# ИНТЕГРАЦИЯ IOT КОНТРОЛЛЕРА В СТЕНД ФИЗИЧЕСКОГО ПОДОБИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

*Степанова П.А.[1], Суходоев М.С.[2]*
*Научный руководитель: Суходоев М.С.[3]*
*[1] ТПУ ИШИТР ОАР, гр. 8Т12, e-mail: pas46@tpu.ru*
*[2] ТПУ ИШИТР ОАР, доцент, e-mail: smike@tpu.ru*

**Аннотация**

В статье рассматривается модернизация стенда физического подобия гидродинамической системы с интеграцией IoT-контроллера. Проведен выбор протокола передачи данных и сравнительный анализ до и после обновления. В результате обеспечены удаленный мониторинг, автоматизированный сбор и анализ данных, расширены возможности системы.

**Ключевые слова:** IoT-контроллер, гидродинамическая система, удаленный мониторинг, автоматизация.

## Введение

Автоматизация и цифровизация промышленных и учебных систем набирают популярность, позволяя значительно повысить эффективность управления процессами. Внедрение технологий Интернета вещей (IoT) расширяет возможности мониторинга, анализа и управления данными, обеспечивая более глубокое понимание функционирования системы. В данной работе рассматривается подключение IoT-контроллера к стенду физического подобия гидродинамической системы, который используется для исследования гидродинамических процессов и подготовки студентов.

Цель исследования – оценка эффективности интеграции IoT-контроллера в существующую систему с традиционным контроллером, анализ изменений в функциональности стенда, а также выявление преимуществ автоматизированного сбора, передачи и обработки данных.

## Основная часть

Стенд физического подобия гидродинамической системы предназначен для исследования движения жидкости в различных режимах, схема стенда представлена на рисунке 1. В его составе присутствует контроллер, выполняющий базовые функции автоматизации, такие как управление исполнительными механизмами и контроль параметров системы. Однако он не обладает возможностями подключения к облачным хранилищам, удаленного управления и анализа данных в режиме реального времени.

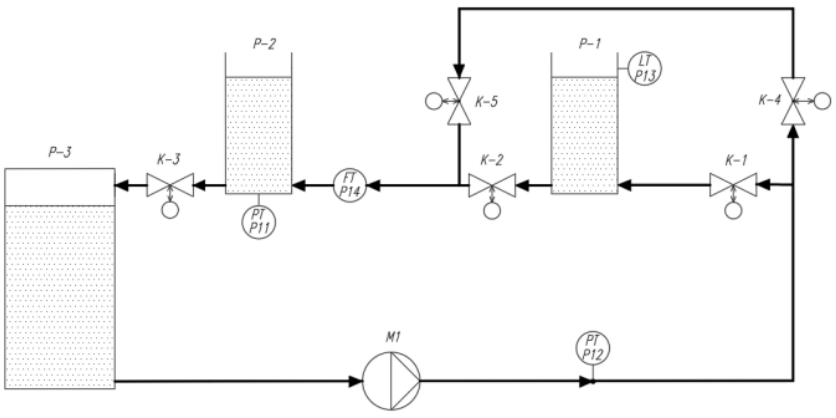


*Рис. 1. Схема стенда физического подобия гидродинамической системы*

Система включает в себя измерительные датчики, регулирующие устройства и исполнительные механизмы, обеспечивающие циркуляцию рабочей жидкости. На данном этапе данные собираются и обрабатываются локально без возможности их дальнейшего использования для удаленного мониторинга и аналитики.

Для модернизации стенда выбран IoT-контроллер, выполняющий роль шлюза между существующей системой управления и облачным хранилищем. Основные функциональные возможности IoT-контроллера включают:

1) подключение к сети и передача данных по беспроводным и проводным каналам связи;
2) поддержка стандартных протоколов обмена данными;
3) возможность предварительной обработки информации перед отправкой в облако;
4) гибкость настройки и интеграции с различными аналитическими платформами;
5) визуализация и удаленный доступ через веб-интерфейсы.

Процесс интеграции IoT-контроллера включает несколько ключевых этапов:

1) первичная настройка, установка программного обеспечения и конфигурация сети;
2) разработка логики взаимодействия традиционная система управления–IoT-контроллер;
3) разработка интерфейса для мониторинга и удаленного управления процессами стенда;
4) тестирование работы системы, анализ и устранение возможных ошибок.

Важным аспектом интеграции является выбор протоколов передачи данных, обеспечивающих надежное соединение и минимальную задержку при обмене информацией. Для этого был проведен сравнительный анализ распространённых протоколов, представленный в таблице 1.

*Таблица 1. Сравнение протоколов передачи данных*

| **Характеристика** | **MQTT** | **Modbus TCP** | **HTTP/REST** |
|---|---|---|---|
| Модель взаимодействия | Публикация/подписка через брокера | Клиент-сервер | Клиент-сервер |
| Формат сообщений | Бинарный, минимальный оверхед | Бинарный | Текстовый (обычно JSON или XML), значительный оверхед |
| Надежность передачи | Высокая, поддержка подтверждений доставки сообщений | Высокая, встроенные механизмы контроля ошибок | Высокая, но без встроенных механизмов повторной доставки |
| Скорость передачи данных | Высокая, низкая задержка из-за постоянного соединения и малого оверхед | Высокая, но может быть ниже из-за опроса устройств | Ниже, из-за установления нового соединения для каждого запроса и большего размера заголовков |
| Потребление ресурсов | Низкое, оптимизирован для устройств с ограниченными ресурсами | Среднее, требует больше ресурсов для обработки запросов | Высокое, из-за накладных расходов на установку соединений и обработки текстовых данных |
| Масштабируемость | Высокая, легко поддерживает большое количество клиентов через брокера | Ограниченная, каждый клиент должен напрямую подключаться к серверу | Ограниченная, увеличение числа клиентов может привести к значительным нагрузкам на сервер |
| Безопасность | Поддержка TLS/SSL для шифрования, механизмов аутентификации и авторизации | Ограниченная, базовая аутентификация, отсутствие встроенного шифрования | Поддержка TLS/SSL, но требует дополнительной настройки для обеспечения безопасности |
| Поддержка QoS | Три уровня QoS: 0 – без подтверждения, 1 – с подтверждением, 2 – гарантированная доставка | Отсутствует, все запросы обрабатываются одинаково | Отсутствует, все запросы обрабатываются одинаково |

Для интеграции IoT-контроллера в стенд был выбран протокол MQTT, поскольку он обладает рядом преимуществ, критически важных для эффективного сбора и передачи данных в облако:

1. Минимальный оверхед – передает только необходимые данные, снижая нагрузку на сеть.
2. Эффективность – в 20 раз быстрее и использует в 50 раз меньше трафика, чем HTTP.
3. Постоянное соединение – снижает задержки и энергопотребление.
4. QoS (Quality of Service) – возможность гарантированной доставки данных.
5. Масштабируемость – позволяет легко подключать новые устройства.
6. Безопасность – поддерживает шифрование и аутентификацию.

Эти характеристики делают MQTT оптимальным для мониторинга и управления гидродинамическим стендом в режиме реального времени.

Подключение IoT-контроллера к стенду требует учета электропитания и правильного соединения сетевых интерфейсов. Важно убедиться, что источник питания обеспечивает достаточный ток для обоих контроллеров, суммируя потребление традиционного контроллера и IoT-устройства.

Этапы подключения:

1. Расчет питания – проверяем, выдерживает ли источник суммарный ток обоих устройств.
2. Обжим Ethernet-кабеля – соединяем IoT-контроллер с традиционным контроллером для передачи данных.
3. Подключение питания – обжимаем провода (+ и -), подключаем IoT-контроллер к источнику питания.
4. Загрузка образа – загружаем операционную систему на IoT-контроллер.
5. Проверка работоспособности – тестируем подключение и обмен данными между устройствами.

Этот процесс обеспечивает корректное питание и связь между элементами системы, позволяя IoT-контроллеру выполнять сбор и передачу данных в облако.

Полученный результат модернизации представлен на структурной схеме на рисунке 2.

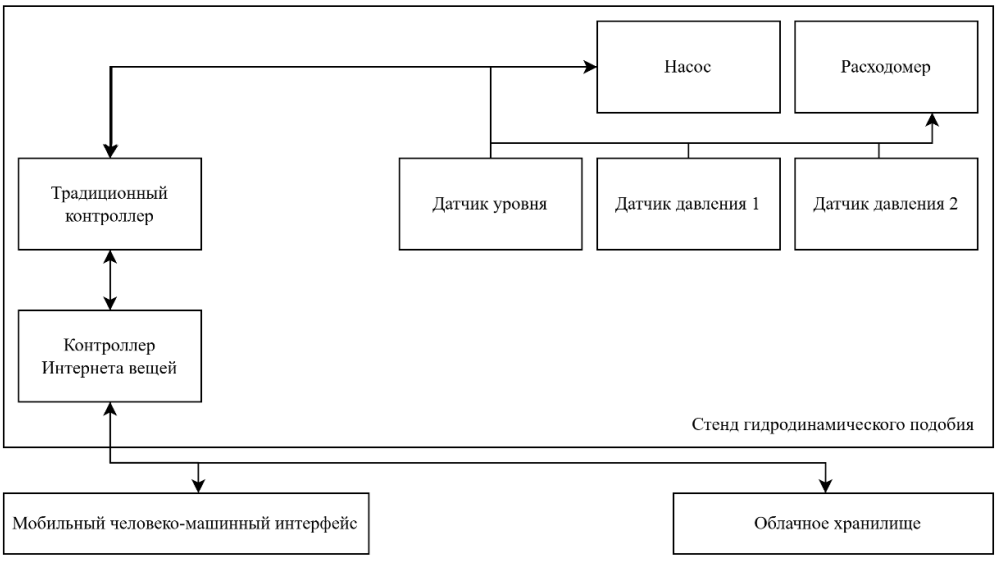


*Рис. 2. Структурная схема модернизированного стенда физического подобия гидродинамической системы*

Интеграция IoT-контроллера позволила модернизировать стенд физического подобия гидродинамической системы, расширив его функциональные возможности. В таблице 2 представлен сравнительный анализ классического стенда, современных стендов с автоматизацией и модернизированного стенда с IoT-контроллером.

*Таблица 2. Сравнительный анализ конфигураций стенда физического подобия гидродинамической системы*

| Параметр | Классический стенд без IoT | Современные стенды с автоматизацией | Модернизированный стенд с IoT-контроллером |
|---|---|---|---|
| Метод сбора данных | Ручной, через датчики и визуальные показания | Автоматический, с использованием ПЛК | IoT-контроллер с автоматизированным сбором и облачным хранением |
| Удаленный мониторинг | Отсутствует | Возможен в локальной сети | Доступен в реальном времени через интернет |
| Протокол передачи данных | Отсутствует или проводные интерфейсы (RS-485, Modbus) | Modbus, OPC UA | MQTT, HTTP, Modbus |
| Гибкость и расширяемость | Ограниченная, требуется переделка оборудования | Возможна, но сложна для интеграции новых устройств | Высокая, подключение дополнительных датчиков и облачных сервисов |
| Учебные возможности | Ограничены ручным сбором данных | Доступны базовые функции автоматизации | Гибкость в обучении IoT, облачным технологиям, анализу данных |

Сравнительный анализ показал, что модернизация стенда с интеграцией IoT-контроллера значительно расширила его функциональные возможности. Автоматизированный сбор данных и их передача в облако повысили точность измерений и упростили анализ информации. Внедрение удаленного мониторинга позволило отслеживать параметры системы в реальном времени, что ранее было невозможно. Использование современных протоколов передачи данных обеспечило надежную и быструю коммуникацию, а гибкость системы теперь позволяет легко подключать дополнительные датчики и модули.

В учебном процессе модернизированный стенд предоставляет студентам возможность изучать передовые технологии IoT и анализ данных, что соответствует современным требованиям цифровизации.

## Заключение

Модернизация стенда физического подобия гидродинамической системы за счет интеграции IoT-контроллера привела к значительному расширению его функциональных возможностей. Проведенное сравнение традиционного стенда и обновленной системы показало, что внедрение современных технологий Интернета вещей позволило автоматизировать процессы сбора, передачи и обработки данных.

В отличие от классического варианта, в котором данные фиксировались вручную или локально, обновленный стенд обеспечивает передачу информации в режиме реального времени, что повышает точность и оперативность мониторинга. Добавленная возможность удаленного доступа позволяет контролировать параметры системы и анализировать их без непосредственного присутствия оператора.

Кроме того, использование IoT-контроллера позволило расширить масштабируемость стенда, облегчая интеграцию дополнительных датчиков и новых функциональных модулей. Реализация связи через современные протоколы передачи данных улучшила надежность обмена информацией, снизила задержки и повысила устойчивость системы.

Таким образом, модернизированная система не только сохранила все возможности традиционного стенда, но и получила дополнительные преимущества, обеспечивающие более эффективное управление и анализ гидродинамических процессов.

**Список использованной литературы**

1. Протоколы передачи данных IoT // iot.ru. [Электронный ресурс]. – URL: iot.ru/wiki/protokoly-peredachi-dannykh-iot (дата обращения: 01.03.2025)

2. Какие протоколы используются для обмена телеметрическими данными в IoT? // sofiot.ru. [Электронный ресурс]. – URL: sofiot.ru/blog/telemetriya/kakie-protokoly-ispolzuyutsya-dlya-obmena-telemetricheskimi-dannymi-v-iot/ (дата обращения: 10.03.2025)

3. Протоколы передачи данных Интернета вещей // scilead.ru. [Электронный ресурс]. – URL: scilead.ru/article/4048-protokoli-peredachi-dannikh-interneta-veshch (дата обращения: 10.03.2025)

4. Росстандарт утвердил в качестве ГОСТа протокол Интернета вещей NB-IoT // servernews.ru. [Электронный ресурс]. – URL: servernews.ru/1112127 (дата обращения: 13.03.2025)

5. Подковыров А.В. Интеграция Интернета вещей в систему мониторинга промышленных объектов : дис. … магистра. – Томск: ТПУ, 2020. – 110 с. – [Электронный ресурс]. – URL: earchive.tpu.ru/bitstream/11683/61085/1/TPU934780.pdf (дата обращения: 15.03.2025)