргономика и безопасность = Engineering-psychological aspects of smart homes: cognitive ergonomics and safety / А. Д. Каменкова // Электронные системы и технологии : сборник материалов 60-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 22–26 апреля 2024 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2024. – С. 527–530.

[4-А] Каменкова, А. Д. автономные источники освещения с различным цветовым спектром и их влияние на человека Электронные системы и технологии : сборник материалов 59-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР, Минск, 17–21 апреля 2023 г. / Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники ; редкол.: Д. В. Лихаческий [и др.]. – Минск, 2023. – 59 с.