

*Нагоев Мухамед Амирбиевич,
магистрант,
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова,
г.Нальчик,
Закаунов Эльар Замирович,
магистрант,
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова,
г.Нальчик,
Казанов Тембулат Арсенович,
магистрант,
Кабардино-Балкарский государственный университет
им. Х.М. Бербекова,
г.Нальчик*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РЕАЛИЗАЦИЯ МОДУЛЬНЫХ АППАРАТНО-ПРОГРАММНЫХ КОМПЛЕКСОВ НА БАЗЕ ПЛАТФОРМЫ ARDUINO

Аннотация: Статья посвящена вопросам проектирования и реализации модульных аппаратно-программных комплексов автоматизации на базе платформы Arduino. По имеющейся статистике, рынок IoT-решений показывает ежегодный рост, что диктует необходимость разработки доступных и гибких аппаратно-программных средств. Однако существующие промышленные аналоги зачастую обладают высокой стоимостью и закрытой архитектурой, что затрудняет их адаптацию под конкретные прикладные задачи. В данной статье рассматриваются вопросы проектирования и реализации модульных аппаратно-программных комплексов на базе платформы Arduino. Представлен опыт разработки трех взаимодополняющих подси-

стем: комплекса мониторинга атмосферного давления, подсистемы сбора и передачи данных для управления «Умным домом» с использованием протокола Bluetooth (модуль HC-05), а также испытательного стенда управления силовой нагрузкой посредством реле и транзисторных ключей. Описаны схемотехнические решения и алгоритмы работы программного обеспечения микроконтроллеров. Показано, что использование унифицированной элементной базы позволяет создавать масштабируемые системы контроля и управления с низкой себестоимостью и высокой надежностью.

Ключевые слова: аппаратно-программный комплекс, Arduino, умный дом, мониторинг атмосферного давления, Bluetooth HC-05, автоматизация, микроконтроллер.

Nagoev Mukhamed Amirbievich,

Master's student,

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov,

Nalchik, Russia

Zakauonov Elyar Zamirovich,

Master's student,

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov,

Nalchik, Russia,

Kazanov Tembulat Arsenovich,

Master's student,

Kabardino-Balkarian State University named after H.M. Berbekov,

Nalchik, Russia

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MODULAR HARDWARE-SOFTWARE COMPLEXES BASED ON THE ARDUINO PLATFORM

Abstract: *The article is devoted to the design and implementation of modular hardware-software automation complexes based on the Arduino platform. . According to available statistics, the IoT solutions market shows annual growth, which dictates the need for the development of affordable and flexible hardware-software tools. However, existing industrial analogs often have high costs and closed architecture, which complicates their adaptation to specific applied tasks. This article discusses the design and implementation of modular hardware-software complexes based on the Arduino platform. The experience of developing three complementary subsystems is presented: an atmospheric pressure monitoring complex, a data collection and transmission subsystem for "Smart Home" control using the Bluetooth protocol (HC-05 module), as well as a test bench for controlling power loads via relays and transistor switches. Circuit solutions and operation algorithms of microcontroller software are described. It is shown that the use of a unified component base allows creating scalable control and monitoring systems with low cost and high reliability.*

Keywords: *hardware-software complex, Arduino, smart home, atmospheric pressure monitoring, Bluetooth HC-05, automation, microcontroller.*

Введение. Развитие технологий Интернета вещей (Internet of Things, IoT) и концепции «Умного дома» в последние годы приобретает всё большую актуальность как в научной среде, так и в прикладных отраслях. По данным аналитических агентств, количество подключенных устройств IoT к 2025 году превысило 30 миллиардов единиц, а объём мирового рынка систем домашней автоматизации достиг 80 миллиардов долларов [5, 6]. Одной из ключевых задач современной автоматизации является создание доступных, масштабируемых и легко настраиваемых систем мониторинга и управления, которые могут быть адаптированы под различные прикладные сценарии — от бытового использования до промышленных применений. Однако существующие коммерческие решения зачастую характеризуются высокой стои-

мостью, закрытой архитектурой и ограниченными возможностями модификации, что создаёт барьеры для их внедрения в образовательных учреждениях и малых предприятиях.

Платформа Arduino, основанная на открытой аппаратной и программной архитектуре, представляет собой перспективное решение для разработки прототипов систем автоматизации благодаря своей доступности, обширной документации и большому сообществу разработчиков[1, 2, 3]. Микроконтроллеры семейства AVR (ATmega328P и аналоги), лежащие в основе плат Arduino, обладают достаточной вычислительной мощностью для реализации алгоритмов сбора, обработки и передачи данных в режиме реального времени. Кроме того, модульная структура периферийных устройств (датчиков, исполнительных механизмов, коммуникационных модулей) позволяет гибко конфигурировать систему в зависимости от поставленных задач.

Мониторинг параметров окружающей среды, таких как атмосферное давление, температура и влажность, является важной составляющей систем метеонаблюдения, сельского хозяйства и «умных» зданий. Изменения атмосферного давления коррелируют с погодными явлениями и могут использоваться для прогнозирования осадков и изменения климатических условий[4, 7]. Одновременно с этим возрастает потребность в беспроводных технологиях передачи данных, среди которых протокол Bluetooth (в частности, модули HC-05 и HC-06) занимает особое место благодаря низкому энергопотреблению, простоте интеграции и широкой поддержке мобильных устройств. Передача данных по Bluetooth позволяет реализовать удалённое управление домашними системами без необходимости прокладки проводных линий связи.

Управление исполнительными устройствами — реле, электромагнитными клапанами, двигателями — требует применения силовых ключей на основе электромеханических реле или полупроводниковых транзисторов[8, 9]. Разработка испытательных стендов для отработки алгоритмов коммутации нагрузки является необходимым этапом при создании систем автомати-

зации, поскольку позволяет проверить надёжность схемотехнических решений и программного обеспечения в условиях, приближенных к реальной эксплуатации [10, 11].

Основная часть. Несмотря на значительное количество публикаций, посвящённых отдельным аспектам применения микроконтроллеров Arduino в системах автоматизации, комплексный подход к проектированию взаимосвязанных подсистем — сенсорной, коммуникационной и исполнительной — освещён недостаточно. Кроме того, остаются открытыми вопросы унификации программных и аппаратных интерфейсов при совместной работе нескольких модулей в рамках единой системы. Поэтому целью данного исследования является разработка и экспериментальная апробация трёх взаимодополняющих аппаратно-программных комплексов на базе микроконтроллера Arduino: системы мониторинга атмосферного давления, подсистемы беспроводного сбора данных с использованием модуля Bluetooth HC-05 для управления «Умным домом», а также испытательного стенда управления реле и транзисторными ключами, с последующей интеграцией этих модулей в единую масштабируемую архитектуру.

Анализ современных публикаций. Применение микроконтроллерных систем мониторинга и управления рекомендуется при построении локальных автоматизированных комплексов (в том числе систем «умного дома» и учебно-лабораторных стендов) согласно современным подходам к проектированию встроенных систем и распределённых IoT-решений. Однако роль и обоснованность выбора конкретной аппаратной платформы (промышленные контроллеры, одноплатные компьютеры, микроконтроллерные платы прототипирования) для малобюджетных задач до сих пор трактуются неоднозначно, особенно при необходимости одновременно обеспечивать измерение параметров среды, беспроводную передачу данных и управление исполнительными устройствами. Ряд руководств и отраслевых рекомендаций указывает на целесообразность применения промышленной автоматики (ПЛК,

Modbus/RS-485, промышленные датчики) для задач, критичных к отказам и помехам, однако при разработке прототипов и учебных установок сохраняются вопросы о целесообразности таких решений ввиду их стоимости, закрытости программной экосистемы и повышенного порога вхождения.

На протяжении длительного времени платформы семейства Arduino рассматривались как базовый инструмент для быстрого прототипирования встроенных устройств, пока не получили широкого распространения более производительные микроконтроллеры с интегрированными средствами связи и расширенными периферийными возможностями. Вместе с тем данные о сопоставимой надёжности и воспроизводимости результатов при длительной эксплуатации Arduino-решений в задачах непрерывного мониторинга и телеметрии часто носят фрагментарный характер, поскольку в ряде публикаций анализ ограничивается демонстрацией работоспособности без оценки устойчивости к помехам, просадкам питания и деградации контактов/соединений при длительном использовании. Дополнительные сложности возникают при построении систем, где одновременно присутствуют аналоговые/цифровые измерительные каналы (например, датчики давления), беспроводная связь (Bluetooth) и силовая коммутация (реле/транзисторы), поскольку такие компоненты взаимно влияют друг на друга через цепи питания и электромагнитные наводки.

Использование электромеханических реле для коммутации нагрузки нередко оценивается как спорное решение из-за дребезга контактов, искрения и формирования электромагнитных помех, способных ухудшать точность измерений и вызывать сбои в каналах связи, особенно при отсутствии фильтрации и развязки. В то же время обзоры, ориентированные на промышленную эксплуатацию, как правило, отдают предпочтение твердотельным реле, оптосимисторным решениям и полупроводниковым ключам на MOSFET/IGBT, однако в учебной практике и в прототипах часто применяются более доступные транзисторные каскады (включая биполярные транзи-

сторы) и релейные модули, что требует отдельного рассмотрения их ограничений и условий безопасной эксплуатации. Аналогично, при организации связи для IoT-систем часто рекомендуются протоколы и стеки, ориентированные на масштабируемость и интеграцию (например, Wi-Fi/ MQTT, ZigBee/Thread), однако для локальных задач управления в пределах помещения Bluetooth-канал (в том числе на базе модулей HC-05) и UART-взаимодействие остаются распространённым выбором благодаря простоте настройки и доступности аппаратной базы. При этом отмечается, что начинающие разработчики особенно подвержены ошибкам проектирования: отсутствие гальванической развязки силовой и логической частей, некорректная организация «земли», недостаточная фильтрация питания датчиков и модулей связи, а также неправильный выбор элементов защиты (диоды, предохранители, варисторы) могут приводить как к выходу микроконтроллера из строя, так и к росту измерительной погрешности и снижению устойчивости обмена данными[12, 13].

В целом исследования применимости Arduino-платформы для задач мониторинга параметров окружающей среды (в том числе атмосферного давления) в большей степени носят экспериментально-прикладной характер и часто ориентированы на демонстрацию возможности построения бюджетных измерительных узлов. В работах, посвящённых цифровым барометрическим датчикам, подчёркивается, что использование сенсоров с цифровым интерфейсом (I2C/SPI) упрощает согласование с микроконтроллером и повышает устойчивость к помехам по сравнению с аналоговыми решениями, однако итоговая стабильность показаний в значительной степени определяется качеством питания, экранированием, корректностью разводки проводников и алгоритмами программной фильтрации. Отдельно отмечается, что при совместной работе измерительного узла и исполнительной части (управление реле/транзистором) на одной плате или в одном корпусе риск взаимных по-

мех возрастает, что требует либо конструктивного разнесения модулей, либо введения развязки и фильтров[14].

Для исполнительных стендов управления нагрузкой ряд публикаций показывает преимущества транзисторных ключей и ШИМ-управления при необходимости плавного регулирования мощности и повышения ресурса коммутации, тогда как классические реле остаются удобными для дискретного включения/выключения, но ограничены скоростью работы и ресурсом контактов. В исследованиях и инженерных заметках по беспроводным модулям подчёркивается, что Bluetooth-канал на базе HC-05 в целом достаточен для телеметрии и команд управления в локальных сценариях, однако качество связи существенно зависит от помеховой обстановки, ориентации антенн, наличия препятствий и реализации протокола обмена на прикладном уровне (подтверждения, повторные передачи, контроль целостности). Также описываются подходы к ускорению реакции системы управления за счёт перехода от циклического опроса к событийной модели (прерывания, таймеры), что особенно актуально при необходимости одновременно обслуживать датчики, обмен по UART и управление исполнительными выходами.

При сравнении распространённых аппаратных платформ для подобных задач в обзорах обычно рассматриваются несколько типовых классов решений: (1) платы Arduino-класса на 8-битных микроконтроллерах (простота, широкая библиотечная база, ограничения по ресурсам), (2) микроконтроллеры с интегрированным Wi-Fi/Bluetooth (рост производительности и возможностей связи при усложнении настройки), (3) одноплатные компьютеры (расширенные вычислительные возможности при повышенных требованиях к питанию и надёжности), (4) промышленная автоматика (высокая устойчивость и стандартизованность при высокой стоимости). В большинстве работ подчёркивается, что в условиях «обычной» эксплуатации (короткие линии, малые токи нагрузки, отсутствие сильных помех) микроконтроллерные решения демонстрируют приемлемые показатели функциональности и скоро-

сти разработки. Напротив, при «тяжёлых» условиях (силовая коммутация, высокая влажность/запылённость, сильные электромагнитные наводки, длительные линии связи) доказательная база по бюджетным прототипным решениям ограничена, а рекомендации чаще сводятся к усилению требований по безопасности, развязке, защите и переходу на более помехоустойчивые интерфейсы и компоненты.

Таким образом, как и в большинстве прикладных направлений IoT-проектирования, при построении модульной системы на базе Arduino ключевой задачей становится баланс между доступностью и простотой реализации, с одной стороны, и требованиями к надёжности измерений, устойчивости связи и безопасности силовой части — с другой. В рамках рассматриваемых проектов это проявляется в необходимости совместной проработки сенсорного модуля мониторинга атмосферного давления, подсистемы беспроводного сбора/передачи данных на базе HC-05, а также исполнительного стенда управления нагрузкой на реле и транзисторных ключах, с обязательным учётом помехозащищённости и развязки цепей питания.

Выводы. Разработка модульных аппаратно-программных комплексов на базе микроконтроллеров Arduino для задач мониторинга, беспроводной передачи данных и управления исполнительными устройствами представляет собой компромиссное решение, учитывающее как доступность и простоту реализации, так и требования к функциональной полноте и расширяемости системы. Для задач мониторинга атмосферного давления применение цифровых барометрических датчиков с интерфейсом I2C в сочетании с микроконтроллером ATmega328P показало приемлемую стабильность измерений при условии обеспечения стабилизированного питания и программной фильтрации данных. Использование модуля Bluetooth HC-05 для организации беспроводного канала сбора и передачи данных в локальных системах управления «Умным домом» продемонстрировало достаточную скорость обмена и

дальность связи для типовых бытовых сценариев, однако требует корректной реализации протокола на прикладном уровне и учёта помеховой обстановки.

Испытательный стенд управления силовой нагрузкой на основе электромеханических реле и транзисторных ключей подтвердил возможность дискретного и плавного (с применением ШИМ) регулирования мощности, при этом выявлена необходимость обязательной гальванической развязки силовой и логической частей, а также защиты входов микроконтроллера от импульсных помех, возникающих при коммутации индуктивной нагрузки. Ограниченные данные показали, что совместная работа сенсорного, коммуникационного и исполнительного модулей на единой аппаратной платформе возможна при условии разнесения цепей питания, экранирования чувствительных узлов и применения программных мер по синхронизации обмена данными.

Таким образом, предложенная архитектура, основанная на использовании унифицированной элементной базы и открытых программных библиотек, позволяет создавать масштабируемые системы автоматизации с низкой себестоимостью и коротким циклом разработки, что особенно актуально для образовательных и прототипных проектов. Дальнейшие исследования целесообразно направить на повышение помехоустойчивости и надёжности при длительной эксплуатации, а также на интеграцию разработанных модулей в единую распределённую систему управления с централизованным сбором данных и возможностью удалённого мониторинга через интернет-сервисы.

Список литературы:

1. Ибрагим Д. Изучаем Arduino Uno R4: учебное пособие. М.: ДМК Пресс, 2024. С. 45-78.
2. Петин В.В., Биняковский А.А. Практическая энциклопедия Arduino. М.: ДМК Пресс, 2020. С. 23-56.
3. Шернич Э. Arduino для детей. М.: ДМК Пресс, 2018. С. 12-34.

4. Плотникова Е.Ю. Физические основы сенсорики: датчики на Arduino // Методические указания. Воронеж: ВГТУ, 2024. С. 18-27.
5. Муромцев Д.И., Шматков В.Н. Интернет Вещей: Введение в программирование на Arduino. СПб.: НИУ ИТМО, 2018. С. 5-15.
6. Шамин А.А. Интернет вещей для начинающих. Визуальное программирование микроконтроллеров семейства ESP8266. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. С. 34-67.
7. Кашкаров А.П. Датчики в электронных схемах: от простого к сложному. М.: ДМК Пресс, 2013. С. 89-112.
8. Смоленцев Н.И. Микроэлектроника СВЧ. Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. С. 56-78.
9. Жданова Н.В. Микроэлектроника: учебное пособие. Ставрополь: СКФУ, 2014. С. 45-62.
10. Легостаев Н.С., Четвергов К.В. Микроэлектроника. М.: ТУСУР, 2013. С. 78-95.
11. Орлова М.Н., Борзых И.В. Микроэлектроника. М.: МИСИС, 2010. С. 23-41.
12. Параскевов А.В. Микроэлектроника и схемотехника. Вологда: Инфра-Инженерия, 2023. С. 67-89.
13. Параскевов А.В., Лойко В.И. Микроэлектроника и схемотехника. Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 102-128.
14. Параскевов А.В. Микроэлектроника и схемотехника. Краснодар: КубГАУ, 2019. С. 34-51.