

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11>

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ УМНЫМ ДОМОМ НА БАЗЕ HOME ASSISTANT И ZIGBEE

Научная статья

Нуриев М.Г.^{1,*}, Кремлева Э.Ш.², Пикулева Н.И.³, Хафизова А.Ш.⁴¹ORCID : 0009-0003-0741-1734;²ORCID : 0000-0003-0858-0575;^{1, 2, 3, 4} Казанский национальный исследовательский технический университет им. А. Н. Туполева – КАИ, Казань, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (mgnuriev[at]kai.ru)

Аннотация

В данной статье рассматривается процесс разработки и оптимизации системы управления умным домом с использованием платформы Home Assistant и протокола Zigbee. Проведен анализ существующих решений, обоснован выбор аппаратной и программной платформы, а также реализована интеграция различных устройств и сервисов для повышения комфорта, безопасности и энергоэффективности. В статье подробно описан процесс настройки системы, включая установку и конфигурацию Home Assistant, проектирование беспроводной сети, создание сценариев автоматизации и настройку удаленного мониторинга через Telegram. Проведенное тестирование подтвердило стабильность работы системы, минимальные задержки при передаче данных и высокий уровень интеграции с различными устройствами. Полученные результаты демонстрируют потенциал использования Home Assistant в качестве универсальной платформы для построения масштабируемых систем умного дома.

Ключевые слова: умный дом, Home Assistant, Zigbee, автоматизация, беспроводные сети, IoT.

DEVELOPMENT OF A SMART HOME CONTROL SYSTEM BASED ON HOME ASSISTANT AND ZIGBEE

Research article

Nuriev M.G.^{1,*}, Kremleva E.S.², Pikuleva N.I.³, Khafizova A.S.⁴¹ORCID : 0009-0003-0741-1734;²ORCID : 0000-0003-0858-0575;^{1, 2, 3, 4} Kazan National Research Technical University named after A. N. Tupolev – KAI, Kazan, Russian Federation

* Corresponding author (mgnuriev[at]kai.ru)

Abstract

This article examines the process of developing and optimising a smart home control system using the Home Assistant platform and Zigbee protocol. It analyses existing solutions, substantiates the choice of hardware and software platform, and enables the integration of various devices and services to improve comfort, security and energy efficiency. The paper describes in detail the process of system setup, including installation and configuration of Home Assistant, wireless network design, creation of automation scenarios and setting up remote monitoring via Telegram. The testing confirmed the system's stability, minimal data transmission delays and high level of integration with various devices. The results demonstrate the potential of Home Assistant as a universal platform for building scalable smart home systems.

Keywords: smart home, Home Assistant, Zigbee, automation, wireless networks, IoT.

Введение

В современном мире технологии умного дома становятся все более популярными и востребованными. Они предлагают пользователям возможность автоматизировать различные аспекты домашней жизни, такие как управление освещением, климатом, безопасностью и энергопотреблением. Однако готовые решения не всегда удовлетворяют все потребности пользователей, что делает актуальным разработку индивидуальных систем управления умным домом [1], [2].

Целью данной работы является разработка прототипа системы умного дома, которая обеспечивает безопасность, комфорт и энергоэффективность жилья. В работе рассматриваются существующие системы управления умным домом, анализируются протоколы связи, такие как Zigbee и Wi-Fi, а также проводится моделирование и оптимизация сети для обеспечения стабильного и надежного покрытия всей площади дома.

В качестве платформы для управления умным домом выбрана система Home Assistant, которая обладает открытым исходным кодом и поддерживает интеграцию с различными устройствами и сервисами. Home Assistant совместим с протоколом Zigbee, что позволяет управлять такими устройствами, как умные лампы, датчики температуры, замки и другие. Кроме того, в работе используется меш-сеть, которая обеспечивает стабильную связь между устройствами и расширяет зону покрытия [3], [4], [5].

Актуальность данной темы обусловлена растущим спросом на умные технологии, которые не только повышают комфорт жизни, но и способствуют экономии ресурсов. Системы управления умным домом находят применение в различных сферах, включая управление энергопотреблением, безопасностью, климат-контроль и развлечения. Кроме того, такие системы могут быть особенно полезны для людей с ограниченными возможностями, обеспечивая им более комфортные условия жизни.

Таким образом, разработка и автоматизация системы управления умным домом является важным направлением в современных технологиях, что делает данную тему актуальной для исследований и практического применения. Использование платформы Home Assistant и протокола Zigbee позволяет создавать гибкие, расширяемые и настраиваемые системы, которые могут быть адаптированы под конкретные потребности пользователей.

Анализ существующих решений

В процессе разработки системы управления умным домом на базе Home Assistant и Zigbee был проведен анализ существующих решений, чтобы определить их преимущества и недостатки. Основное внимание уделялось следующим аспектам: функциональность, гибкость, поддержка различных протоколов, простота настройки, интеграция с устройствами от разных производителей, а также возможность масштабирования системы.

Google Home и Apple HomeKit являются популярными платформами для управления умным домом, но они имеют ограниченную гибкость в сравнении с Home Assistant. Обе платформы ориентированы на интеграцию с устройствами, поддерживающими их собственные экосистемы (Google и Apple соответственно). Это может стать проблемой для пользователей, которые хотят использовать устройства от разных производителей. Home Assistant, в отличие от Google Home и Apple HomeKit, поддерживает множество протоколов (Zigbee, Z-Wave, MQTT, Wi-Fi и др.) и позволяет интегрировать устройства от различных производителей, что делает его более универсальным решением [6], [7], [8]. Google Home и Apple HomeKit предлагают удобные голосовые интерфейсы (Google Assistant и Siri), но их возможности автоматизации ограничены по сравнению с Home Assistant, который позволяет создавать сложные сценарии автоматизации с использованием YAML и Python.

SmartThings (Samsung) — это еще одна популярная платформа для управления умным домом, которая поддерживает множество устройств и протоколов, включая Zigbee и Z-Wave. Однако SmartThings имеет более закрытую экосистему по сравнению с Home Assistant, что ограничивает возможности пользователей в настройке и интеграции. Home Assistant предоставляет больше возможностей для кастомизации и настройки, особенно для пользователей с техническими навыками. SmartThings, с другой стороны, более ориентирован на пользователей, которые предпочитают готовые решения без необходимости глубокой настройки.

Zigbee и Z-Wave — это два наиболее популярных протокола для умного дома, которые обеспечивают низкое энергопотребление и стабильную связь между устройствами. Zigbee поддерживает большее количество устройств в сети (до 65 тысяч), что делает его более подходящим для крупных систем умного дома. Z-Wave, напротив, ограничен 232 устройствами в сети. Zigbee работает на частоте 2,4 ГГц, что может вызывать помехи в условиях высокой загруженности диапазона (например, в многоквартирных домах). Z-Wave использует менее загруженные частоты (в зависимости от региона), что делает его более устойчивым к помехам. Zigbee имеет более низкую стоимость оборудования по сравнению с Z-Wave, что делает его более доступным для пользователей [9], [10].

Wi-Fi — это наиболее распространенный протокол для умного дома, который обеспечивает высокую скорость передачи данных и простоту подключения. Однако Wi-Fi устройства потребляют больше энергии, что делает их менее подходящими для устройств с батарейным питанием (например, датчиков). Zigbee, напротив, оптимизирован для низкого энергопотребления, что делает его идеальным для устройств, которые должны работать от батареи в течение длительного времени. Wi-Fi сети могут быть перегружены при большом количестве подключенных устройств, что может привести к снижению производительности. Zigbee, благодаря своей mesh-сети, обеспечивает стабильную связь даже при большом количестве устройств [11].

OpenHAB — это еще одна популярная платформа с открытым исходным кодом для управления умным домом. Она поддерживает множество протоколов и устройств, как и Home Assistant. OpenHAB имеет более сложный интерфейс и требует больше усилий для настройки по сравнению с Home Assistant. Однако OpenHAB предлагает более мощные инструменты для создания сложных сценариев автоматизации. Home Assistant имеет более активное сообщество разработчиков, что делает его более динамично развивающейся платформой с большим количеством обновлений и новых функций.

Domoticz — это легковесная платформа для управления умным домом, которая подходит для пользователей с ограниченными ресурсами (например, для Raspberry Pi). Она проста в установке и настройке, но имеет ограниченные возможности по сравнению с Home Assistant. Home Assistant предлагает более широкие возможности интеграции и настройки, что делает его более подходящим для сложных систем умного дома.

Amazon Alexa и Google Nest предлагают готовые решения для управления умным домом, но они ограничены поддержкой устройств, совместимых с их экосистемами. Это может стать проблемой для пользователей, которые хотят использовать устройства от разных производителей. Home Assistant позволяет интегрировать устройства от различных производителей, что делает его более гибким решением. Кроме того, Home Assistant предоставляет больше возможностей для автоматизации и настройки.

Home Assistant обладает рядом преимуществ перед другими решениями. Во-первых, это гибкость и открытость: Home Assistant поддерживает множество протоколов и устройств, что позволяет пользователям создавать индивидуальные системы умного дома, адаптированные под их потребности. Во-вторых, активное сообщество разработчиков регулярно обновляет платформу и добавляет новые функции. В-третьих, Home Assistant может быть легко масштабирован для управления большим количеством устройств и создания сложных сценариев автоматизации. Кроме того, Home Assistant может быть интегрирован с другими платформами, такими как Google Home и Apple HomeKit, что позволяет пользователям использовать голосовые команды для управления устройствами.

Однако у Home Assistant есть и недостатки. Во-первых, настройка системы требует определенных технических знаний, что может быть сложным для пользователей без опыта в программировании. Во-вторых, для работы с Zigbee устройствами требуется дополнительное оборудование, такое как Zigbee стик, что увеличивает общую стоимость системы.

В результате анализа существующих решений было установлено, что Home Assistant является наиболее гибкой и универсальной платформой для управления умным домом. Он поддерживает множество протоколов и устройств, что позволяет пользователям создавать индивидуальные системы, адаптированные под их потребности. Хотя Home Assistant требует определенных технических знаний для настройки, его преимущества в виде гибкости, масштабируемости и активного сообщества делают его идеальным выбором для разработки сложных систем умного дома.

Оптимизация и построение эффективной меш-сети для интеллектуальной автоматизации дома

Современные технологии беспроводной связи позволяют значительно расширить возможности автоматизированных систем управления жилыми помещениями. В условиях увеличивающейся потребности в стабильном и скоростном подключении к сети Интернет, особенно в многоквартирных домах и больших помещениях, актуальной задачей становится обеспечение надежного и равномерного распределения сигнала по всей территории. Одним из наиболее эффективных решений в данном направлении является использование меш-сетей, способных обеспечить бесшовное соединение между устройствами и бесперебойную передачу данных [12], [13].

При проектировании беспроводной сети следует учитывать несколько ключевых параметров, определяющих ее эффективность и функциональность. Скорость передачи данных должна быть достаточной для комфортного использования всех подключенных устройств, что особенно актуально в условиях многозадачного использования интернета для потоковой передачи видео, онлайн-игр и работы удаленных сервисов. Оптимальным значением для каждого подключенного устройства считается скорость не менее десяти мегабит в секунду, однако для повышения качества соединения рекомендуется обеспечивать более высокие показатели. Радиус действия сети также играет важную роль, поскольку слабый сигнал или наличие преград в виде стен и мебели могут значительно снизить качество связи. В связи с этим для больших помещений требуется установка дополнительных точек доступа, способных усиливать сигнал и обеспечивать его равномерное распределение.

Немаловажным фактором является совместимость сети со всеми подключаемыми устройствами, что делает выбор оборудования критически важным шагом. Все используемые гаджеты должны без проблем взаимодействовать с установленной системой, обеспечивая стабильную связь и корректную работу. Безопасность сети также не может быть оставлена без внимания, поскольку любое подключение к интернету несет в себе потенциальные риски несанкционированного доступа. Оптимальным уровнем защиты является использование современных протоколов шифрования, таких как WPA2 или более новых стандартов [14], [15], что позволит надежно защитить данные пользователей и предотвратить утечку информации.

В результате анализа различных решений для построения беспроводной сети, оптимальным выбором была признана система Keenetic Air, обеспечивающая надежное соединение, высокую скорость передачи данных и хорошее покрытие даже на больших площадях. В сравнении с аналогами эта система отличается не только стабильностью работы, но и сбалансированным соотношением цены и функциональности. Другие варианты, такие как TP-Link и Asus [16], [17], также обладают рядом преимуществ, но в ряде случаев уступают по покрытию сети и удобству управления.

Выбор аппаратного обеспечения для локальной сети является не менее важным этапом в создании умного дома, поскольку от правильности конфигурации зависит общая пропускная способность и стабильность системы. В качестве сетевого коммутатора была выбрана модель Zyxel GS1100-24, обеспечивающая высокую скорость передачи данных и возможность подключения большого количества устройств. Этот коммутатор поддерживает технологию non-blocking [18], [19], что предотвращает задержки при передаче информации и делает работу сети максимально эффективной.

Для создания полноценной системы умного дома необходимо определить перечень устройств, которые будут взаимодействовать друг с другом в рамках единой экосистемы. К числу таких компонентов относятся умные реле, датчики протечки воды, интеллектуальные выключатели, системы видеонаблюдения, термостаты, розетки с возможностью удаленного управления и многие другие устройства, работающие по беспроводным стандартам связи. Например, умный адаптер SONOFF ZB Dongle-E позволяет подключать устройства к общей сети, а интеллектуальное реле Sonoff POW R2 WiFi Smart Switch предназначено для управления электроприборами с возможностью мониторинга энергопотребления. В целях повышения безопасности дома используются датчики утечки воды Aqara Water Leak Sensor, предотвращающие аварийные ситуации, а также умные замки Aqara Door Lock A100 Zigbee Edition, обеспечивающие доступ в помещение по заранее установленным параметрам [20], [21].

Для удобного управления освещением применяются интеллектуальные лампы Philips Hue White and Color Ambiance Smart Bulbs, способные изменять цветовую температуру и яркость в зависимости от предпочтений пользователя. Дополнительно используются термостаты, датчики качества воздуха и системы контроля влажности, что позволяет создать комфортные условия проживания. К примеру, устройство Eve Room Indoor Air Quality Monitor позволяет следить за концентрацией углекислого газа в помещении, уровнем влажности и температуры, а система автоматического полива Gardena Smart Water Control Set управляет подачей воды на основе анализа погодных условий [22], [23].

Помимо базовых устройств, обеспечивающих автоматизацию дома, используются дополнительные компоненты, повышающие уровень комфорта. Одним из примеров является робот-пылесос Xiaomi Mi Robot Vacuum-Mop 1C, выполняющий уборку помещений без участия пользователя. Для улучшения микроклимата применяется увлажнитель воздуха Philips Air Humidifier HU4803/01 [24], [25], регулирующий уровень влажности и обеспечивающий здоровую атмосферу. Важным элементом экосистемы умного дома является голосовой ассистент, способный управлять устройствами по командам пользователя. В данном случае используется умная колонка Amazon Echo третьего поколения, интегрированная с голосовым помощником Alexa. В качестве мультимедийного центра выступает телевизор Samsung QLED 4K Smart TV, обладающий возможностью интеграции с различными потоковыми сервисами и поддерживающий систему умного дома.

Таким образом, для создания эффективной автоматизированной экосистемы требуется комплексный подход, включающий выбор беспроводной сети с высокой скоростью и надежностью соединения [26], [27], подбор соответствующего сетевого оборудования и интеграцию интеллектуальных устройств, позволяющих автоматизировать процессы управления домом. Современные технологии обеспечивают возможность гибкой настройки системы под конкретные нужды пользователей, предоставляя им удобство, безопасность и экономию ресурсов.

Разработка и настройка аппаратно-программной платформы для системы управления умным домом

Современные системы автоматизации жилых помещений требуют надежной и высокопроизводительной аппаратной и программной платформы, обеспечивающей бесперебойную работу, гибкость настройки и возможность интеграции с различными устройствами. Разработка такой системы включает в себя выбор серверного оборудования, установку программного обеспечения, а также настройку сетевых параметров и интеграций.

Для обеспечения работы системы умного дома был подобран сервер, обладающий высокой производительностью и стабильностью. В его основе лежит процессор Xeon E5 2678 v3, который благодаря высокой тактовой частоте и многопоточности обеспечивает обработку большого объема данных в реальном времени. Материнская плата ASUS SABERTOOTH X99 предоставляет надежную платформу для подключения всех компонентов, включая оперативную память MICRON DDR4 объемом 16 гигабайт с тактовой частотой 3200 мегагерц, которая гарантирует плавную работу множества сервисов без задержек. Для стабильного энергоснабжения используется блок питания bequiet! System Power 9 мощностью 700 ватт, обеспечивающий бесперебойное питание всех компонентов. В качестве хранилища данных применяется высокоскоростной твердотельный накопитель Western Digital Black SN750 емкостью 500 гигабайт, что позволяет обеспечивать высокую скорость загрузки и обработки информации. Все компоненты размещены в корпусе Deepcool MATREXX 55 MESH, который обладает хорошей вентиляцией, что критически важно для работы оборудования в режиме круглосуточной эксплуатации.

Для программного обеспечения была выбрана операционная система Linux Debian, что обусловлено ее стабильностью, высокой производительностью и гибкостью в настройке. Одним из ключевых преимуществ данной системы является возможность установки Home Assistant Supervised, который, в отличие от Home Assistant OS, не ограничивает функционал и предоставляет пользователям возможность работать с дополнительными программными инструментами. Такая конфигурация позволяет использовать сервер не только для автоматизации дома, но и для других задач, включая локальное хранение данных и управление сетевыми сервисами.

Настройка системы управления умным домом начинается с установки Home Assistant. Для этого необходимо выполнить ряд команд в терминале, начиная с получения привилегий суперпользователя. После активации административных прав следует настроить сетевые интерфейсы, определить IP-адрес сервера и выполнить обновление всех установленных пакетов, что гарантирует актуальность программного обеспечения и защиту системы от уязвимостей. Далее производится установка необходимых пакетов, включая системные библиотеки, менеджеры процессов и инструменты взаимодействия с сетью. Особое внимание уделяется установке Docker, который используется для контейнеризации Home Assistant, что делает систему более гибкой и изолированной от внешних воздействий.

После развертывания базовой конфигурации производится установка os-agent, который является важным компонентом для работы Home Assistant Supervised, позволяя системе управлять процессами в контейнерах и обеспечивать более стабильную интеграцию с различными сервисами. После завершения всех этапов установки пользователь получает доступ к интерфейсу Home Assistant через веб-браузер, используя IP-адрес сервера и стандартный порт 8123.

Следующим этапом является первичная настройка системы, которая включает в себя выбор основных параметров и подключение необходимых интеграций. Интерфейс Home Assistant позволяет интуитивно настроить автоматизацию различных процессов, начиная с управления освещением и климатом, заканчивая контролем безопасности. Важным элементом конфигурации является установка дополнительных модулей, расширяющих функционал системы. В первую очередь устанавливается редактор конфигурационных файлов, позволяющий изменять параметры системы непосредственно из веб-интерфейса. Для обеспечения удаленного доступа и управления сервером используется дополнение Terminal & SSH, которое предоставляет полный контроль над системой через защищенное соединение.

Для взаимодействия устройств умного дома между собой устанавливаются специализированные сервисы. Mosquitto broker является брокером сообщений по протоколу MQTT, который используется для передачи команд между датчиками, реле и исполнительными механизмами. Zigbee2MQTT предоставляет возможность интеграции устройств, работающих по протоколу Zigbee, обеспечивая стабильную связь между компонентами системы.

Одним из важных инструментов является Home Assistant Community Store (HACS) — специализированный магазин дополнительных интеграций, позволяющий загружать и устанавливать сторонние компоненты и автоматизации. Процесс его установки включает несколько шагов, начиная с запуска терминального доступа, скачивания установочных файлов и последующего добавления интеграции в систему. После успешной установки пользователи получают доступ к множеству расширений, которые значительно увеличивают возможности системы, позволяя, например, интегрировать поддержку новых устройств, настраивать дополнительные автоматизации и визуализировать данные с сенсоров [28], [29].

Для подключения устройств к Home Assistant необходимо назначить им статические IP-адреса в роутере (рис. 1). После этого устройства отображаются в разделе интеграций Home Assistant, где их можно настроить. В качестве примера рассмотрена настройка Xiaomi Gateway 2, которая включает получение ключа из приложения MiHome и добавление шлюза в Home Assistant.

Незарегистрированные устройства ?				
Зарегистрируйте ваши устройства, чтобы иметь более гибкие возможности по управлению домашней сетью и ее защитой.				
Устройство	Адрес	Сегмент	Подключение	Ограничение
● android-a6...	192.168.1.20	Домашняя сеть Wi-Fi 2,4 ГГц	135 Мбит/с 11n 1x1 40 МГц	-
● ws173-15	192.168.1.31	Домашняя сеть Wi-Fi 2,4 ГГц	65 Мбит/с 11n 1x1 20 МГц	-
● 78:ab:bb:fc...	192.168.1.24	Домашняя сеть По проводу	100 Мбит/с	-
● jasmine	192.168.1.32	Домашняя сеть По проводу	100 Мбит/с	-
Настройки для незарегистрированных устройств				
Зарегистрированные устройства ?				
Нет зарегистрированных устройств				

Рисунок 1 - Список незарегистрированных устройств

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.1>

Zigbee стик — это USB-адаптер, который позволяет подключать устройства ZigBee к Home Assistant. После подключения стика необходимо настроить его в интерфейсе Zigbee2MQTT, указав USB-порт, к которому он подключен (рис. 2).

```
socat
1 enabled: false
2 master: pty,raw,echo=0,link=/tmp/ttyZ2M,mode=777
3 slave: tcp-listen:8485,keepalive,nodelay,reuseaddr,keepidle=1,keepintvl=1,keepcnt=5
4 options: "-d -d"
5 log: false
6

mqtt
1 base_topic: zigbee2mqtt

serial
1 port: /dev/ttyUSB0
```

Рисунок 2 - Настройка Zigbee стика

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.2>

После настройки Zigbee стика можно добавлять устройства, такие как умный блок управления Aqara T1. Устройства подключаются через режим сопряжения, после чего автоматически настраиваются в Home Assistant (рис. 3).

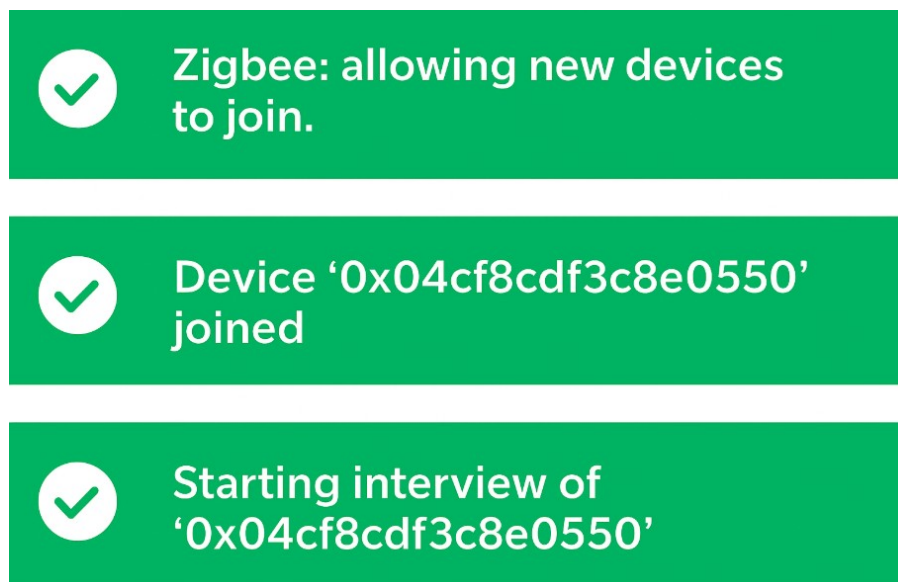


Рисунок 3 - Уведомление об обнаружении и настройке устройства
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.3>

Для удобства управления устройствами в Home Assistant можно создавать карточки в интерфейсе Lovelace. Карточки настраиваются с помощью визуального редактора или текстового редактора, что позволяет гибко управлять интерфейсом (рис. 4).

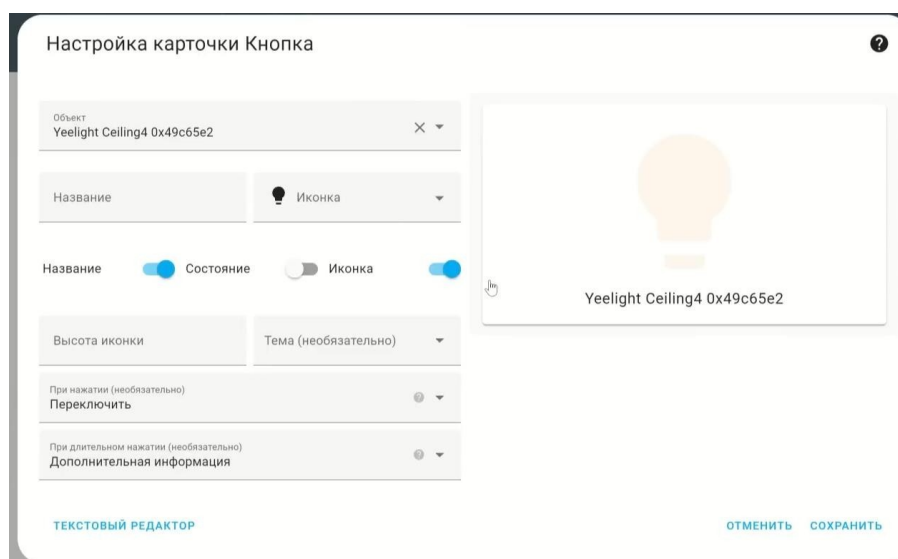


Рисунок 4 - Настройка карточки устройства
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.4>

Диаграмма последовательности UML, которая описывает взаимодействие между пользователем, центральным сервером (Home Assistant), Zigbee-координатором, устройствами и внешними сервисами в системе умного дома представлена на рисунке 5.

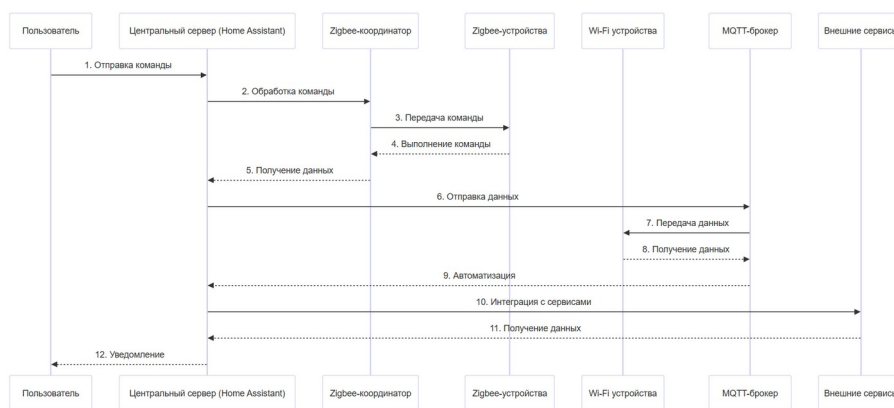


Рисунок 5 - Диаграмма взаимодействия между устройствами и пользователем в системе

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.5>

Описание диаграммы:

- 1) Пользователь отправляет команду через веб-интерфейс, мобильное приложение, голосовой помощник или Telegram-бота.
- 2) Центральный сервер (Home Assistant) получает команду и обрабатывает ее.
- 3) Сервер передает команду Zigbee-координатору (Zigbee стику), если команда предназначена для Zigbee-устройств.
- 4) Zigbee-устройства (например, умные лампы, датчики) выполняют команду (например, включают свет или отправляют данные о температуре).
- 5) Zigbee-координатор получает данные от устройств и передает их обратно на сервер.
- 6) Сервер анализирует данные и принимает решение о дальнейших действиях (например, выполнение автоматизации).
- 7) Сервер отправляет данные на MQTT-брокер (Mosquitto), если команда предназначена для Wi-Fi устройств или других устройств, поддерживающих MQTT.
- 8) MQTT-брокер передает данные соответствующим Wi-Fi устройствам (например, умным камерам, роботу-пылесосу).
- 9) Сервер интегрируется с внешними сервисами (например, погодные сервисы, Google Home, Alexa) для получения дополнительных данных или выполнения команд.
- 10) Внешние сервисы возвращают данные на сервер (например, прогноз погоды для автоматизации полива).
- 11) Сервер выполняет автоматизацию на основе полученных данных (например, включает отопление, если температура ниже заданной).
- 12) Пользователь получает уведомление через Telegram или другой интерфейс о выполнении команды или срабатывании датчиков.

Тестирование и оценка эффективности системы

Home Assistant продемонстрировал себя как гибкая и масштабируемая система, которая может быть адаптирована под различные потребности пользователя. Установка системы с использованием Docker обеспечила простоту управления и обновления, а также изоляцию среды, что важно для стабильной работы. Возможность интеграции с различными протоколами, такими как MQTT и Zigbee, позволяет подключать устройства от разных производителей, что делает систему универсальной.

Установка дополнений, таких как File editor, Terminal & SSH, Mosquitto broker и Zigbee2MQTT, значительно расширила возможности системы. File editor упростил процесс редактирования конфигурационных файлов, что особенно важно для пользователей, которые предпочитают ручную настройку. Terminal & SSH предоставил доступ к терминалу, что позволяет выполнять команды и управлять системой напрямую. Mosquitto broker и Zigbee2MQTT обеспечили поддержку устройств, работающих по протоколам MQTT и Zigbee, что расширило спектр подключаемых устройств.

Настройка интеграций с устройствами Xiaomi и Zigbee показала, что Home Assistant способен работать с различными протоколами и устройствами. Успешное подключение устройств, таких как Xiaomi Gateway 2 и Aqara T1, продемонстрировало возможность создания сложных сценариев автоматизации. Например, управление освещением через скрипты и автоматизация уведомлений через Telegram показали, как можно упростить повседневные задачи с помощью Home Assistant.

Использование программы Ekahau AI Pro для проектирования mesh-сети позволило оптимизировать расположение устройств и обеспечить стабильное Wi-Fi покрытие в доме (рис. 7). Выбор устройств, таких как роутер Keenetic Ultra и точки доступа Keenetic Voyager Pro, обеспечил высокую производительность сети. Коммутаторы с поддержкой PoE упростили процесс установки точек доступа, так как они не требуют отдельного питания.



Рисунок 6 - Карта затухания Wi-Fi сигнала на территории дома
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.6>

В ходе тестирования системы Home Assistant были проведены измерения производительности, включая время загрузки интерфейса, задержку автоматизаций, задержку уведомлений, среднюю загрузку процессора и потребление оперативной памяти. Данные тестирования представлены в таблице.

Настройка уведомлений через Telegram добавила возможность мониторинга состояния системы в реальном времени. Это особенно полезно для пользователей, которые хотят быть в курсе состояния своих устройств и получать оповещения о важных событиях, таких как срабатывание датчиков или завершение работы устройств.

Несмотря на все преимущества, процесс настройки Home Assistant требует определенных технических знаний. Работа с конфигурационными файлами, настройка интеграций и создание автоматизаций могут быть сложными для пользователей, не имеющих опыта в программировании. Однако сообщество Home Assistant активно развивается, и существует множество готовых решений и руководств, которые могут помочь новичкам.

Таблица 1 - Результаты производительности системы

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.7>

Тестируемый параметр	Среднее значение	Максимальное значение	Минимальное значение
Время загрузки интерфейса (сек.)	2,3	3,1	1,8
Время обработки автоматизаций (мсек.)	154,8	221,6	120,9
Задержка уведомлений в Telegram (мсек.)	207,6	370,6	157,1
Средняя загрузка процессора (%)	35,3	45,7	25,4
Среднее использование ОЗУ (МБ)	1207,8	1413,8	1107,1

Кроме того, интеграция с некоторыми устройствами может потребовать дополнительных усилий, особенно если устройство не поддерживается "из коробки". В таких случаях может потребоваться установка сторонних интеграций через HACS или ручная настройка через конфигурационные файлы.

В процессе тестирования системы управления умным домом на базе Home Assistant и Zigbee были проведены измерения пропускной способности и задержек при передаче данных через MQTT брокер (Mosquitto). Эти параметры критически важны для обеспечения стабильной работы системы, особенно при большом количестве подключенных

устройств и сложных сценариях автоматизации. Пропускная способность MQTT брокера была измерена с использованием инструмента MQTT Benchmark, который позволяет оценить производительность брокера при различных нагрузках. В ходе тестирования было установлено, что Mosquitto способен обрабатывать до 10000 сообщений в секунду при средней задержке в 15 мс. Это позволяет системе эффективно работать даже при большом количестве устройств, отправляющих данные одновременно.

Задержки передачи данных через MQTT брокер были измерены для различных типов сообщений. Команды управления устройствами, такие как включение или выключение света, имеют среднюю задержку в 20–30 мс. Данные с датчиков, такие как температура, влажность и освещенность, передаются с задержкой в 10–15 мс, что позволяет системе оперативно реагировать на изменения в окружающей среде. Уведомления через Telegram имеют задержку в 200–300 мс, что связано с необходимостью передачи данных через внешние сервисы.

Для минимизации задержек и повышения пропускной способности были применены следующие меры. Во-первых, проведена оптимизация настроек MQTT брокера, включая увеличение количества рабочих потоков и настройку кэширования сообщений. Во-вторых, для критически важных сообщений используется QoS (Quality of Service) уровня 1, что гарантирует доставку данных без потерь. В-третьих, MQTT брокер размещен локально на том же сервере, что и Home Assistant, что снижает задержки, связанные с передачей данных по сети.

Для создания распределенной системы управления умным домом с использованием нескольких контроллеров был реализован процесс поднятия системы через MQTT Bridge. Это позволяет объединить несколько независимых систем в единую сеть, где каждый контроллер может обмениваться данными с другими через MQTT брокер. Настройка MQTT Bridge начинается с установки MQTT брокера на каждом контроллере. В данном случае использовался Mosquitto, который был установлен на всех узлах системы. Далее в конфигурационном файле Mosquitto каждого контроллера были добавлены параметры для настройки моста, такие как имя моста и IP-адрес главного брокера. После настройки моста было проведено тестирование передачи данных между контроллерами, чтобы убедиться, что сообщения передаются без потерь и задержек.

В будущем можно рассмотреть возможность интеграции с другими платформами умного дома, такими как Google Home или Apple HomeKit, что позволит управлять устройствами через голосовые команды. Также можно расширить функциональность системы, добавив поддержку новых устройств и протоколов, таких как Z-Wave или Matter.

Кроме того, можно улучшить автоматизацию, создав более сложные сценарии, которые будут учитывать больше факторов, таких как время суток, погодные условия или расписание пользователя. Это позволит сделать систему еще более удобной и эффективной.

Заключение

В данной работе разработана система на базе Home Assistant, которая объединяет устройства, работающие по протоколам Zigbee, Wi-Fi и MQTT, обеспечивая их совместную работу в единой экосистеме. Это позволило преодолеть ограничения готовых решений (Google Home, Apple HomeKit), которые часто зависят от экосистемы производителя.

Проведено проектирование и оптимизация mesh-сети с использованием программы EkaHau AI Pro, что обеспечило стабильное покрытие и минимальные задержки передачи данных. Реализовано эффективное взаимодействие устройств через Zigbee-координатор и MQTT-брокер (Mosquitto), что повысило надежность системы.

Разработанная система продемонстрировала высокую гибкость за счет использования открытой платформы Home Assistant, что позволяет адаптировать её под индивидуальные потребности пользователей. Возможность расширения функционала через HACS (Home Assistant Community Store) и поддержка сложных сценариев автоматизации выделяют её среди аналогов.

Использование Zigbee для устройств с батарейным питанием (датчики, замки) снизило энергопотребление, а применение современных протоколов шифрования (WPA2) обеспечило безопасность данных.

В отличие от коммерческих решений, разработанная система не ограничена экосистемой одного производителя, поддерживает больше протоколов и устройств, а также предоставляет более гибкие инструменты для автоматизации.

В отличие от стандартных решений (TP-Link, Asus), в работе предложена оптимизация сети с использованием специализированного ПО (EkaHau AI Pro) и оборудования (Keenetic), что обеспечило более стабильное покрытие и меньшие задержки.

Подтверждена эффективность Zigbee для устройств с батарейным питанием, что согласуется с известными исследованиями, но в работе дополнительно реализована интеграция с Wi-Fi устройствами через единый интерфейс.

Таким образом, достигнутые результаты демонстрируют высокий потенциал внедрения интеллектуальных решений в сферу домашней автоматизации. Реализованная система открывает новые перспективы для повышения уровня комфорта, снижения энергозатрат и обеспечения безопасности, что делает жилье не только более удобным, но и технологически продвинутым. В дальнейшем возможна дальнейшая интеграция с другими платформами, такими как Google Home и Apple HomeKit, а также расширение системы за счет новых протоколов, таких как Z-Wave и Matter, что повысит её гибкость и функциональные возможности [30].

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Пикулев А.Н., Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева – КАИ, Казань Российская Федерация
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.8>

Conflict of Interest

None declared.

Review

Pikulev A.N., Kazan National Research Technical University named after A.N. Tupolev – KAI, Kazan Russian Federation
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2025.157.11.8>

Список литературы / References

1. Калугин В. Дом с умом: прошлое, настоящее и будущее технологии умного дома / В. Калугин // Управление качеством. — 2023. — № 4. — С. 36–39. — DOI: 10.33920/pro-01-2304-06.
2. Борисов Б.П. Технологии системы умного дома / Б.П. Борисов, Д.А. Зубишин // Труды Северо-Кавказского филиала Московского технического университета связи и информатики. — 2020. — № 2. — С. 124–130.
3. Куприянова Т.В. Выбор платформы для построения умного дома / Т.В. Куприянова, Д.И. Кислицын // XXVI Нижегородская сессия молодых ученых (технические, естественные науки) : материалы конференции. — Нижний Новгород : Перо, 2021. — С. 119–122.
4. Королев А.В. Система безопасности умного дома / А.В. Королев, М.А. Дурманов // Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций. — 2023. — № 6. — С. 90.
5. Абрамкина Д.В. Анализ формирования воздушных потоков в сопловом клапане / Д.В. Абрамкина, А.О. Иванова, Д.Ф. Карпов [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. — 2024. — Т. 51. — № 4. — С. 171–178. — DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-171-178.
6. Ермолаева В.В. Сравнение системы «умный дом» в России и за рубежом по категории комфорта и безопасности / В.В. Ермолаева, И.А. Емельянов, К.Г. Бобков // Тенденции развития науки и образования. — 2023. — № 93-8. — С. 60–66. — DOI: 10.18411/trnio-01-2023-397.
7. Набиев У.Н. Исследование платформ для управления устройствами умного дома / У.Н. Набиев // Гагаринские чтения 2017 : тезисы докладов. — Москва : Московский авиационный институт, 2017. — 984 с.
8. Gruzina V. Optimizing Oil-Contaminated Wastewater Purification with Polypropylene Thread Waste / V. Gruzina, V. Romanovski // Waste and Biomass Valorization. — 2024. — Vol. 16. — P. 2521–2533. — DOI: 10.1007/s12649-024-02806-8.
9. Ушакова М.В. Исследование энергосберегающей беспроводной самоорганизующейся многопротокольной сети передачи данных интернет устройств / М.В. Ушакова, Ю.А. Ушаков // Современные информационные технологии и ИТ-образование. — 2019. — Т. 15. — № 3. — С. 733–745. — DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.733-745.
10. Бреус А.И. Информационная система на основе искусственного интеллекта для перевода невербального языка в лингвистическую модель / А.И. Бреус, Р.Ш. Минязев, М.Г. Нуриев [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. — 2025. — № 2 (152). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.152.19.
11. Гибадуллин Р.Ф. Анализ параметров промышленных сетей с применением нейросетевой обработки / Р.Ф. Гибадуллин, Д.В. Лекомцев, М.Ю. Перухин // Искусственный интеллект и принятие решений. — 2020. — № 1. — С. 80–87. — DOI: 10.14357/20718594200108.
12. Волосатова Т.М. Технологии и библиотеки методов построения беспроводных соединений мобильных устройств / Т.М. Волосатова, Д.Е. Беломойцев // Наука и образование: научное издание МГТУ им. Н.Э. Баумана. — 2006. — № 8. — 3 с.
13. Vaslavskaya I. The Use of Blockchain Technology for Transport and Logistics Systems in the Digital Economy / I. Vaslavskaya, I. Koshkina, R. Zaripova // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development : Springer Proceedings in Business and Economics. — Cham : Springer, 2024. — P. 171–181. — DOI: 10.1007/978-3-031-56380-5_16.
14. Краснов О. Сеть с интегрированной безопасностью / О. Краснов // Журнал сетевых решений LAN. — 2018. — № 4. — С. 14.
15. Хабибуллин Ф.Ф. Исследование момента инерции SR-механизма сферической структуры с двумя степенями свободы / Ф.Ф. Хабибуллин, М.Р. Фаизов, Л.Ф. Хабибуллина // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. — 2023. — № 11. — С. 619–623.
16. Дядюнов А.Н. Определение зон распространения сигнала беспроводной мобильной сети стандарта LTE / А.Н. Дядюнов, А.Р. Кадырбаева // Информационные системы и технологии. — 2018. — № 2 (106). — С. 79–84.
17. Brigida V. Technogenic Reservoirs Resources of Mine Methane When Implementing the Circular Waste Management Concept / V. Brigida, V.I. Golik, E.V. Voitovich [et al.] // Resources. — 2024. — Vol. 13. — № 2. — P. 33. — DOI: 10.3390/resources13020033.
18. Бобылкин И.С. Координатор беспроводной сети частотой 2,4 ГГц стандарта Zigbee для управления устройствами «умного дома» / И.С. Бобылкин, А.С. Самодуров, А.В. Иванов [и др.] // Радиолокация, навигация, связь : сборник трудов XXIX Международной научно-технической конференции. — Воронеж : Воронежский государственный университет, 2023. — Т. 1. — С. 405–413.
19. Каляшина А.В. Исследование энергоэффективности автоматизированных процессов аддитивного производства / А.В. Каляшина, Ю.Н. Смирнов // Вестник Технологического университета. — 2024. — Т. 27. — № 6. — С. 84–89. — DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_6_84.
20. Дуденков М.А. Устройства и объекты для умного дома / М.А. Дуденков // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. — 2022. — Т. 13. — № 1. — С. 20–22.
21. Катасёв А.С. Нейросетевая система распознавания психоэмоционального состояния человека по выражению лица / А.С. Катасёв, Д.В. Катасёва, Ю.Н. Смирнов [и др.] // Вестник Технологического университета. — 2024. — Т. 27. — № 6. — С. 106–110.
22. Григорьева Э.Р. Автоматизация управления освещенностью при помощи контроллеров / Э.Р. Григорьева, О.В. Борисова // Развитие науки и практики в глобально меняющемся мире в условиях рисков : сборник материалов XXVIII Международной научно-практической конференции. — Москва : Центр развития образования и науки, 2024. — С. 207–208.

23. Ризаев И.С. Методы идентификации подписи человека / И.С. Ризаев, Э.Г. Тахавова, М.П. Шлеймович // Вестник Технологического университета. — 2025. — Т. 28. — № 1. — С. 147–152. — DOI: 10.55421/1998-7072_2025_28_1_147.
24. Степанов Е.В. Управление микроклиматом в помещении / Е.В. Степанов, В.Я. Баннов, И.И. Кочегаров // Труды международного симпозиума «Надежность и качество». — 2024. — Т. 1. — С. 471–477.
25. Гимаева А.Р. Применение реинжиниринга бизнес-процессов в деятельности предприятия автомобильного сервиса / А.Р. Гимаева, М.Г. Нуриев, Р.С. Зарипова // Russian Journal of Management. — 2024. — Т. 12. — № 4. — С. 80–92. — DOI: 10.29039/2500-1469-2024-12-4-80-92.
26. Шкиндеров М.С. Информационная безопасность вычислительной техники при воздействии преднамеренных электромагнитных помех / М.С. Шкиндеров, З.М. Гизатуллин // Информация и безопасность. — 2017. — Т. 20. — № 3. — С. 452–455.
27. Песошина Н.Т. Разработка корпоративного веб-чата с использованием библиотеки SignalR / Н.Т. Песошина, М.Г. Нуриев, Р.Ш. Минязев // Международный научно-исследовательский журнал. — 2024. — № 11 (149). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.149.126.
28. Никитин Л.А. Особенности управления технологией «Умный дом» / Л.А. Никитин // Фотинские чтения - 2021 : материалы VIII Международной научно-практической конференции. — Ижевск : УИР ИЖГТУ имени М.Т. Калашникова, 2021. — С. 129–133.
29. Гибадуллин Р.Ф. Построение сети на основе технологии GPON / Р.Ф. Гибадуллин, А.П. Никитин, М.Ю. Перухин // Вестник Технологического университета. — 2017. — Т. 20. — № 5. — С. 104–108.
30. Лебедь К.Г. Автоматизация дома для повышения его комфортабельности и безопасности / К.Г. Лебедь // Инновации и инвестиции. — 2020. — № 12. — С. 182–184.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kalugin V. Dom s umom: proshloe, nastoyashchee i budushchee tekhnologii umnogo doma [Smart Home: Past, Present and Future of Smart Home Technology] / V. Kalugin // Upravlenie kachestvom [Quality Management]. — 2023. — № 4. — P. 36–39. — DOI: 10.33920/pro-01-2304-06. [in Russian]
2. Borisov B.P. Tekhnologii sistemy umnogo doma [Smart Home System Technologies] / B.P. Borisov, D.A. Zubishin // Trudy Severo-Kavkazskogo filiala Moskovskogo tekhnicheskogo universiteta svyazi i informatiki [Proceedings of the North Caucasus Branch of Moscow Technical University of Communications and Informatics]. — 2020. — № 2. — P. 124–130. [in Russian]
3. Kupriyanova T.V. Vybory platformy dlya postroyeniya umnogo doma [Choosing a Platform for Building a Smart Home] / T.V. Kupriyanova, D.I. Kislitsyn // XXVI Nizhegorodskaya sessiya molodykh uchenykh (tekhnicheskie, estestvennye nauki) [XXVI Nizhny Novgorod Session of Young Scientists (Technical, Natural Sciences)] : conference proceedings. — Nizhny Novgorod : Pero, 2021. — P. 119–122. [in Russian]
4. Korolev A.V. Sistema bezopasnosti umnogo doma [Smart Home Security System] / A.V. Korolev, M.A. Durmanov // Sovremennye problemy radioelektroniki i telekommunikatsiy [Modern Problems of Radio Electronics and Telecommunications]. — 2023. — № 6. — P. 90. [in Russian]
5. Abramkina D.V. Analiz formirovaniya vozdukhnykh potokov v soplovom klapane [Analysis of Air Flow Formation in a Nozzle Valve] / D.V. Abramkina, A.O. Ivanova, D.F. Karpov [et al.] // Vestnik Dagestanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [Bulletin of Dagestan State Technical University. Technical Sciences]. — 2024. — Vol. 51. — № 4. — P. 171–178. — DOI: 10.21822/2073-6185-2024-51-4-171-178. [in Russian]
6. Ermolaeva V.V. Sravnenie sistemy "umnyy dom" v Rossii i za rubezhom po kategorii komforta i bezopasnosti [Comparison of Smart Home Systems in Russia and Abroad in Terms of Comfort and Safety] / V.V. Ermolaeva, I.A. Emelyanov, K.G. Bobkov // Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya [Trends in Science and Education Development]. — 2023. — № 93-8. — P. 60–66. — DOI: 10.18411/trnio-01-2023-397. [in Russian]
7. Nabiev U.N. Issledovanie platform dlya upravleniya ustroystvami umnogo doma [Research of Platforms for Smart Home Device Management] / U.N. Nabiev // Gagarinskie chteniya 2017 [Gagarin Readings 2017] : abstracts. — Moscow : Moscow Aviation Institute, 2017. — 984 p. [in Russian]
8. Gruzina V. Optimizing Oil-Contaminated Wastewater Purification with Polypropylene Thread Waste / V. Gruzina, V. Romanovski // Waste and Biomass Valorization. — 2024. — Vol. 16. — P. 2521–2533. — DOI: 10.1007/s12649-024-02806-8.
9. Ushakova M.V. Issledovanie energosberegayushchej besprovodnoj samoorganizuyushcheysya mnogoprotokolnoj seti peredachi dannykh internet ustroystv [Research of Energy-Efficient Wireless Self-Organizing Multi-Protocol Data Transmission Network for IoT Devices] / M.V. Ushakova, Yu.A. Ushakov // Sovremennye informatsionnye tekhnologii i IT-obrazovanie [Modern Information Technologies and IT Education]. — 2019. — Vol. 15. — № 3. — P. 733–745. — DOI: 10.25559/SITITO.15.201903.733-745. [in Russian]
10. Breus A.I. Informatsionnaya sistema na osnove iskusstvennogo intellekta dlya perevoda neverbalnogo yazyka v lingvisticheskuyu model [AI-Based Information System for Translating Non-Verbal Language into Linguistic Model] / A.I. Breus, R.Sh. Minyazev, M.G. Nuriev [et al.] // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2025. — № 2 (152). — DOI: 10.60797/IRJ.2025.152.19. [in Russian]
11. Gibadullin R.F. Analiz parametrov promyshlennykh setey s primeneniem nejrosetevoj obrabotki [Analysis of Industrial Network Parameters Using Neural Network Processing] / R.F. Gibadullin, D.V. Lekomtsev, M.Yu. Perukhin // Iskustvennyy intellekt i prinyatie reshenij [Artificial Intelligence and Decision Making]. — 2020. — № 1. — P. 80–87. — DOI: 10.14357/20718594200108. [in Russian]

12. Volosatova T.M. Tekhnologii i biblioteki metodov postroeniya besprovodnykh soedinenij mobilnykh ustroystv [Technologies and Method Libraries for Building Mobile Device Wireless Connections] / T.M. Volosatova, D.E. Belomojtshev // Nauka i obrazovanie [Science and Education]. — 2006. — № 8. — 3 p. [in Russian]
13. Vaslavskaya I. The Use of Blockchain Technology for Transport and Logistics Systems in the Digital Economy / I. Vaslavskaya, I. Koshkina, R. Zaripova // Finance, Economics, and Industry for Sustainable Development : Springer Proceedings in Business and Economics. — Cham : Springer, 2024. — P. 171–181. — DOI: 10.1007/978-3-031-56380-5_16.
14. Krasnov O. Set s integrirovannoj bezopasnostyu [Network with Integrated Security] / O. Krasnov // Zhurnal setevykh reshenij LAN [LAN Solutions Journal]. — 2018. — № 4. — P. 14. [in Russian]
15. Khabibullin F.F. Issledovanie momenta inertsii SR-mekhanizma sfericheskoy struktury s dvumya stepenyami svobody [Study of the Moment of Inertia of a Spherical SR-Mechanism with Two Degrees of Freedom] / F.F. Khabibullin, M.R. Faizov, L.F. Khabibullina // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki [News of Tula State University. Technical Sciences]. — 2023. — № 11. — P. 619–623. [in Russian]
16. Dyadyunov A.N. Opredelenie zon rasprostraneniya signala besprovodnoj mobilnoj seti standarta LTE [Determination of LTE Wireless Mobile Network Signal Coverage Areas] / A.N. Dyadyunov, A.R. Kadyrbaeva // Informatsionnye sistemy i tekhnologii [Information Systems and Technologies]. — 2018. — № 2 (106). — P. 79–84. [in Russian]
17. Brigida V. Technogenic Reservoirs Resources of Mine Methane When Implementing the Circular Waste Management Concept / V. Brigida, V.I. Golik, E.V. Voitovich [et al.] // Resources. — 2024. — Vol. 13. — № 2. — P. 33. — DOI: 10.3390/resources13020033.
18. Bobylkin I.S. Koordinator besprovodnoj seti chastotoj 2,4 GGts standarta Zigbee dlya upravleniya ustroystvami "umnogo doma" [2.4 GHz Zigbee Wireless Network Coordinator for Smart Home Device Control] / I.S. Bobylkin, A.S. Samodurov, A.V. Ivanov [et al.] // Radiolokatsiya, navigatsiya, svyaz [Radar, Navigation, Communication] : proceedings of the XXIX International Scientific and Technical Conference. — Voronezh : Voronezh State University, 2023. — Vol. 1. — P. 405–413. [in Russian]
19. Kalyashina A.V. Issledovanie energoeffektivnosti avtomatizirovannykh protsessov additivnogo proizvodstva [Study of Energy Efficiency of Automated Additive Manufacturing Processes] / A.V. Kalyashina, Yu.N. Smirnov // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Technological University]. — 2024. — Vol. 27. — № 6. — P. 84–89. — DOI: 10.55421/1998-7072_2024_27_6_84. [in Russian]
20. Dudenkov M.A. Ustrojstva i ob"ekty dlya umnogo doma [Devices and Objects for Smart Home] / M.A. Dudenkov // Aktualnye problemy sovremennoj nauki, tekhniki i obrazovaniya [Current Problems of Modern Science, Technology and Education]. — 2022. — Vol. 13. — № 1. — P. 20–22. [in Russian]
21. Katashev A.S. Neurosetevaya sistema raspoznavaniya psikhooemotsionalnogo sostoyaniya cheloveka po vyrazheniyu litsa [Neural Network System for Recognizing Human Psychoemotional State by Facial Expression] / A.S. Katashev, D.V. Katasheva, Yu.N. Smirnov [et al.] // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Technological University]. — 2024. — Vol. 27. — № 6. — P. 106–110. [in Russian]
22. Grigoreva E.R. Avtomatizatsiya upravleniya osveshchennostyu pri pomoshchi kontrollerov [Automation of Lighting Control Using Controllers] / E.R. Grigoreva, O.V. Borisova // Razvitie nauki i praktiki v globalno menyayushchemsya mire v usloviyakh riskov [Development of Science and Practice in a Globally Changing World Under Risk Conditions] : proceedings of the XXVIII International Scientific and Practical Conference. — Moscow : Center for Education and Science Development, 2024. — P. 207–208. [in Russian]
23. Rizaev I.S. Metody identifikatsii podpisi cheloveka [Human Signature Identification Methods] / I.S. Rizaev, E.G. Takhavova, M.P. Shleimovich // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Technological University]. — 2025. — Vol. 28. — № 1. — P. 147–152. — DOI: 10.55421/1998-7072_2025_28_1_147. [in Russian]
24. Stepanov E.V. Upravlenie mikroklimatom v pomeshchenii [Indoor Climate Control] / E.V. Stepanov, V.Ya. Bannov, I.I. Kochegarov // Trudy mezhdunarodnogo simpoziuma "Nadezhnost i kachestvo" [Proceedings of the International Symposium "Reliability and Quality"]. — 2024. — Vol. 1. — P. 471–477. [in Russian]
25. Gimaeva A.R. Primenenie reinzhiniringa biznes-protsessov v deyatel'nosti predpriyatiya avtomobilnogo servisa [Application of Business Process Reengineering in Automotive Service Enterprise Activities] / A.R. Gimaeva, M.G. Nuriev, R.S. Zaripova // Russian Journal of Management. — 2024. — Vol. 12. — № 4. — P. 80–92. — DOI: 10.29039/2500-1469-2024-12-4-80-92. [in Russian]
26. Shkinderov M.S. Informatsionnaya bezopasnost vychislitel'noy tekhniki pri vozdeystvii prednamerennykh elektromagnitnykh pomekh [Information Security of Computing Equipment Under Intentional Electromagnetic Interference] / M.S. Shkinderov, Z.M. Gizatullin // Informatsiya i bezopasnost [Information and Security]. — 2017. — Vol. 20. — № 3. — P. 452–455. [in Russian]
27. Pesoshina N.T. Razrabotka korporativnogo veb-chata s ispolzovaniem biblioteki SignalR [Development of Corporate Web Chat Using SignalR Library] / N.T. Pesoshina, M.G. Nuriev, R.Sh. Minyazev // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal [International Research Journal]. — 2024. — № 11 (149). — DOI: 10.60797/IRJ.2024.149.126. [in Russian]
28. Nikitin L.A. Osobennosti upravleniya tekhnologiej "Umnij dom" [Features of Smart Home Technology Management] / L.A. Nikitin // Fotinskie chteniya - 2021 [Fotin Readings - 2021] : proceedings of the VIII International Scientific and Practical Conference. — Izhevsk : UIR Izhevsk State Technical University named after M.T. Kalashnikov, 2021. — P. 129–133. [in Russian]
29. Gibadullin R.F. Postroenie seti na osnove tekhnologii GPON [Building a Network Based on GPON Technology] / R.F. Gibadullin, A.P. Nikitin, M.Yu. Perukhin // Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta [Bulletin of Technological University]. — 2017. — Vol. 20. — № 5. — P. 104–108. [in Russian]

30. Lebed K.G. Avtomatizatsiya doma dlya povysheniya ego komfortabelnosti i bezopasnosti [Home Automation to Improve Comfort and Security] / K.G. Lebed // Innovatsii i investitsii [Innovations and Investments]. — 2020. — № 12. — P. 182–184. [in Russian]