

# Экосистема ГИГРОТЕРМОН: российское решение для комплексного мониторинга микроклимата



В статье представлен программно-аппаратный комплекс ГИГРОТЕРМОН для построения систем контроля микроклимата и его элементы. Показано, что на базе данного решения можно построить систему контроля микроклимата для любого объекта, начиная от небольшой лаборатории и заканчивая заводом.

000 «Инженерные Технологии», г. Челябинск

В условиях глобальной трансформации рынков и санкционного давления вопрос технологического суверенитета и импортозамещения в критически важных отраслях вышел на первый план. Особенно остро эта проблема стоит там, где непрерывный контроль параметров среды — обязательное условие качества и безопасности продукции (фармацевтика, микроэлектроника, пищевая промышленность, логистика и хранение). Именно здесь автоматизированная система мониторинга микроклимата становится неотъемлемой частью технологической инфраструктуры. На смену ушедшим с российского рынка западным брендам (Siemens, Vaisala, Testo, Ellab и др.) приходят отечественные разработки, не уступающие, а по ряду параметров и превосходящие иностранные аналоги. Одной из таких историй импортозамещения стала российская система мониторинга микроклимата для чистых помещений и других объектов с особыми требованиями — программно-аппаратный комплекс ГИГРОТЕРМОН компании «Инженерные Технологии» (г. Челябинск).

**От продукта к экосистеме: модульная платформа, как конструктор**

Сегодня к ПАК ГИГРОТЕРМОН можно применить модное слово «экосистема», потому что это точное описание сути продукта. За 16 лет развития, начав с узкой задачи автоматизи-

рованного мониторинга микроклимата в АПК, комплекс превратился в полноценную экосистему автоматизации, отвечающую строгим требованиям надлежащих производственной (GMP) и лабораторной (GLP) практик с полной адаптацией к требованиям ГОСТ ISO 14644-2-2020 для применения в чистых помещениях (рис. 1).

Ключевой принцип, лежащий в основе экосистемы, — модульность и гибкость, сравнимая с конструктором. Заказчик получает не жестко заданную конфигурацию, а масштабируемую модульную платформу, из которой можно собрать оптимальное

решение под свои задачи. Допускается комбинировать проводные технологии (интерфейсы 1-Wire, CAN) и беспроводные (радиосвязь LoRa 433 МГц), выбирать необходимое количество датчиков, типы контроллеров и узлов связи. Такой подход позволяет создавать системы любого масштаба: как для компактной лаборатории с десятком точек контроля, так и для распределенного объекта с сотнями датчиков (например, метрополитена или крупного фармзавода). При этом для внедрения решения не требуется глубокая инженерная подготовка, как в случае со сборкой системы на базе



Рис. 1. Чистое производство с установленной системой ГИГРОТЕРМОН

классических SCADA. ГИГРОТЕРМОН предоставляет готовые функциональные модули, которые можно развернуть и настроить без привлечения узкопрофильных программистов.

Архитектурно ГИГРОТЕРМОН реализован как многоуровневая система: верхний уровень – серверное программное обеспечение «Гигротермон-АРМ» с базой данных; средний уровень – сеть контроллеров сбора данных разных типов; нижний уровень – цифровые датчики и измерительные узлы (проводные ПИРС-CAN и беспроводные ПИРС-1). Все элементы изначально спроектированы для бесшовной совместной работы, благодаря чему установка и масштабирование системы не требуют значительных трудозатрат. Ниже подробно рассмотрены компоненты экосистемы ГИГРОТЕРМОН.

#### Архитектура и компоненты системы

##### Контроллеры ГИГРОТЕРМОН.

Контроллер – центральное звено, к которому подключаются периферийные устройства. Линейка включает три основные модели.

► *Гигротермон-М4* – многоканальный проводной контроллер для прямого подключения цифровых датчиков по интерфейсу 1-Wire (поддерживает до 99 датчиков). Оснащен собственным дисплеем и встроенной энергонезависимой памятью; для передачи данных на верхний уровень имеет интерфейсы Ethernet, RS-485 и Bluetooth. Этот контроллер удобен для локальных бюджетных систем с небольшим числом датчиков.

► *Гигротермон-CAN* (рис. 2а) – контроллер для объединения измерительных узлов по промышленной

шине CAN. Выступает центральным узлом сети, к которому подключаются узлы ПИРС-CAN, опрашивающие датчики в точках измерения. Один такой контроллер собирает данные с десятков узлов одновременно, охватывая 100 и более контрольных точек. Каждый узел при этом хранит измерения во внутренней памяти, поэтому при сбое связи данные не теряются. Поддерживается «горячее» подключение новых модулей, что упрощает наращивание системы без остановки работы. Эта модель эффективна для крупно-разветвленных проводных сетей (например, чистые помещения фармпроизводства, колбасные производства или фабрики микроэлектроники).

► *Гигротермон-RF* – контроллер для построения беспроводной сети по технологии LoRa (диапазон ~433 МГц). Он взаимодействует с радиоузлами ПИРС-1 (модели I-Sens/E-Sens), которые опрашивают подключенные датчики и передают данные по радиоканалу. К одному контроллеру RF можно подключить до 50 беспроводных узлов одновременно. На эти узлы могут быть заведены все типы датчиков экосистемы ГИГРОТЕРМОН, а также любые аналоговые или дискретные датчики сторонних производителей – через специальные модули расширения сигналов. Таким образом, RF-контроллер позволяет развернуть распределенный мониторинг без прокладки кабелей. Достаточно установить один центральный блок с антенной, чтобы охватить весь объект: склад, птичники, уличные холодильные контейнеры, теплицы, музеи и т. п.

**Измерительные узлы ПИРС.** Узлы серии ПИРС служат промежуточным звеном между датчиками и контрол-

лером, расширяя возможности по подключению и отображению данных на местах. Существуют проводные и беспроводные модификации.

► *ПИРС-CAN* (рис. 2б) – проводной узел, подключаемый к контроллеру по CAN-шине (длина линии до 1000 м, число узлов на линии не ограничено). Каждый такой модуль представляет собой электронное устройство со встроенным дисплеем и трехцветным LED-индикатором статуса: зеленый – норма, желтый – предупреждение, красный – авария. Узел позволяет подключить индивидуальную внешнюю сигнализацию или трехцветную световую колонну. К одному узлу можно подключить несколько датчиков одновременно. Узел накапливает измеренные значения во внутренней памяти и отображает их на дисплее. Корпус выполнен из гладких, устойчивых к дезинфекции материалов, что делает ПИРС-CAN пригодным для использования в чистых помещениях. Обычно такие узлы монтируются у входа в контролируемое помещение (для локальной индикации показаний датчиков внутри) либо непосредственно в самом помещении. В каждый узел встроен резервный аккумулятор, поэтому при отключении внешнего питания или связи он продолжает автономно работать. Наличие локальной памяти и питания обеспечивает сохранность данных и непрерывный мониторинг даже при сбоях в сети.

► *ПИРС-1* – беспроводной узел (также известен под марками I-Sens или E-Sens), компактное автономное устройство со встроенным радиопередатчиком LoRa. Узел питается от батареи, опрашивает подключенный к нему датчик (с одним или двумя каналами) и передает показания по радиоканалу на контроллер Гигротермон-RF. Узлы исполнения ПИРС-1Ч обеспечивают класс защиты IP65, такие модули можно размещать в сырых и запыленных зонах – под потолком склада, в инкубаторах птицефабрик, внутри холодильных камер и т. д. Для улучшения связи узел исполнений ПИРС-1А или ПИРС-1Ч может оснащаться выносной антенной, например, выводимой наружу холодильной камеры или на крышу здания. Каждый беспроводной узел образует отдельную точку контроля (1–2 канала датчиков). Количество узлов легко мас-



Рис. 2. Элементы для объединения измерительных узлов по CAN-шине: а – контроллер Гигротермон-CAN; б – проводной узел ПИРС-CAN со световой колонной



Рис. 3. Оборудование для сети 1-Wire: а – контроллер Гигротермон-М4; б – датчик дифференциального давления ИПМ-41-03-1

штабируется до нескольких десятков устройств – практически ограничением служит только требуемая дальность связи. Таким образом, система на базе контроллера RF гибко охватывает большие и сложные объекты без монтажа кабельной инфраструктуры.

**Датчики и регистраторы.** Компания «Инженерные Технологии» выпускает широкий спектр цифровых датчиков семейства ИПМ и ТГМ для контроля различных параметров микроклимата. В их числе датчики температуры (включая криогенные до  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), влажности, атмосферного давления, а также дифференциального давления до 50 Па (рис. 3б). Последние применяются, например, для отслеживания закрытия дверей в чистых помещениях или состояния HEPA-фильтров. Датчики являются поверяемыми приборами и внесены в Государственный реестр средств измерений РФ и ряда стран СНГ.

Кроме того, система поддерживает подключение сторонних аналоговых датчиков ( $\text{CO}_2$ , концентрации газов, температурные датчики для труб, 4–20 мА и др.), что добавляет универсальности решению. В комплект могут быть включены автономные регистраторы температуры и влажности (серия TR) – компактные приборы с собственной памятью и батарейным питанием. Они могут работать офлайн, периодически выгружая накопленные данные в систему, что полезно для резервирования данных или мониторинга труднодоступных зон.

Периодичность поверки датчиков, как правило, составляет 2 года. При этом важно отметить, что весь комплекс ГИГРОТЕРМОН также внесен в Госреестр СИ России и Узбекистана

как единое средство измерения. Это позволяет проводить калибровку всей системы на месте эксплуатации (с использованием эталонных имитаторов, датчики поверяются отдельно), что значительно упрощает поддержание метрологической точности.

#### Программное обеспечение «Гигротермон-АРМ»

Программное обеспечение «Гигротермон-АРМ» выполняет функции сбора, хранения, визуализации и анализа данных со всех контроллеров и датчиков комплекса. Архитектурно система построена по клиент-серверному принципу: выделенный сервер (или промышленный компьютер) собирает данные в централизованную базу, а пользователи подключаются через клиентские рабочие места. Важно, что ПО поставляется бесплатно на весь срок эксплуатации – нет лицензий на количество датчиков или операторских мест. Несмотря на открытость распространения, «Гигротермон-АРМ» обладает функциональностью уровня GMP, полностью соответствия требованиям отрасли. Все показания стекаются в единую базу данных (MS SQL или MySQL) с сохранением непрерывной истории измерений. При временном обрыве связи данные не теряются: после восстановления соединения сервер автоматически догружает их из памяти контроллеров и узлов, обеспечивая целостность ряда наблюдений. Сама база данных защищена от несанкционированного доступа, записи в ней неизменяемы (это требование регулятора FDA 21 CFR Part 11), а система ведет подробный аудит-трейл всех действий пользователей и событий. Реализо-

ван механизм разграничения доступа: предусмотрены учетные записи разных ролей (администратор, менеджер по валидации, оператор и т. д.) с индивидуальными правами на просмотр данных и изменение настроек. Эти меры соответствуют как международному регламенту FDA 21 CFR Part 11 и европейскому Annex 11, так и российским отраслевым стандартам, например, ГОСТ Р 52249-2009 для фармпроизводства.

Для контроля отклонений параметров ПО поддерживает многоуровневую систему сигнализации. Для каждого датчика настраиваются два пороговых значения: уровень «предупреждение» и уровень «действие», что соответствует требованиям стандарта ISO 14644-2-2020 для чистых помещений. При выходе параметра за границы нормы система сразу формирует оповещения. Уведомления могут отображаться как всплывающие сообщения на экране и звуковые сигналы, а также рассылаться ответственным лицам по электронной почте, через СМС и мессенджеры, например, посредством Telegram-бота. Реализована гибкая фильтрация уведомлений: можно задать, какие типы тревог и от каких датчиков получает каждый пользователь, а также настроить задержку перед отправкой сообщения, например, 1–2 мин. Небольшая задержка позволяет отсеять ложные либо кратковременные колебания параметров, избегая избыточных тревог. Помимо программных оповещений предусмотрен аппаратный канал аварийного оповещения: специальный модем GSM IT LTE, подключенный к системе, дублирует отправку тревожных СМС напрямую через сотовую сеть. Даже если сервер или ПК с основным ПО выйдет из строя, критически важные сообщения все равно достигнут адресатов.

Программный комплекс включает все необходимые инструменты для документирования и анализа. Формируются суточные, недельные и месячные отчеты, журналы событий и операций. Предусмотрен отдельный журнал для регистрации калибровок (поверок) датчиков, что актуально для соблюдения требований GMP/GLP. К серверу «Гигротермон-АРМ» одновременно может подключаться неограниченное число клиентских рабочих мест (через локальную сеть или интернет). Тех-

нолог, инженер службы эксплуатации и руководитель подразделения смогут параллельно работать с системой со своих компьютеров, каждый в рамках своей зоны ответственности. Благодаря встроенному модулю DB-Viewer доступ к данным и графикам возможен через обычный веб-браузер, что удобно для удаленного мониторинга.

#### Интеграция в инфраструктуру

Экосистема ГИГРОТЕРМОН изначально спроектирована как открытая система, способная работать не только автономно, но и совместно с уже существующими системами диспетчеризации (SCADA/BMS) на предприятии. Каждый ее контроллер поддерживает стандартный интерфейс RS-485 с протоколом Modbus RTU, через который внешняя SCADA-система или контроллер верхнего уровня могут опрашивать текущие значения датчиков. Фактически все контроллеры «Гигротермон» могут выступать в роли ведомых устройств для стороннего Master-контроллера по Modbus. Кроме того, в состав ПО «Гигротермон-АРМ» входит встроенный OPC UA-сервер (Гигротермон-OPC). При его активации все данные микроклимата становятся доступны для чтения любыми OPC-UA-клиентами, то есть практически любой SCADA- или MES-системой. Поскольку OPC-сервер уже «знает» структуру данных ГИГРОТЕРМОН, теги переменных формируются автоматически и интеграция требует минимальных трудозатрат на настройку. Если на объекте используется сторонний OPC-сервер, оборудование ГИГРОТЕРМОН может быть подключено через него. Благодаря поддержке открытых промышленных протоколов подключение ГИГРОТЕРМОН к существующей АСУ ТП не требует разработки дополнительных шлюзов или дублирования рабочих станций, и система органично вписывается в единое информационное пространство предприятия.

Важно подчеркнуть, что внедрение ГИГРОТЕРМОН не требует глубокой кастомизации и участия крупной инженерной команды, чего зачастую требуют классические SCADA-решения. Поставляемые контроллеры и узлы уже предварительно настроены для работы друг с другом, датчики аттестованы, а программное обеспечение сразу готово к использованию.

Благодаря модульному принципу расширения системы или изменение конфигурации сводится к добавлению необходимых устройств и минимальной настройке, без написания сложного кода. Это значительно сокращает сроки развертывания системы мониторинга микроклимата на новом объекте и снижает зависимость от квалификации интегратора.

#### Степень надежности, резервирование данных и автономность

Для критических применений (фармпроизводство, чистые помещения микроэлектроники и др.) крайне важна гарантированная непрерывность мониторинга. Этим требованиям экосистема ГИГРОТЕРМОН соответствует благодаря средствам резервирования на всех уровнях. Каждый контроллер и узел обладают независимой памятью для локальной регистрации измерений: даже если связь с центральным сервером временно пропадает, данные продолжают сохраняться на местах. Затем, при восстановлении соединения, информация автоматически догружается в общую базу, так что провалов в хронологии не возникает. Встроенные аккумуляторы в узлах ПИРС-CAN позволяют оборудованию продолжать работу при перебоях электропитания, а автономные беспроводные узлы ПИРС-1 и регистраторы TR способны длительное время измерять параметры без внешнего питания, с последующей выгрузкой накопленных данных. Сама программа «Гигротермон-АРМ» спроектирована с учетом принципов надежности: она обеспечивает сохранность накопленных данных даже в критических ситуациях (например, сбой ПК или сети). Дополнительный GSM-модем, как отмечалось выше, гарантирует доставку аварийных уведомлений при любых обстоятельствах. Таким образом, даже в случае частичного отказа компонентов система сохраняет работоспособность и полностью соблюдает непрерывность мониторинга.

Отказоустойчивость решения подтверждена реальными эксплуатационными проверками на промышленных объектах. В отзывах пользователей отмечается высокая надежность комплекса — за счет сочетания локального дублирования данных, резервного питания и продуманного софта ГИГРОТЕРМОН способен функционировать

круглосуточно без сбоев, обеспечивая технологическую непрерывность процессов.

#### Импортозамещение

Комплекс ГИГРОТЕРМОН полностью локализован и сертифицирован в России. Решение включено в Государственный реестр средств измерений РФ (а также в Госреестр СИ Республики Узбекистан). На продукцию получены все необходимые заключения и сертификаты, включая свидетельства «Сделано в России», СТ-1 и заключение Минпромторга, подтверждающее, что система произведена на территории РФ. Система внесена в реестр российской промышленной продукции. Имеется полный комплект эксплуатационной и валидационной документации для подтверждения соответствия требованиям GMP/GLP на предприятиях заказчика. Таким образом, с точки зрения регуляторного соответствия и качества изготовления отечественная система полностью готова к аудиту.

За последние годы системы ГИГРОТЕРМОН были установлены на ряде крупных объектов таких компаний, как АО «Р-Фарм», АО «Рафарма», ПАО «Биосинтез», ООО «Завод Медсинтез», АО «ЦВ Протек» и др. В официальных отзывах подчеркивается, что ГИГРОТЕРМОН по совокупности характеристик не уступает лучшим западным аналогам и даже превосходит их в отдельных аспектах, включая удобство адаптации системы под особенности конкретного объекта. Показательно, что на одном из новых фармацевтических заводов (проект ОЭЗ «Технополис Москва» в Зеленограде) государственные органы специально отметили использование отечественного комплекса мониторинга климатических параметров вместо импортных решений. Экосистема ГИГРОТЕРМОН демонстрирует, что отечественная система мониторинга микроклимата способна полностью заменить зарубежные аналоги на самых ответственных участках.

ООО «Инженерные Технологии»,  
г. Челябинск,  
тел.: +7 (351) 242-0745,  
e-mail: info@gigrotermon.ru,  
сайт: www.gigrotermon.ru