

Э. В. Скодтаев

Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы
Москва, улица Миклухо-Маклая, дом 6

АППАРАТНАЯ АРХИТЕКТУРА ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩЕЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ПЕРВИЧНОЙ ПАСТЕРИЗАЦИИ МОЛОКА

E. V. Skodtaev

Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia
6 Miklukho-Maklaya Street, Moscow, Russia

HARDWARE ARCHITECTURE OF THE INFORMATION AND CONTROL SYSTEM OF A MOBILE PRIMARY MILK PASTEURIZATION UNIT

Актуальность разработки определяется потребностью в технологических решениях, обеспечивающих автоматизацию процессов пастеризации молока в условиях ограниченной инфраструктуры, характерной для горных и отдаленных районов. Ключевая задача разработка устойчивой аппаратной архитектуры, способной функционировать автономно при минимальной зависимости от операторского вмешательства. В качестве решения предложена модульная трехуровневая система, включающая: полевой уровень с комплексом датчиков температуры, давления и расхода, а также приводной арматурой; уровень управления, основанный на использовании протокола Modbus TCP/IP для обмена данными между ПЛК и распределенными устройствами; а также уровень визуализации и удаленного мониторинга, реализованный посредством сенсорного HMI и передачи телеметрии по 4G-каналу. Разработанная архитектура обеспечивает полную цепочку от сбора и первичной фильтрации параметров до их анализа, отображения на интерфейсе оператора и передачи в облачное хранилище. Практическая значимость работы подтверждается возможностью тиражирования данной схемы в составе мобильных установок для молочной отрасли, ориентированных на использование в условиях затрудненного доступа к централизованным энергосетям и промышленной автоматике.

Ключевые слова: аппаратная архитектура, пастеризация молока, автоматизация, Modbus TCP/IP, удаленный мониторинг.

The development addresses the practical necessity of automating milk pasteurization processes in geographically isolated mountainous regions where centralized infrastructure is often lacking. The core engineering challenge is the formulation of a fault-tolerant hardware architecture that ensures autonomous operation with minimal dependence on human intervention. The proposed solution adopts a structured three-tier model: at the field level, sensors and actuators handle real-time physical measurements and process control; the control level utilizes a Modbus TCP/IP protocol stack to manage logic operations and facilitate communication between distributed modules; the monitoring level integrates an HMI interface with 4G connectivity to enable remote supervision, data logging, and diagnostics. As a result, the system delivers a cohesive framework for signal acquisition, control execution, data transmission, visualization, and persistent storage. The architecture demonstrates its suitability for deployment in mobile milk processing stations, particularly under conditions of logistical and infrastructural constraints.

Key words: hardware architecture, milk pasteurization, automation, Modbus TCP/IP, remote monitoring.

Введение

Развитие автоматизированных технологических решений в агропромышленном комплексе приобретает особую значимость при обслуживании удаленных территорий с ограниченной инженерной инфраструктурой. В частности, в горных районах, характеризующихся сложным рельефом, нестабильной логистикой и дефицитом энергоресурсов, применение стационарного оборудования становится экономически и технически нецелесообразным. В этой связи возрастает потребность в мобильных, энергоэффективных и устойчивых к внешним воздействиям системах.

Одной из приоритетных задач в таких условиях является обеспечение санитарной безопасности и сохранности молочной продукции на ранних этапах ее обработки, в частности, реализация процесса первичной пастеризации. Учитывая высокую чувствительность молока к температурным колебаниям и микробиологическим рискам, требуется точное соблюдение термического режима и надежная автоматизация управления процессом.

Современные концепции автоматизации ориентированы на построение интегрированных систем управления, объединяющих сенсорные модули, исполнительные устройства и коммуникационные интерфейсы в единую информационно-управляющую архитектуру. Тем не менее, большинство промышленных решений предназначены для стационарного использования и не учитывают специфики автономного функционирования в условиях ограниченного доступа к облачным сервисам и нестабильной связи.

Цель исследования проектирование аппаратной архитектуры информационно-управляющей системы мобильной установки первичной пастеризации молока, адаптированной к эксплуатации в изолированных горных районах. Разработка направлена на обеспечение автономности, отказоустойчивости возможности удаленного мониторинга и управления, а также адаптивной настройки технологического режима в зависимости от внешних факторов.

1 Постановка задачи

Одной из ключевых задач при автоматизации процессов первичной переработки молока в труднодоступных горных районах является обеспечение надежной и устойчивой работы оборудования в условиях ограниченной инфраструктуры. К числу ограничений относятся нестабильное электроснабжение, резкие климатические колебания и слабое покрытие телекоммуникационных сетей. В таких обстоятельствах использование стационарных технологических линий становится нецелесообразным, что обуславливает необходимость разработки мобильных, энергоэффективных и отказоустойчивых решений.

В настоящей работе предложена аппаратная архитектура информационно-управляющей системы, ориентированная на функционирование в режиме полной автономии с возможностью точного контроля технологических параметров температуры, давления, скорости потока и других критически важных показателей пастеризации. Архитектура построена по трехуровневому принципу:

Нижний уровень включает в себя совокупность аналоговых и дискретных сенсоров, а также приводных устройств, обеспечивающих съем данных и воздействие на объект управления.

Средний (управляющий) уровень реализован на базе программируемого логического контроллера с поддержкой протокола Modbus TCP/IP, обеспечивающего детерминированный обмен данными и масштабируемость системы.

Верхний уровень система визуализации и удаленного мониторинга, реализованная с применением HMI-интерфейса маршрутизатора и модуля сотовой связи стандарта 4G, что позволяет оператору осуществлять контроль и управление процессами в режиме реального времени.

Предложенная архитектура ориентирована на решение задач технологической надежности и информационной доступности в условиях ограниченных ресурсов обеспечивая при этом гибкость и адаптацию к различным режимам эксплуатации.

2 Методы исследования

Проектирование аппаратной архитектуры информационно-управляющей системы (ИУС) мобильной установки первичной пастеризации молока осуществлялось с использованием методов системного анализа, функционально-структурного синтеза схемотехнического моделирования и параметрической оценки компонентов на основе совокупности эксплуатационных и технических характеристик.

В основу архитектурного решения положена трехуровневая модель:

1. Полевой уровень обеспечивает сбор данных с аналоговых и дискретных сенсоров, а также управление исполнительными механизмами;

2. Уровень управления реализован на базе программируемого логического контроллера (ПЛК) с поддержкой протокола Modbus TCP/IP, выполняющего логическую обработку сигналов, реализацию алгоритмов управления и координацию обмена данными;

3. Уровень визуализации и связи представлен операторской панелью (HMI), сопряженной с маршрутизатором и мобильным модемом стандарта 4G для обеспечения дистанционного мониторинга и управления технологическим процессом.

Дополнительно в целях повышения отказоустойчивости и надежности хранения технологических данных, предусмотрена организация резервного архива на сетевом хранилище (NAS). Все аппаратные компоненты и коммуникационные интерфейсы интегрированы в единую логически завершенную структуру, зафиксированную в общей структурной схеме системы.

3 Общая структурная схема

Аппаратная архитектура разработанной системы управления мобильной пастеризационной установки построена по принципу иерархической модульности, что обеспечивает ее адаптируемость к изменяющимся условиям эксплуатации, масштабируемость в зависимости от конфигурации производственного процесса, а также отказоустойчивость при воздействии внешних факторов.

Функциональная структура системы реализована в рамках трехуровневой архитектурной модели.

Полевой уровень включает в себя совокупность первичных сенсоров датчики температуры, давления, расхода и др. и исполнительных механизмов насосы, клапаны, приводы, осуществляющих прямое взаимодействие с объектом управления. Основная задача данного уровня непрерывный сбор технологических параметров и реализация управляющих воздействий по командам от вышестоящих уровней.

Уровень управления и визуализации представляет собой промежуточный логический слой, включающий программируемый логический контроллер (ПЛК) и интерфейс оператора (HMI). Он отвечает за первичную обработку поступающих данных, выполнение заданных алгоритмов управления, диагностику состояния системы и отображение информации в реальном времени.

Уровень удаленного доступа и отчетности обеспечивает интеграцию системы с внешними информационными средами. Он включает модули архивирования, удаленного мониторинга через Modbus TCP/IP или аналогичные протоколы формирования отчетной документации и передачи данных в ERP-системы или облачные платформы.

Предложенное архитектурное решение позволяет достичь высокой степени автоматизации технологического процесса и обеспечить его надежную эксплуатацию в условиях полевой мобильности.

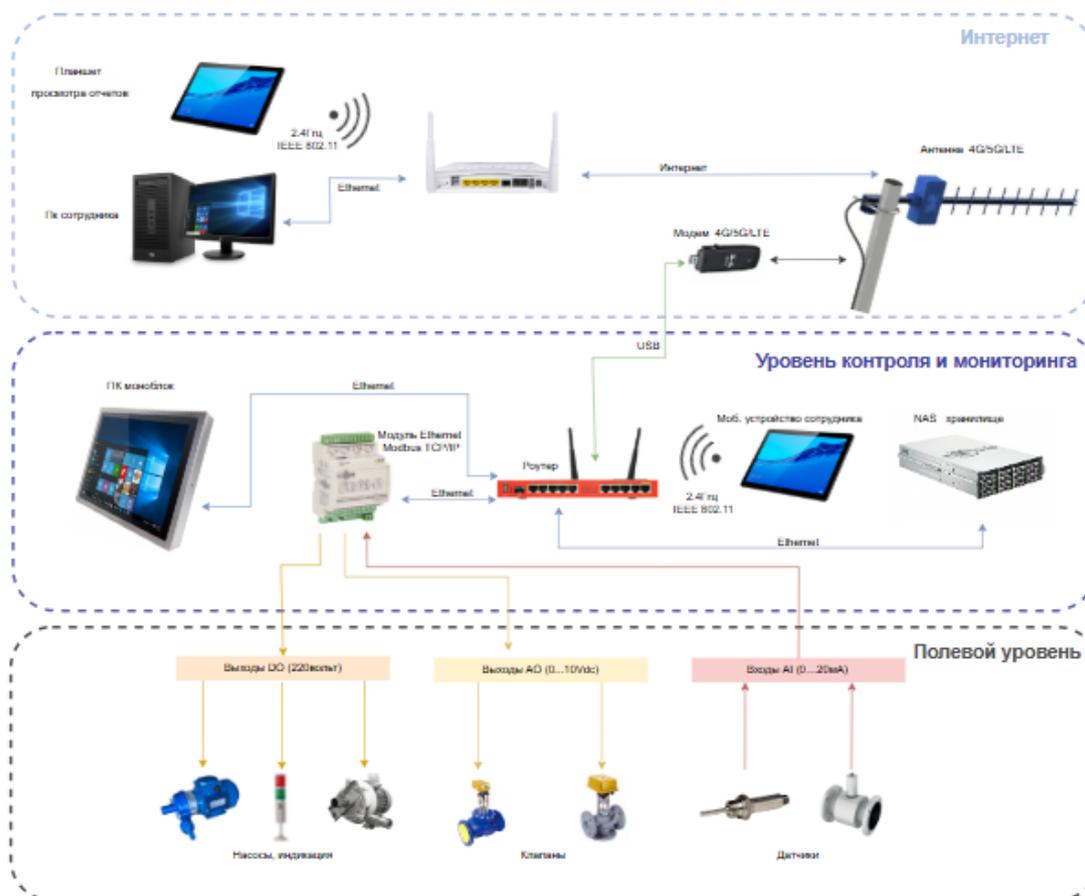


Рисунок 1 - Аппаратная архитектура мобильной установки пастеризации

На рис. 1 представлена структурная схема аппаратной архитектуры информационно-управляющей системы, предназначенной для автоматизации мобильной установки первичной пастеризации молока. Архитектура включает следующие ключевые компоненты:

- датчики аналогового и дискретного типа, отвечающие за измерение температуры, давления и расхода;
- исполнительные механизмы, среди которых насос, электромагнитные клапаны, а также сигнальные устройства индикации;
- программируемый логический контроллер, поддерживающий промышленный коммуникационный протокол Modbus TCP/IP;
- человеко-машинный интерфейс в виде панели оператора, обеспечивающей визуализацию и управление на месте;

- сетевой маршрутизатор и 4G-модем с внешней антенной для обеспечения устойчивой связи;
- сетевое хранилище NAS и устройства удаленного доступа (мобильные платформы, удаленные рабочие станции).

Информационное взаимодействие между уровнями системы организовано с учетом требований к надежности передачи данных и минимальным задержкам. Внутренняя шина данных реализована на основе Modbus TCP/IP, что гарантирует совместимость с широким спектром промышленного оборудования. Для передачи данных в облачную инфраструктуру и реализации удаленного мониторинга используется защищенный канал связи на базе сотовой сети (4G/LTE).

Предложенное решение обеспечивает непрерывный контроль и автоматическую корректировку параметров технологического процесса, а также их архивирование на протяжении всего производственного цикла. Особую значимость такая архитектура приобретает при эксплуатации в труднодоступных или горных районах, где физический доступ к оборудованию ограничен, а требования к автономности и отказоустойчивости возрастают.

4. Полевой уровень

Полевой уровень представляет собой базовую функциональную подсистему аппаратной архитектуры, непосредственно взаимодействующую с технологическим объектом мобильной установкой первичной пастеризации молока. Его назначение заключается в обеспечении непрерывного мониторинга параметров процесса и реализации управляющих воздействий через подключенные исполнительные механизмы.

На данном уровне сосредоточены следующие ключевые компоненты:

- аналоговые датчики температуры и расхода с типовыми выходными сигналами 0–10 В и 4–20 мА, используемые для измерения и контроля критически важных параметров пастеризации в реальном времени;
- дискретные сенсоры, генерирующие сигналы уровня 220 В, предназначенные для фиксации пороговых состояний и технологических событий (например, достижение предельного уровня жидкости);
- электромагнитные клапаны, обеспечивающие перенаправление потоков молока и теплоносителя в соответствии с логикой управления;
- циркуляционный насос, стабилизирующий подачу продукта и поддерживающий постоянство объема в системе;
- сигнальные индикаторы, отображающие текущие рабочие состояния установки (режим работы, аварийные или переходные состояния).

Передача данных от датчиков и команд к исполнительным элементам осуществляется через унифицированные интерфейсы связи с контроллером. Аналоговые сигналы предварительно проходят процедуры нормализации и масштабирования, что позволяет привести их к стандартному диапазону значений. Дискретные сигналы подвергаются логической фильтрации с целью подавления ложных срабатываний, вызванных дрожанием контактов.

Физическая реализация компонентов полевого уровня выполнена с учетом требований к санитарной безопасности, электромагнитной совместимости и надежности функционирования в условиях перепадов температур, характерных для горных регионов. Используемые устройства обладают степенью защиты не ниже IP65, что гарантирует их устойчивость к воздействию пыли, влаги и внешних механических факторов.

Полевой уровень образует первичную информационную платформу для всей управляющей системы, обеспечивая достоверное отображение текущего состояния технологического процесса и оперативное реагирование на его изменения.

5. Уровень управления

В структуре информационно-управляющей системы мобильной установки первичной пастеризации молока уровень управления выполняет центральную роль в реализации замкнутого цикла автоматизации технологического процесса. Основными задачами данного уровня являются прием и интерпретация данных от полевых устройств, формирование управляющих воздействий на исполнительные механизмы, а также передача обработанной информации на уровень визуализации и удаленного мониторинга.

Ключевым элементом управления служит промышленный программируемый логический контроллер (ПЛК), поддерживающий протокол Modbus TCP/IP, что обеспечивает совместимость с современными системами диспетчеризации и стандартами промышленного Интернета вещей (IIoT).

Функционально ПЛК реализует:

- циклический опрос аналоговых и дискретных сигналов от датчиков температуры, давления, уровня и расхода;
- выполнение алгоритмов логической обработки и принятия решений согласно заданным условиям;
- генерацию управляющих сигналов на исполнительные устройства (электроприводы, соленоидные клапаны, насосы, сигнальные индикаторы);
- передачу агрегированных данных на HMI-панель и/или SCADA-систему через Ethernet-соединение.

Программная реализация алгоритмов управления осуществляется во встроенной среде разработки контроллера и включает использование таймеров, логических схем, триггеров, релейных структур и блоков аналоговой обработки. Настройки позволяют конфигурировать пороговые значения температур, интервалы включения/отключения оборудования, а также предусматривать аварийные сценарии при нарушении допустимых параметров.

Для обеспечения надежности передачи данных реализована функция буферизации с пакетной отправкой в асинхронном режиме. Это позволяет минимизировать потери информации при нестабильной сетевой связи и снизить нагрузку на сетевую инфраструктуру. Интеграция маршрутизаторов и управляемых коммутаторов с поддержкой QoS (приоритезации трафика) дополнительно повышает устойчивость обмена данными между уровнями системы.

Уровень управления формирует вычислительное ядро автоматизированного комплекса, обеспечивая адаптивное, отказоустойчивое и масштабируемое функционирование системы пастеризации, включая условия эксплуатации в удаленных или полевых хозяйствах.

6. Уровень визуализации и удаленного мониторинга

Визуализационный уровень информационно-управляющей системы играет ключевую роль в обеспечении оперативного контроля за состоянием технологического процесса, а также в передаче диагностических и производственных данных на внешние устройства для анализа и принятия управленческих решений. Данный

уровень критически важен в условиях эксплуатации мобильных установок, функционирующих с минимальным участием обслуживающего персонала, в том числе в труднодоступных или изолированных регионах.

К основным аппаратным и программным компонентам данного уровня относятся:

- Панель оператора (HMI), реализующая интерфейс человеко-машинного взаимодействия. Она отображает в реальном времени технологические параметры процесса пастеризации (температура, расход, состояние насосно-клапанных групп) и обеспечивает возможность оперативного вмешательства в процесс;
- Маршрутизатор, осуществляющий сетевую маршрутизацию между программируемым логическим контроллером (ПЛК), HMI-панелью, сетевым хранилищем (NAS) и модемом стандарта 4G;
- NAS-хранилище, предназначенное для долговременной архивации технологических параметров, журналов событий и тревог;
- 4G-модем с внешней антенной, обеспечивающий устойчивую передачу данных на удаленные серверы и мобильные устройства, включая эксплуатацию в условиях нестабильной или слабой сотовой связи (например, в горной местности);
- Удаленные клиентские устройства (смартфоны, планшеты, ноутбуки), принимающие телеметрию и визуализирующие ее посредством веб-интерфейса или специализированного прикладного программного обеспечения.

Программная реализация визуализации базируется на SCADA-модуле, встроенном в HMI, что позволяет обеспечить высокоинформативный графический интерфейс с поддержкой отображения текущих значений, трендовых графиков, статусов оборудования и тревожных сообщений. Через защищенный интерфейс также реализована возможность настройки параметров, запуска/остановки процессов и просмотра архивных данных.

Передача информации на внешние устройства осуществляется с использованием мобильной сети, при этом для повышения информационной безопасности применяются технологии шифрования трафика и авторизации пользователей.

Уровень визуализации выполняет функции удаленного мониторинга, обеспечения человеко-машинного взаимодействия и телеметрического сопровождения процессов, повышая степень автономности установки и прозрачность ее функционирования в реальном времени.

7 Система связи

Надежность функционирования информационно-управляющей системы мобильной пастеризационной установки в условиях удаленных и горных районов напрямую зависит от устойчивости каналов связи и стабильности энергоснабжения. При проектировании аппаратной архитектуры были приняты решения, ориентированные на обеспечение отказоустойчивости при ограниченной доступности инфраструктуры.

Система связи реализована с использованием следующих технологических решений:

- Локальная проводная сеть на основе Ethernet-соединений, объединяющая контроллер, операторскую панель (HMI), промышленный маршрутизатор и сетевое хранилище;
- Протокол Modbus TCP/IP используется для обмена данными между уровнями управления и полевыми устройствами;

- Модем 4G с внешней антенной обеспечивает выход в сеть Интернет и передачу телеметрических данных на удаленные диспетчерские терминалы;
- Маршрутизатор с поддержкой NAT и VPN, реализующий безопасный удаленный доступ к системе, а также резервирование IP-адресов для повышения надежности связи.
- Система энергоснабжения включает следующие компоненты:
- Автономный источник питания (инверторный генератор или аккумуляторный блок) для обеспечения бесперебойной работы всех модулей при отсутствии внешнего электроснабжения;
- Импульсные стабилизаторы напряжения, выполняющие функцию защиты от перенапряжения и сетевых колебаний, характерных для нестабильных линий;
- Преобразователи 220 В AC в 24 В DC и 12 В DC, используемые для питания исполнительных механизмов, датчиков и телекоммуникационного оборудования;
- Сигнальные индикаторы питания и аварийных состояний, установленные на лицевой панели шкафа управления.

Для защиты кабельной разводки применяются герметичные кабель-каналы, рассчитанные на эксплуатацию в условиях высоких климатических и механических нагрузок. В случае необходимости возможна интеграция солнечных панелей или гибридных энергетических систем, что позволяет значительно повысить автономность установки.

Разработанная структура энергообеспечения и коммуникаций адаптирована к эксплуатации в условиях ограниченного доступа к централизованным ресурсам, обеспечивая устойчивость и непрерывность технологического процесса даже в изолированных регионах.

В ходе проведенного исследования разработана многоуровневая аппаратная архитектура информационно-управляющей системы, предназначенной для мобильной установки первичной пастеризации молока, адаптированной к условиям эксплуатации в труднодоступной горной местности. Архитектурное решение ориентировано на модульную интеграцию аналоговых и дискретных сенсоров, исполнительных механизмов, контроллеров, устройств хранения данных и средств визуализации в единую автоматизированную среду управления.

Функционально архитектура разделена на три уровня:

- полевой уровень, включающий сенсорные и исполнительные модули;
- управляющий уровень, реализуемый на базе промышленного контроллера с поддержкой протокола Modbus TCP/IP;
- уровень визуализации и хранения, обеспечивающий удаленный доступ, мониторинг и долговременную архивацию данных посредством NAS-хранилища и 4G-связи.

Такое логическое разделение повысило «структурную прозрачность» системы, упростило ее масштабирование и облегчило техническое обслуживание. Применение стандартных коммуникационных протоколов обеспечило совместимость с широким спектром промышленного оборудования, а внедрение резервных источников питания и устойчивых каналов связи позволило достичь высокой степени автономности в условиях нестабильной инфраструктуры.

Заключение

В рамках проведенного исследования разработана и обоснована аппаратная архитектура информационно-управляющей системы, предназначенной для мобильной установки первичной пастеризации молока, ориентированной на эксплуатацию в условиях ограниченной инфраструктурной доступности, включая горные и отдаленные регионы. Архитектурное решение построено на трехуровневой модели: полевой уровень включает в себя сенсорные модули и исполнительные механизмы; уровень управления реализован на базе программируемого логического контроллера с поддержкой протокола Modbus TCP/IP; верхний уровень обеспечивает визуализацию технологического процесса и удаленный мониторинг посредством HMI-панели, сетевого хранилища NAS и 4G-коммуникационного интерфейса.

Выбор аппаратных и коммуникационных компонентов аргументирован с учетом факторов энергоэффективности, надежности связи, отказоустойчивости и адаптивности к мобильному исполнению. Технические решения обеспечивают возможность модульного масштабирования, оперативного технического обслуживания и гибкой интеграции с различными SCADA-системами.

Проведенное проектирование подтвердило научную новизну предложенной архитектуры, заключающуюся в адаптации современных промышленных протоколов и средств автоматизации под требования автономных агропромышленных объектов. Результаты исследования демонстрируют высокую степень прикладной реализуемости в контексте цифровизации молочной отрасли и могут быть использованы в дальнейшем при разработке мобильных технологических комплексов, функционирующих в условиях низкой доступности энергоресурсов и нестабильной связи.

Список литературы

1. *Применение технологий искусственного интеллекта, робототехники в сельском хозяйстве: библиографический список литературы / сост. А.Г. Цырульник, С.В. Кислякова. Москва, 2022. 39 с.*
2. Иванова С. Б., Сальников И. С., Сальников Р. И. Роботизированные компьютерно-аппаратные комплексы широкого назначения: необходимость и проблемы создания. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2023. № 1. С. 89–95.
3. Рылов С. А. IoT аппаратная архитектура распределенных систем управления непрерывными промышленными производствами и агрокомплексами. *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2023. Т. 70, № 1(50). С. 105–113. DOI 10.22314/2658-4859-2023-70-1-105-113.
4. Анцыферов С. С., Сигов А. С. Технологические основы построения интеллектуальных систем. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2020. № 1. С. 11–18.
5. Рылов С. А. *Промышленный интернет. Современный подход и концепции*. М.: РТУ МИРЭА. 2023. 124 с.
6. Сальников И. С., Сальников Р. И., Терещенко С. В. Принципы функционирования роботизированного компьютера. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2022. № 2. С. 81–87.
7. Силаев А. А. Отечественные промышленные логические контроллеры. *Инновационные научные исследования*. 2023. № 2-2(26). С. 92–98.
8. Павлыш В. Н., Перинская Е. В. Математическое моделирование процессов функционирования специализированных аппаратов конвективного типа. *Проблемы искусственного интеллекта*. 2021. № 4. С. 59–66.
9. *Интегрированные системы проектирования и управления: SCADA-системы : учебное пособие / И. А. Елизаров, А. А. Третьяков, А. Н. Пчелинцев и др. Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. 160 с. 400 экз. ISBN 978-5-8265-1469-6.*
10. Tverskoy, Yu. S., & Gaidina, Yu. A. (2024). Technology of intelligent automation of process control systems based on a hardware-software complex. *Power Technology and Engineering*, 57(3), 922–929.
11. Al-Hilphy A. R., Abdulstar A. R., Gavahian M. Moderate electric field pasteurization of milk in a continuous flow unit: Effects of process parameters, energy consumption, and shelf-life determination. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2021. Vol. 67. P. 102568.

12. Franzoi M., Costa A., Vigolo V., Penasa M., De Marchi M. Effect of pasteurization on coagulation properties of bovine milk and the role of major composition traits and protein fractions. *Journal of Food Composition and Analysis*. 2022. Vol. 114. P. 104808.
13. Zhu D., Kebede B., Chen G., McComb K., Frew R. Effects of the vat pasteurization process and refrigerated storage on the bovine milk metabolome. *Journal of Dairy Science*. 2020. Vol. 103, № 3. P. 2077–2088.
14. Иконников Д. В. Разработка шкафа управления и автоматизация технологического процесса канализационной насосной станции. *Молодой ученый*. 2023. № 6(453). С. 92–98.

References

1. Tsyrunnik, A. G., & Kislyakova, S. V. (Comps.). Application of Artificial Intelligence Technologies and Robotics in Agriculture: Bibliographic Literature List. Moscow, 2022. 39 p.
2. Ivanova, S. B., Salnikov, I. S., & Salnikov, R. I. Robotized Computer-Hardware Complexes of Broad Purpose: Necessity and Problems of Creation // Problems of Artificial Intelligence. 2023. No. 1. P. 89–95.
3. Rylov, S. A. IIoT Hardware Architecture of Distributed Control Systems for Continuous Industrial Production and Agrocomplexes // Electrotechnologies and Electrical Equipment in Agroindustrial Complex. 2023. Vol. 70, No. 1(50). P. 105–113. DOI: 10.22314/2658-4859-2023-70-1-105-113.
4. Antsyferov, S. S., & Sigov, A. S. Technological Foundations for the Construction of Intelligent Systems // Problems of Artificial Intelligence. 2020. No. 1. P. 11–18.
5. Rylov, S. A. Industrial Internet: Modern Approach and Concepts. Moscow: RTU MIREA, 2023. 124 p.
6. Salnikov, I. S., Salnikov, R. I., & Tereshchenko, S. V. Principles of Operation of a Robotized Computer // Problems of Artificial Intelligence. 2022. No. 2. P. 81–87.
7. Silaev, A. A. Domestic Industrial Logic Controllers // Innovative Scientific Research. 2023. No. 2-2(26). P. 92–98.
8. Pavlysh, V. N., & Perinskaya, E. V. Mathematical Modeling of Operating Processes of Specialized Convective Apparatuses // Problems of Artificial Intelligence. 2021. No. 4. P. 59–66.
9. Yelizarov, I. A., Tretyakov, A. A., Pchelintsev, A. N., et al. Integrated Design and Control Systems: SCADA Systems: Textbook. Tambov: Publishing House of TSTU, 2015. 160 p. 400 copies.
10. Tverskoy, Yu. S., & Gaidina, Yu. A. Technology of Intelligent Automation of Process Control Systems Based on a Hardware-Software Complex // Power Technology and Engineering. 2024. Vol. 57, No. 3. P. 922–929.
11. Al-Hilphy, A. R., Abdulstar, A. R., & Gavahian, M. Moderate Electric Field Pasteurization of Milk in a Continuous Flow Unit: Effects of Process Parameters, Energy Consumption, and Shelf-life Determination // Innovative Food Science & Emerging Technologies. 2021. Vol. 67. P. 102568.
12. Franzoi, M., Costa, A., Vigolo, V., Penasa, M., & De Marchi, M. Effect of Pasteurization on Coagulation Properties of Bovine Milk and the Role of Major Composition Traits and Protein Fractions // Journal of Food Composition and Analysis. 2022. Vol. 114. P. 104808.
13. Zhu, D., Kebede, B., Chen, G., McComb, K., & Frew, R. Effects of the Vat Pasteurization Process and Refrigerated Storage on the Bovine Milk Metabolome // Journal of Dairy Science. 2020. Vol. 103, No. 3. P. 2077–2088.
14. Ikonnikov, D. V. Development of a Control Cabinet and Automation of the Technological Process of a Sewer Pumping Station // Young Scientist. 2023. No. 6(453). P. 92–98.

РЕЗЮМЕ

Э.В Скодтаев

Аппаратная архитектура информационно-управляющей системы мобильной установки первичной пастеризации молока

В статье рассматривается разработка и реализация аппаратной архитектуры информационно-управляющей системы, предназначенной для эксплуатации в составе мобильной установки первичной пастеризации молока, функционирующей в условиях ограниченной инженерной инфраструктуры, характерной для горных и труднодоступных территорий. Целью проектирования является создание автономной, энергоэффективной и устойчивой к сбоям системы управления, обеспечивающей минимальную зависимость от операторского вмешательства при сохранении полной функциональной управляемости.

Функциональная структура системы организована по трехуровневой модели: на полевом уровне реализована интеграция сенсорных модулей измерения температуры, давления и расхода, а также исполнительных механизмов; уровень управления основан на программируемом логическом контроллере с поддержкой промышленного протокола Modbus TCP/IP для синхронного взаимодействия с периферийными устройствами; верхний уровень включает человеко-машинный интерфейс (HMI), модем связи по каналу 4G и сетевое хранилище (NAS), обеспечивающие визуализацию данных, оперативное управление и архивирование технологической информации.

Предложенное техническое решение охватывает полный контур автоматизации — от первичного сбора и обработки параметров технологического процесса до передачи телеметрии в облачное хранилище и организации удаленного мониторинга. Разработка обладает прикладной значимостью и научной новизной в контексте цифровизации агропромышленного сектора и демонстрирует перспективность масштабируемого внедрения в регионах с низкой доступностью централизованных инженерных сетей.

RESUME

E. V Skodtaev

Hardware architecture of the information and control system of a mobile primary milk pasteurization unit

The article discusses the development and implementation of the hardware architecture of an information and control system designed for use as part of a mobile unit for primary milk pasteurization, operating under conditions of limited engineering infrastructure typical of mountainous and remote areas. The objective of the design is to create an autonomous, energy-efficient, and fault-tolerant control system that minimizes dependence on operator intervention while maintaining full functional controllability.

The system's functional structure is organized according to a three-level model: at the field level, it integrates sensor modules for temperature, pressure, and flow measurement, as well as actuators; the control level is based on a programmable logic controller (PLC) supporting the industrial Modbus TCP/IP protocol for synchronous interaction with peripheral devices; the upper level includes a human-machine interface (HMI), a 4G communication modem, and a network-attached storage (NAS) system, providing data visualization, operational control, and archiving of technological information.

The proposed technical solution encompasses the full automation loop—from the initial acquisition and processing of process parameters to telemetry transmission to cloud storage and the organization of remote monitoring. The development holds practical significance and scientific novelty in the context of digital transformation in the agro-industrial sector and demonstrates promising scalability for deployment in regions with limited access to centralized engineering networks.

Скодтаев Э.В. – Магистр Российского университета дружбы народов, 117198, город Москва, Миклуха-макляя 6, тел. + 7 (499) 936-87-87,

Alania.su@mail.ru

Область научных интересов: искусственный интеллект, моделирование систем автоматизации, машинное обучение, промышленный интернет вещей, системы автоматизации.

Статья поступила в редакцию 20.05.2025.