

СТА

СОВРЕМЕННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
АВТОМАТИЗАЦИИ

**АСУ ТП НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ:
от контроллеров
к интеллектуальным платформам**

**ИИ БЕЗ ОБЛАКОВ:
вычисления на периферии
и технологический суверенитет**

4'26

Электронная
версия этого
журнала



Два в одном: ПЛК + техническое зрение

Решение на iComputer от Sinsegye



UniVision
ПО технического зрения

EtherCAT®

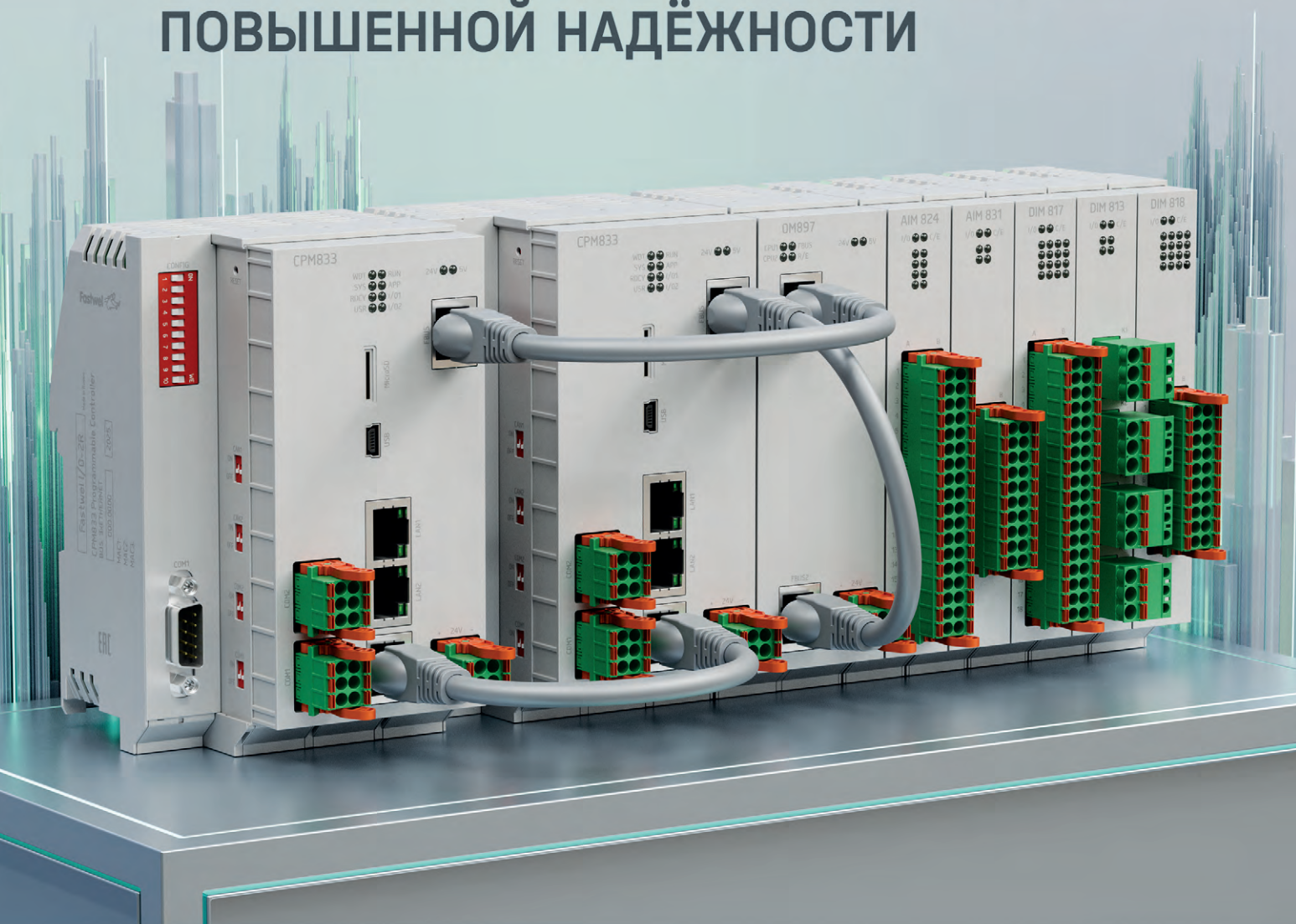
Время
цикла
125µs



www.sinsegye.ru

Fastwel F800

РЕЗЕРВИРОВАННЫЙ ПЛК ДЛЯ АСУ ТП ПОВЫШЕННОЙ НАДЁЖНОСТИ



**МОЩНЫЙ
НАДЁЖНЫЙ
НАШ**

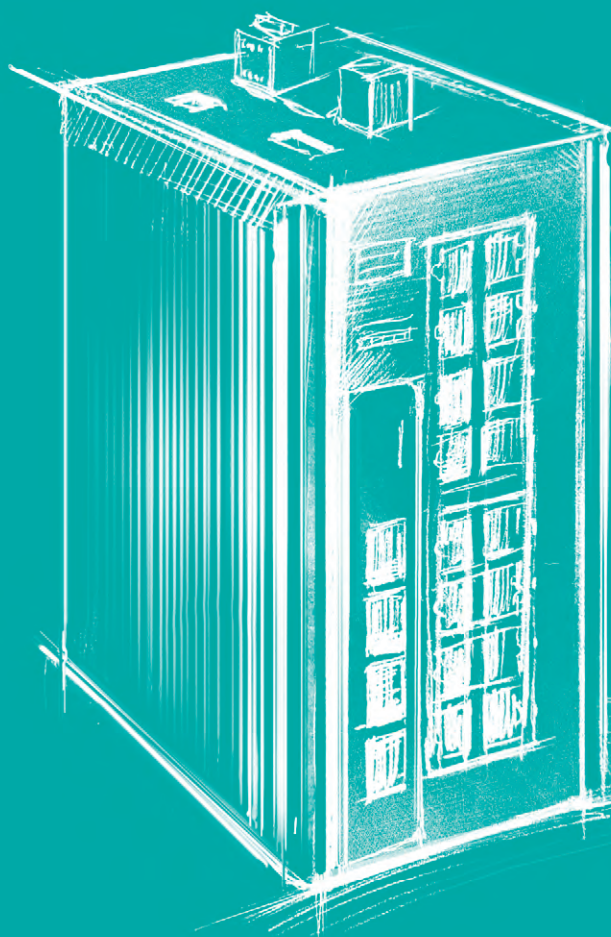
До 8000 каналов ввода-вывода
Время цикла программы от 1 мс

«Горячая» замена модулей ввода-вывода
Поддержка функции резервирования

Разработан
и производится в России



Сетевое оборудование Fastwel NM800



10 GbE
Полностью гигабитная платформа



L2/L3
Широкий набор функционала



IP30/IP65
Различный конструктив
и степень защиты



-40...+70°C
Расширенный диапазон
рабочих температур



Возможна модификация изделий
под серийный проект заказчика



Промышленные коммутаторы Ethernet



ДЛЯ АСУ ТП

NM800

До 4 портов 1/10 Гбит/с SFP+
До 16 портов 10/100/1000Base-T
Поддержка PoE



ДЛЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ
СЕТЕЙ

NM801

4 порта 1/10 Гбит/с SFP+
40 портов 10/100/1000Base-T
Монтаж в стойку 19"



СПЕЦИАЛЬНОГО
НАЗНАЧЕНИЯ

NM802

6 портов 1000Base-BX
10 портов 1000Base-T
Степень защиты IP65





Конференции

ПЕРЕДОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ АВТОМАТИЗАЦИИ 2027

Промышленная автоматизация

Цифровизация производства

Интернет вещей и большие данные

Искусственный интеллект

Информационная безопасность

Автоматизация зданий и инженерных систем

ЕКАТЕРИНБУРГ → 10 февраля

КАЗАНЬ → 31 марта

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ → 25–26 мая

ЧЕЛЯБИНСК → 22 сентября

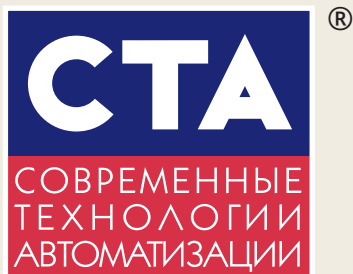
НОВОСИБИРСК → 26 октября



+7 (495) 234-22-10

www.pta-expo.ru

12+



Производственно-практический журнал
«Современные технологии автоматизации»

Главный редактор	С.А. Сорокин
Зам. главного редактора	Ю.В. Широков
Редактор Редакционная коллегия	И.Г. Гуров А.П. Гапоненко, А.В. Головастов, В.К. Жданкин, А.В. Малыгин, В.М. Половинкин, Д.П. Швецов, В.А. Яковлев
Дизайн и вёрстка	А.Ю. Хортова
Распространение	Ю.А. Фенчева
E-mail:	shop@cta.ru
Служба рекламы	Н.А. Антипов
E-mail:	antipov.n.@cta.ru

Учредитель и издатель ООО «СТА-ПРЕСС»
Генеральный директор К.В. Седов
Адрес учредителя, издателя и редакции:
Российская Федерация, 117437, Москва,
ул. Профсоюзная, дом 108, эт. техн., пом. № 1, ком. 67

Почтовый адрес:	117437, Москва, Профсоюзная ул., 108
Телефон:	(495) 234-0635
Web-сайт:	www.cta.ru
E-mail:	shop@cta.ru

Выходит 4 раза в год
Журнал издаётся с 1996 года
№ 4'2026 (121)
Тираж 10 000 экземпляров

Издание зарегистрировано в Комитете РФ по печати
Свидетельство о регистрации № 015020 от 25.06.1996
Подписные индексы по каталогу «Урал-Пресс» –
72419, 81872
ISSN 0206-975X

Свободная цена

Отпечатано: ООО «МЕДИАКОЛОР»
Адрес: Москва, Сигнальный проезд, 19,
бизнес-центр Вэлдан
Тел.: +7 (499) 903-6952

Перепечатка материалов допускается
только с письменного разрешения редакции.
Ответственность за содержание рекламы
несут рекламодатели.
Материалы, переданные редакции,
не рецензируются и не возвращаются.
Ответственность за содержание статей несут авторы.
Мнение редакции не обязательно
совпадает с мнением авторов.
Все упомянутые в публикациях журнала
наименования продукции и товарные знаки являются
собственностью соответствующих владельцев.

© СТА-ПРЕСС, 2026



Здравствуйте, уважаемые друзья!

На смену разрозненным устройствам приходят интегрированные платформы, вычисления переносятся непосредственно на производство, а программные средства управления становятся гибче. При этом требования к надёжности и безопасности остаются неизменными. В новом номере мы собрали решения, определяющие развитие промышленной автоматизации.

Открывает выпуск статья о компании Sinsegue и платформе iComputer, объединяющей вычисления, управление и программное обеспечение на базе ОС MetaOS® и среды разработки MetaFacture®. Возможности ПЛК рассматриваются и в материале об опытной эксплуатации Mitra в Дальневосточном федеральном университете, где проверили управление многокоординатным механизмом и регулирование скорости электродвигателя. Ещё один пример отечественной автоматизации – система управления лазерными установками на базе ПЛК Fastwel I/O.

АО «Нефтеавтоматика» представляет подход к созданию импортонезависимой системы управления предприятием на примере внедрения распределённой системы на Афиписком НПЗ. Тему технологической независимости продолжает обзор периферийных вычислений и мини-ЦОД, объединяющих альтернативные GPU и программное обеспечение в локальную инфраструктуру промышленного ИИ.

Надёжности оборудования посвящены статьи о резервировании N+1 для модульных источников бесперебойного питания и активных барьерах искрозащиты KA5000Ex с гальванической изоляцией для токовых сигналов 4...20 мА. Первая показывает, почему модульность сама по себе не гарантирует резервирования, вторая знакомит с решениями для взрывоопасных производств.

Отдельный блок посвящён интеллектуальным системам и границам автоматизации. Статья «Предиктивная диагностика предиктивной диагностике рознь» поможет отличить полноценные решения от продуктов, лишь использующих это название. Пётр Хвесюк в интервью объясняет, почему участие человека сохраняется даже при технической возможности автономной работы и как обеспечить проверяемость решений. Завершает выпуск материал о Virtual PLC – виртуальных программируемых логических контроллерах. В нём рассматриваются детерминизм управления, удалённые модули ввода-вывода, отказоустойчивость, функциональная безопасность, киберзащита и интеграция ИИ с цифровыми двойниками.

Надеемся, что материалы номера помогут вам найти новые идеи для собственных проектов и оценить перспективы современных технологий.

Читайте журнал в печатном и электронном формате, делитесь публикациями с коллегами и оставайтесь с нами в мире промышленной автоматизации. Благодарим вас за интерес к нашему изданию и желаем успехов в новых проектах!

Сорокин

С. Сорокин

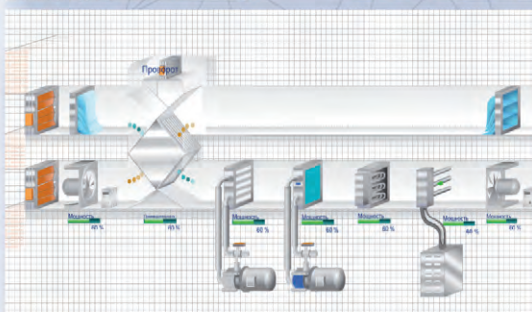
MasterSCADA 4D от IEK DIGITAL —
русская программная платформа
для разработки систем автоматизации
и диспетчеризации в различных
отраслях промышленности



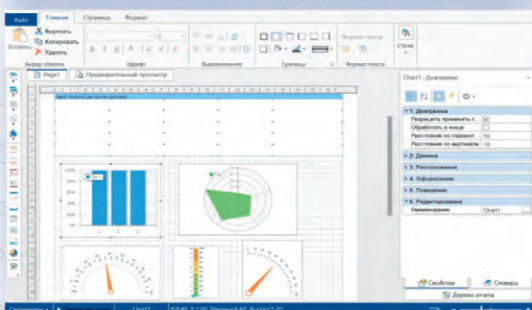
Внесена в реестр
отечественного ПО № 13907



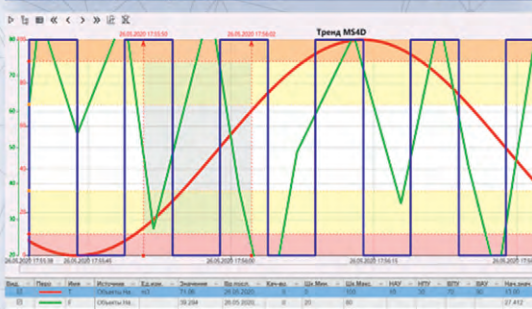
Дистанционные курсы доступны
в Учебном центре ПРОСОФТ



Визуализация
технологического
процесса



Формирование
и выдача
отчетов



Хранение истории
контролируемых
параметров



ФОРМУЛА УСПЕХА

6 Знакомьтесь, Sinsegue: как iComputer меняет концепцию АСУ ТП

Рита Гую

Статья рассказывает о компании Sinsegue и её платформе iComputer, призванной изменить традиционную архитектуру промышленной автоматизации за счёт интеграции вычислений, управления и программного обеспечения. В основе решения лежит двухдоменная ОС MetaOS®, объединяющая системы реального и нереального времени, а также единая среда разработки MetaFacture®. Рассмотрены преимущества практического применения технологии в металлообработке, упаковочном производстве и робототехнике, где интеграция функций позволяет одновременно повысить производительность и снизить стоимость оборудования.

ПРОЕКТЫ

12 ПЛК в движении: две инженерные задачи для оборудования Mitra

Александр Валентьев

Управление многокоординатным механизмом и замкнутое регулирование скорости электродвигателя предъявляют к программируемому логическому контроллеру разные требования. В первом случае критически важны формирование импульсных последовательностей и согласованное управление приводами, во втором – обработка обратной связи, фильтрация сигналов и настройка динамики регулирования. Опытная эксплуатация оборудования Митра (Mitra) в Политехническом институте Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) позволила проверить эти возможности на двух лабораторных стендах.

16 АСУ для лазерных систем на базе отечественного ПЛК

Сергей Шишкин

В статье автор представляет АСУ для лазерных систем на базе отечественного ПЛК Fastwel I/O. Приведены аппаратные решения АСУ для управления составными частями лазерной системы. Обоснован выбор ПЛК.

НОУ-ХАУ

22 Как проверить N+1 до выбора модульного ИБП: алгоритм для шестислотового шасси

Антон Яковлев

Расчёт на трёх исходных величинах позволяет ещё до выбора модели понять, переживёт ли система отказ одного силового модуля на полной нагрузке. Модульность упрощает масштабирование и ремонт, но сама по себе не гарантирует резервирование. Если все слоты заняты модулями, которые нужны для штатной мощности, то при отказе одного блока доступная мощность снизится. Обозначение N+1 следует подтверждать расчётом для конкретной нагрузки и конфигурации.

ОБЗОРЫ

24 От отдельных контроллеров к единой системе управления предприятием: комплексный подход АО «Нефтеавтоматика» к промышленной автоматизации

В статье рассматривается переход от поставки отдельных средств автоматизации к построению импортонезависимой экосистемы управления промышленным предприятием. Приведены архитектурные решения, аппаратные и программные компоненты, а также практический кейс внедрения распределённой системы управления на Афипском НПЗ.

28 Суверенный периферийный интеллект: как мини-ЦОД и открытые платформы меняют правила игры в российской индустрии

Дмитрий Швецов

Ещё пару лет назад словосочетание «искусственный интеллект на производстве» почти автоматически означало аренду облачных GPU, потоковую отправку кадров в чужой дата-центр и ежемесячную абонентскую плату, растущую пропорционально числу рабочих мест и сценариев решения бизнес-задач. Сегодня этот подход трещит по швам. Дело не только в санкционных качелях, сделавших недоступными привычные западные ускорители, и не только в регуляторном прессе закона 152-ФЗ, требующего локализации персональных данных. Главная причина глубже: промышленный ИИ перестаёт быть игрушкой для пилотов и стартапов, а становится критической инфраструктурой. В свою очередь, критическая инфраструктура не может зависеть от внешнего облака, пропускной способности магистрального канала и тарифной политики поставщиков услуг. Ответом на этот вызов стало появление решений в формате мини-ЦОД, вычислительные платформы на альтернативных GPU и управляющий софт в единый локальный контур, который можно развернуть в цеху за одну смену. Именно о таком симбиозе – инженерном, а не маркетинговом, – пойдёт речь в этом обзоре.

34 Активные барьеры искрозащиты KA5000Ex на страже взрывоопасного производства

Алексей Костерин

В статье описываются активные барьеры искрозащиты серии KA5000Ex с гальванической изоляцией, предназначенные для приёма и передачи унифицированных токовых сигналов 4...20 мА.

38 Предиктивная диагностика предиктивной диагностики рознь

Николай Лунцев, технический директор ООО «СЦР»

Рынок систем предиктивной диагностики растёт, предлагаемые решения реализованы с использованием различных инструментов и часто основаны на разных принципах работы, при этом стоимость таких систем варьируется в широком диапазоне. Всё это затрудняет выбор. Более того, некоторые продукты лишь позиционируются как предиктивная диагностика, не являясь ею по сути. Данная статья поможет разобраться в существующих на рынке решениях.

46 Граница автоматизации – нормы, сохраняющие участие человека

Интервью с Петром Хвесюком, руководителем ML-направления NORD CLAN

Бытует мнение, что человека оставляют в контуре автоматизации потому, что без него нельзя. Но нередко процесс просто по привычке проектируют так, чтобы финальное решение обязательно принимал оператор, хотя технически систему уже можно сделать полностью автономной. Пётр Хвесюк рассказал нам, где на самом деле проходит граница автоматизации на производстве, почему её часто задают не технологии, а обязательные нормы и зачем гибридной системе сохранять исходные данные, логировать нестандартные случаи и оставаться проверяемой для человека.

48 Virtual PLC – конец эпохи промышленного компьютера?

Юрий Широков

Виртуальный ПЛК меняет привычную архитектуру промышленной автоматизации, отделяя функцию управления от специализированного аппаратного контроллера. В статье рассматривается влияние виртуализации на детерминизм и работу с удалённым I/O, вопросы отказоустойчивости, функциональной и кибербезопасности. Уделено внимание консолидации вычислительных ресурсов, интеграции AI и цифровых двойников, а также жизненному циклу программного контроллера.



Знакомьтесь, Sinsegue: как iComputer меняет концепцию АСУ ТП

Рута Гуо

Статья рассказывает о компании SINSEGUE и её платформе ICOMPUTER, призванной изменить традиционную архитектуру промышленной автоматизации за счёт интеграции вычислений, управления и программного обеспечения. В основе решения лежит двухдоменная ОС MetaOS®, объединяющая системы реального и нереального времени, а также единая среда разработки MetaFacture®. Рассмотрены преимущества практического применения технологии в металлообработке, упаковочном производстве и робототехнике, где интеграция функций позволяет одновременно повысить производительность и снизить стоимость оборудования.

Вступление

За последние десятилетия промышленная автоматизация сформировала устойчивую архитектуру, в которой различные задачи распределены между специализированными устройствами. ПЛК отвечает за логику управления, промышленный компьютер – за вычислительные задачи и визуализацию, отдельный контроллер – за управление движением, а системы верхнего уровня обеспечивают мониторинг и сбор данных.

Такая структура доказала свою надёжность, однако по мере усложнения производства она становится всё более громоздкой.

Китайская компания Sinsegue предлагает иной подход – объединить значительную часть вычислительных и управляющих функций на одной промышленной платформе. Её iComputer должен совмещать возможности ПЛК, промышленного компьютера, контроллера движения и периферийного вычислительного сервера. В основе платформы лежит двухдоменная операционная система MetaOS, позволяющая одновременно выполнять задачи реального и нереального времени, а единая среда разработки MetaFacture объединяет программирование логики управления, машинного зрения, движения и работы с оборудованием.

Речь идёт не просто о создании ещё одного промышленного компьютера. Концепция Sinsegue предполагает изменение самой архитектуры промышленного управления – переход от набора специализированных устройств к вычислительной платформе, на которой различные функции реализуются программно.

От традиционной автоматизации к интегрированной архитектуре

Классическая промышленная автоматизация строится по многоуровневому принципу: ПЛК, промышленный ком-



Рис. 1. Компьютерная автоматизация от Sinsegue

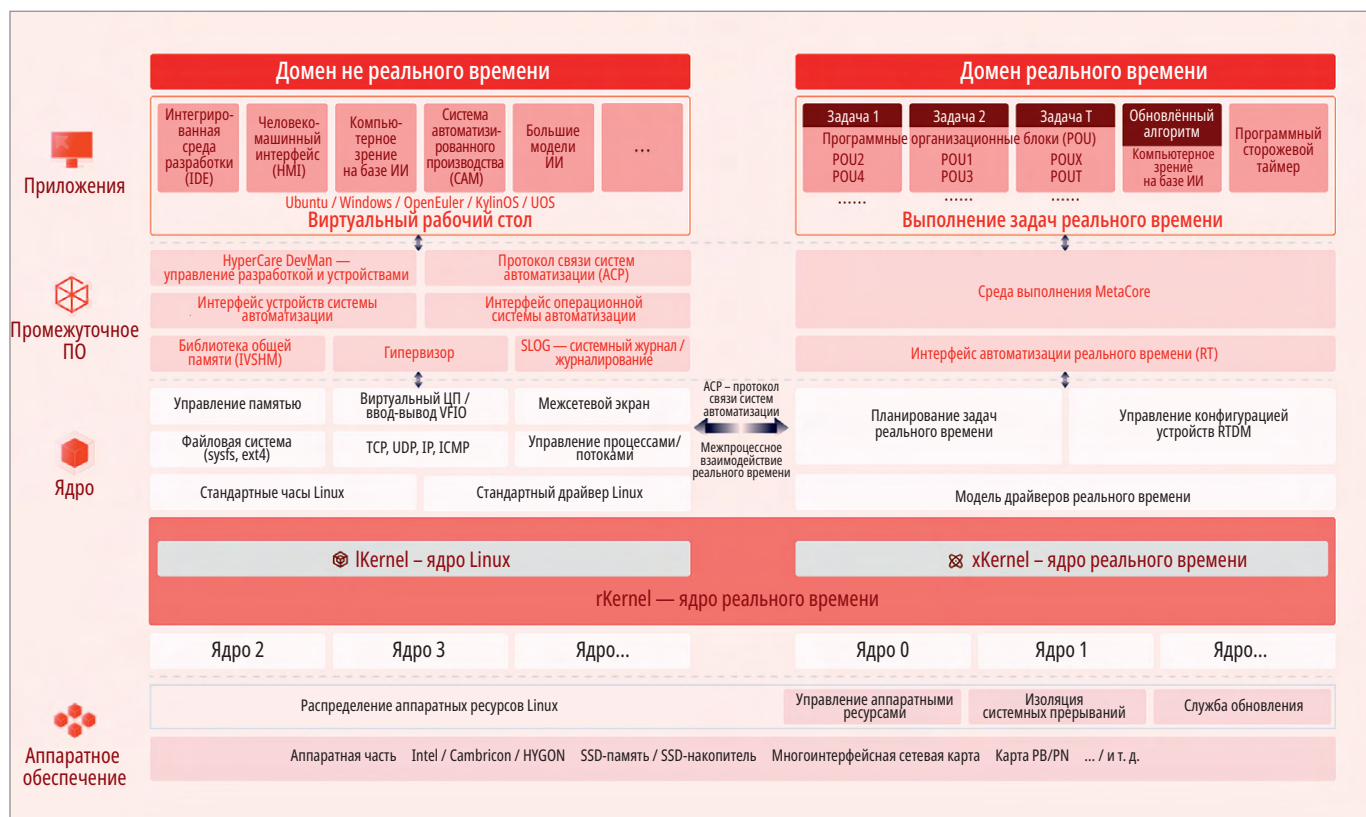


Рис. 2. Двухдоменная операционная система Sinsegue MetaOS®

пьютер, контроллер движения и SCADA-система выполняют разные задачи и обмениваются данными через внешние интерфейсы и промышленные сети.

Такой подход позволяет разделять функции и использовать специализированное оборудование, но имеет и обратную сторону. Чем сложнее становится автоматизированная линия, тем больше устройств требуется объединить в единую систему. Увеличивается количество интерфейсов, усложняются программирование и обслуживание, а обмен данными между отдельными компонентами может создавать дополнительные задержки.

Sinsegue пытается решить эту проблему за счёт интеграции. Один iComputer может одновременно выполнять функции логического управления, управления движением, сбора данных, работы с HMI и периферийных вычислений. В результате часть задач, для которых традиционно требовалось несколько устройств, переносится на единую вычислительную платформу (рис. 1).

Ключевым принципом здесь становится разделение программного обеспечения и аппаратной платформы при одновременной интеграции различных функций. Такой подход компания связывает с концепцией программно-определяемого промышленного управления.

Именно эта идея лежит в основе iComputer: аппаратная платформа ста-

новится универсальной, а необходимые функции управления и вычислений реализуются на ней программными средствами.

Два вычислительных мира на одной платформе

Главная технологическая особенность iComputer – двухдоменная операционная система MetaOS (рис. 2). Её задача заключается в том, чтобы объединить на одной аппаратной платформе две принципиально разные среды: систему реального времени, необходимую для детерминированного управления оборудованием, и обычную вычислительную среду, в которой можно использовать возможности Linux и его программной экосистемы.

В домене реального времени работает ядро rKernel. Оно имеет высокий приоритет обработки прерываний и предназначено для выполнения критичных задач управления. Второй домен работает под управлением Linux и получает доступ к более широкой экосистеме программно-обеспечения.

При этом оба домена находятся на одной аппаратной платформе. Для их взаимодействия используются механизмы высокоскоростного обмена данными, включая общую память и связь на основе тегов.

Такая архитектура должна решить одну из важных проблем интегрирован-

ных систем: обычные вычислительные задачи не должны нарушать работу контура управления. По данным Sinsegue, даже обновление, перезапуск или сбой Linux-домена не должны останавливать работу ядра реального времени.

Для промышленной автоматизации это принципиально важно. Обычная операционная система предоставляет разработчику гораздо более широкие возможности, но её поведение не всегда соответствует требованиям жёсткого реального времени. В классической архитектуре поэтому приходится разделять вычислительную и управляющую части между разными устройствами. MetaOS пытается сохранить преимущества такого разделения, одновременно размещая оба вычислительных домена в одном компьютере.

В результате iComputer может использоваться одновременно как контроллер производственного оборудования и как вычислительная система, работающая с более сложными программными задачами.

Единая среда для программирования оборудования

Но одной аппаратной интеграции недостаточно. Если различные функции по-прежнему требуют отдельных инструментов программирования, архитектур-

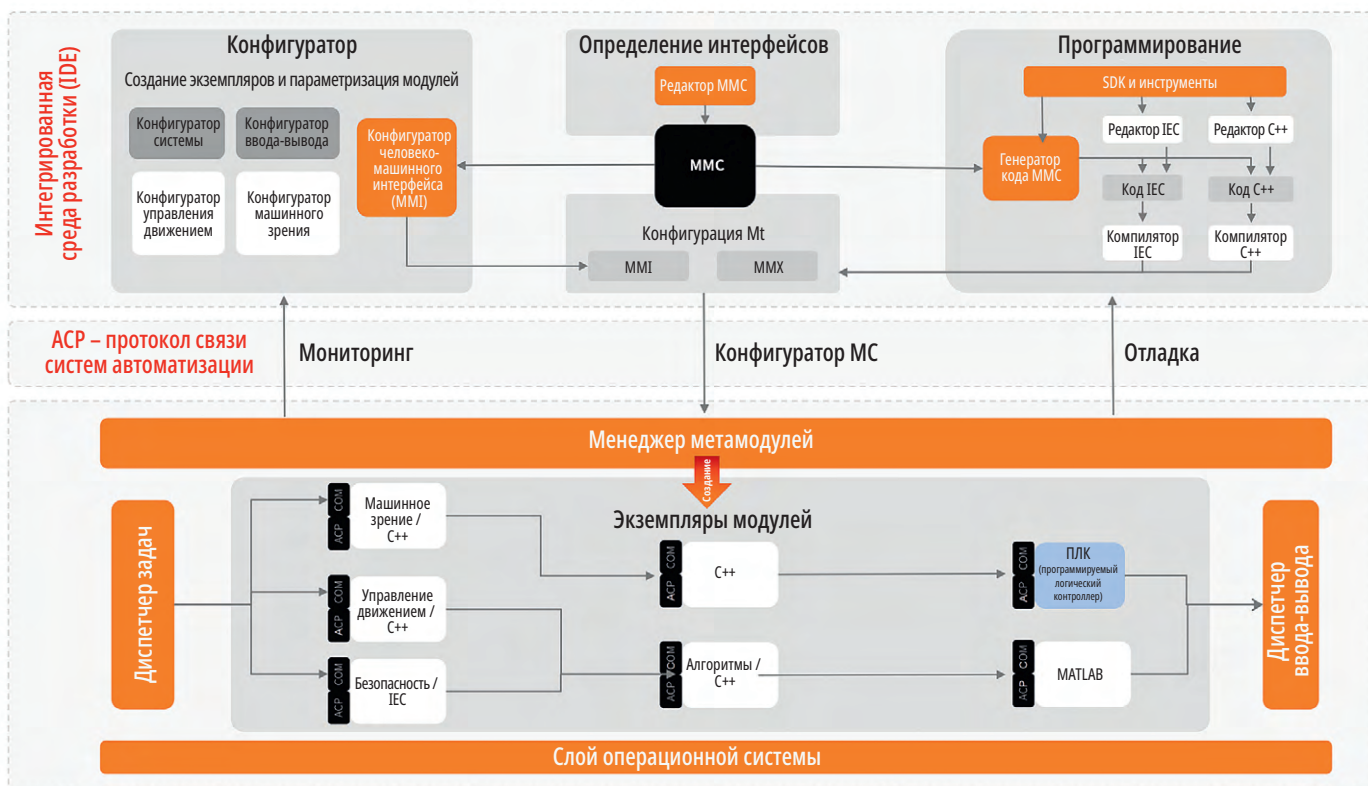


Рис. 3. Унифицированная среда разработки MetaFacture®

ные преимущества новой платформы частично теряются.

Поэтому вторым важным компонентом экосистемы Sinsegue стала собственная среда разработки MetaFacture (рис. 3). Она предназначена для объединения в одном проекте логического управления, машинного зрения, управления движением и взаимодействия с оборудованием.

MetaFacture поддерживает стандарты IEC 61131-3 (международный стандарт, определяющий языки программирования для ПЛК) и C++, позволяя использовать разные языки в рамках одного проекта. При этом компания заявляет о сохранении требований к производительности в задачах реального времени.

Вторая особенность – модульный принцип построения программного обеспечения. Функции реального и нереального времени могут инкапсулироваться в стандартизированные модули, которые затем повторно используются и разворачиваются на других системах.

Третья составляющая – система плагинов. В экосистему входят инструменты UniVision, UniMotion и UniSafe, а также средства управления устройствами и их конфигурирования. Таким образом, MetaFacture должна охватывать не только непосредственное программирование, но и этапы ввода оборудования в эксплуатацию и последующего управления им.

В более широком смысле Sinsegue пытается перенести часть традицион-

ных функций промышленной автоматизации из специализированного оборудования в программную среду. Именно поэтому компания описывает свой подход как движение к программно-определяемому промышленному управлению.

От лаборатории к производственной линии

Любая архитектурная концепция промышленной автоматизации должна подтверждаться не только техническими характеристиками, но и работоспособностью на реальном производстве.

Мы приведём несколько примеров применения iComputer в металлообработке, упаковочной промышленности и робототехнике. В этих случаях компания делает акцент на двух результатах интеграции: сокращении количества аппаратных компонентов и повышении производительности оборудования.

Лазерная обработка: синхронизация нескольких роботов

В одном из проектов iComputer серии SP7020 используется в системе лазерной резки, построенной на совместной работе шестиосевого робота и пятиосевого параллельного SCARA-модуля.

По данным Sinsegue, два режущих модуля могут синхронно управляться в режиме «один к двум», а траектории

оптимизируются с помощью пользовательского G-кода. При этом интеграция управляющей электроники с iComputer позволяет отказаться от части традиционной аппаратной конфигурации. Компания заявляет о снижении стоимости оборудования на 30%.

Система предназначена для обработки небольших деталей: заявленный диапазон диаметра обрабатываемых кругов составляет от 1 до 30 мм. Цикл обработки одного круга – менее двух секунд, заявленная точность резки достигает 0,02 мм.

Здесь интеграция проявляется не только в уменьшении количества компонентов. Объединение управления несколькими исполнительными механизмами позволяет синхронизировать их работу непосредственно в рамках единой системы управления.

Упаковочное оборудование: замена импортной автоматики

Другой пример относится к упаковочной промышленности, где Sinsegue модернизировала оборудование для упаковки сигарет.

В традиционной конфигурации использовались импортные ПЛК и сервосистемы. Компания заменила их на iComputer серии SX51, собственные модули ввода-вывода SRC и сервосистемы SV3.

По данным разработчика, переход на новую архитектуру позволил снизить общую стоимость оборудования на

50%. Производительность упаковочной линии увеличилась с 60 до 70 пачек в минуту – примерно на 16,7%.

Система также поддерживает управление кулачковыми механизмами, электронными редукторами и роботами, а также работу с MQTT и базами данных. Заявленная точность температурного регулирования составляет $\pm 1^\circ\text{C}$.

Этот пример показывает ещё одну сторону концепции iComputer. Универсальная вычислительная платформа позволяет совмещать функции, которые традиционно распределялись между несколькими классами промышленного оборудования.

Машинное зрение и роботизированная сортировка

Ещё один проект связан с роботизированной сортировкой объектов с использованием машинного зрения.

Традиционная система визуального позиционирования может включать промышленный компьютер, отдельную плату управления движением и контроллер машинного зрения. Между этими компонентами происходит обмен данными, что увеличивает аппаратную сложность и может создавать дополнительные задержки.

Sinsegue использовала iComputer SP7010 как единый контроллер для трёх функций: управления движением, машинного зрения и логики ПЛК. Система UniVision взаимодействует с контуром управления движением через протокол ACP.

По данным компании минимальный цикл команд управления движением составляет 125 мкс. Время обработки одной заготовки удалось сократить с 1,4 до 1,2 секунды, а общая производительность увеличилась на 14%.

В этом случае наиболее интересен сам принцип построения системы. Машинное зрение перестаёт быть отдельным вычислительным блоком, передающим результаты другому контроллеру, и становится частью единой вычислительной и управляющей среды.

Что меняется в архитектуре

Все три приведённых примера объединяет один принцип: вместо нескольких специализированных устройств используется единая вычислительная платформа, а различные функции реализуются программно.

Это меняет не столько отдельный контроллер, сколько способ построения автоматизированной системы.

В традиционной архитектуре добавление новой функции часто означает появление нового аппаратного компонента. Необходимость машинного зрения может потребовать промышленного компьютера, управление движением – отдельного контроллера, а интеграция с верхним уровнем – дополнительных коммуникационных модулей.

В концепции iComputer значительная часть этих функций переносится внутрь одной вычислительной системы. При этом MetaOS обеспечивает разделение задач реального и нереального времени, а MetaFacture предоставляет единую среду их разработки.

Именно здесь заключается потенциально наиболее существенное изменение: промышленная автоматизация постепенно может двигаться от архитектуры, в которой возможности системы во многом определяются набором специализированных аппаратных блоков, к более гибкой архитектуре, где большую роль играет программное обеспечение.

Однако это не означает автоматического отказа от ПЛК. Скорее речь идёт о постепенном стирании границ между классами промышленного оборудования. Сам ПЛК в такой архитектуре фактически становится одной из программных функций универсальной промышленной вычислительной платформы.

Персоналии SINSEGUE

За концепцией промышленного интеллектуального компьютера Sinsegue стоит не только команда разработчиков, но и сформировавшаяся в Китайском институте вычислительной техники научная школа. Компания возникла на базе технологий и специалистов Института вычислительных технологий Китайской академии наук (ICT CAS), а её основатель и руководитель доктор Ма Цзюнь работал вместе с исследователями института над объединением вычислительных технологий и промышленного управления.

Ма Цзюнь

Доктор Ма Цзюнь (Ma Jun) (рис. 4) – основатель и генеральный директор Sinsegue. Именно он отвечает за превращение исследовательской концепции промышленного интеллектуального компьютера в коммерческую платформу и линейку продуктов компании. Компания была основана им в 2021 году. Уже в 2022 году Sinsegue представила первую версию iComputer, а в 2023-м выпустила MetaOS 1.0 и начала развивать собственную линейку промышленных интел-



Рис. 4. Доктор Ма Цзюнь, основатель и генеральный директор компании Sinsegue

лектуальных компьютеров. При этом роль Ма Цзюня заключается не только в управлении бизнесом. Он выступает связующим звеном между научной школой Института вычислительных технологий и промышленным применением разработанных технологий.

Ли Гоцзе

Ли Гоцзе (Li Guojie) (рис. 5) – академик Китайской инженерной академии и один из наиболее заметных представителей китайской школы компьютерных систем. Для концепции Sinsegue важна его идея более тесного сближения вычислений и управления. На конференции по интеграции вычислений, связи и управления, в которой участвовала команда Sinsegue, Ли Гоцзе сформулировал принцип, который хорошо объясняет происхождение идеи iComputer: вычислительные технологии должны «опускаться» ближе к периферии и конечным устройствам. В промышленной автоматизации это означает переход от традиционной схемы с отдельными верхними и ниж-



Рис. 5. Ли Гоцзе, академик Китайской инженерной академии, член Всемирной академии наук

ними уровнями управления к более тесному объединению вычислительной и управляющей функций. Именно здесь появляется аналогия с персональным компьютером и смартфоном: вместо того чтобы собирать систему из большого количества специализированных устройств, можно создать универсальную вычислительную платформу, способную выполнять несколько классов задач одновременно. Для промышленности такая идея особенно важна из-за роста вычислительной нагрузки. Современное оборудование должно не только выполнять заранее заданную последовательность операций, но и обрабатывать данные с датчиков, работать с машинным зрением, выполнять алгоритмы оптимизации, управлять движением и взаимодействовать с сетевыми сервисами. Традиционный ПЛК хорошо справляется с детерминированным управлением, но становится лишь одной из частей более сложной системы. Поэтому возникает вопрос: почему бы не объединить вычислительные возможности промышленного компьютера и ПЛК на одной платформе? Именно этот вопрос лежит в основе концепции iComputer.

Сунь Нинхуэй

Сунь Нинхуэй (Sun Ninghui) (рис. 6) – академик Китайской инженерной академии и один из ключевых научных идеологов Sinsegye. Его вклад особенно заметен в более широком взгляде на развитие вычислительных систем. Сунь Нинхуэй рассматривает современный этап развития информационных технологий как переход от виртуального цифрового пространства к тесному взаимодействию вычислений с физическим миром. В такой модели компьютер перестаёт быть изолированным устройством

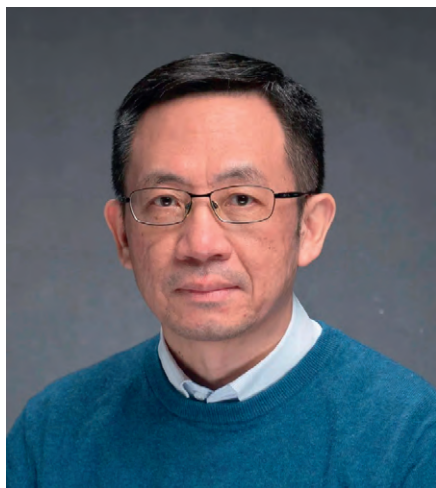


Рис. 6. Сунь Нинхуэй, академик Китайской инженерной академии

обработки информации и становится частью физической системы, которая должна воспринимать окружающую среду, принимать решения и воздействовать на неё.

Для промышленности эта идея имеет прямое продолжение. Производственная линия представляет собой физическую систему, в которой необходимо постоянно замыкать цикл «восприятие – вычисление – решение – действие». Датчики получают информацию, вычислительная система её обрабатывает, алгоритм принимает решение, а исполнительные механизмы изменяют состояние оборудования.

В традиционной архитектуре разные этапы этого цикла могут выполняться на разных устройствах. iComputer, напротив, стремится собрать их в единой вычислительной среде.

Сунь Нинхуэй также обращает внимание на фрагментацию промышленной автоматизации. Разные отрасли и производственные линии используют множество специализированных контроллеров, протоколов и программных комплексов. Универсальная вычислительная платформа с операционной системой должна создать дополнительный уровень абстракции между разнообразным оборудованием и прикладным программным обеспечением.

Отсюда возникает более масштабная идея «вычислимого производства»: производство рассматривается не просто как набор станков и контроллеров, а как вычислительная система, в которой физические процессы становятся управляемыми программными алгоритмами.

Три уровня одной концепции

Таким образом, роли ключевых фигур Sinsegye можно условно разделить следующим образом.

Ли Гоцзе формулирует более широкую научную идею сближения вычислений и управления и рассматривает перенос вычислительных возможностей к периферии как необходимый этап развития интеллектуальных систем.

Сунь Нинхуэй развивает эту идею применительно к архитектуре промышленной системы – от отдельных специализированных контроллеров к универсальной вычислительной платформе и далее к концепции вычислимого производства.

Ма Цзюнь превращает научную концепцию в инженерный и коммерческий продукт: iComputer, MetaOS, MetaFacture

и связанные с ними системы автоматизации. Именно под его руководством Sinsegye перешла от исследовательской базы к серийному выпуску продуктов и их внедрению в промышленность.

Получается своеобразная цепочка: научная концепция → архитектура вычислительной системы → промышленный продукт.

И это, пожалуй, важнее самого перечня должностей. iComputer имеет смысл рассматривать не как очередной промышленный ПК, а как попытку материализовать определённое представление о будущем промышленной автоматизации – мире, где вычисления, управление, искусственный интеллект и физическое оборудование становятся частями единой системы.

От технологий к бизнесу

Для Sinsegye развитие iComputer является не только инженерным проектом. Компания рассматривает платформу как основу для более широкого промышленного бизнеса.

По открытым данным, Sinsegye завершила семь раундов финансирования, общий объём которых превысил 1 млрд юаней. В 2025 году компания привлекла 300 млн юаней в рамках раунда B2. Среди инвесторов названы Lenovo Capital, CAS Capital, CAS Venture Capital, GDD Investment Group и другие организации (рис. 7).

Компания также получила ряд отраслевых наград и вошла в различные рейтинги быстрорастущих технологических предприятий. Однако для оценки самой технологии эти достижения имеют второстепенное значение: гораздо важнее то, насколько заявленные архитектурные преимущества подтверждаются на реальных производственных системах.

Именно поэтому приведённые показатели по лазерной обработке, упаковке и робототехнике представляют больший интерес, чем перечень наград.

Вместо заключения: промышленный компьютер как платформа

Sinsegye позиционирует себя не просто как производителя оборудования. Компания рассматривает iComputer как платформу, которая должна объединить компьютерные технологии, промышленное программное обеспечение и системы управления.

В долгосрочной перспективе робототехники намерены интегрировать в эту архитектуру китайские промышленные



Рис. 7. Инвестиционные партнёры Sinsegye

микросхемы, операционные системы и промышленное ПО. Среди целевых направлений называются производство полупроводников, фотовольтаика, индустрия ЗС, робототехника, инфраструктура ИИ, ветроэнергетика и металлообработка.

Для китайской промышленности такой подход имеет ещё один важный аспект: стремление сформировать более независимый технологический стек, в котором вычислительная платформа, операционная система, программные инструменты и средства промышленной автоматизации контролируются в рамках собственной экосистемы.

Но, независимо от геополитического контекста, техническая идея iComputer представляет интерес сама по себе. Промышленная автоматизация действительно движется в сторону более тесной интеграции вычислений, управления, машинного зрения, сетевых функций и искусственного интеллекта.

Вопрос заключается в том, насколько далеко можно зайти в этой интеграции без ущерба для детерминизма, функциональной безопасности, надёжности и совместимости с существующим промышленным оборудованием.

Именно здесь и будет проходить главный тест концепции iComputer. Если объе-

динение ПЛК, промышленного компьютера, контроллера движения и периферийных вычислений позволит одновременно сохранить надёжность классической промышленной автоматизации и получить гибкость современной вычислительной платформы, подобная архитектура станет одним из направлений развития промышленного управления.

Sinsegye предлагает один из вариантов такого перехода – от набора специализированных контроллеров к единой вычислительной платформе, в которой аппаратные возможности дополняются программно определяемыми функциями. ●

Модули оперативной памяти с ультрасириренным диапазоном рабочей температуры – от -40°C до $+125^{\circ}\text{C}$

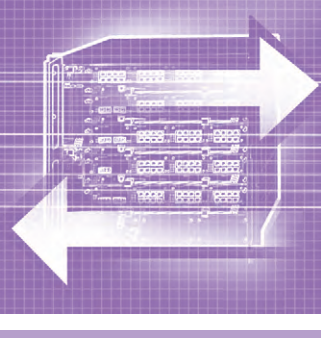
DDR4 SODIMM с рабочей частотой 3200 МГц, ёмкость до 32 Гбайт

-40°C
 $+125^{\circ}\text{C}$

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

+7 (495) 234-06-36
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU



ПЛК в движении: две инженерные задачи для оборудования Mitra

Александр Валентьев

Управление многокоординатным механизмом и замкнутое регулирование скорости электродвигателя предъявляют к программируемому логическому контроллеру разные требования. В первом случае критически важны формирование импульсных последовательностей и согласованное управление приводами, во втором – обработка обратной связи, фильтрация сигналов и настройка динамики регулирования. Опытная эксплуатация оборудования Митра (Mitra) в Политехническом институте Дальневосточного федерального университета (ДВФУ) позволила проверить эти возможности на двух лабораторных стендах.

От контроллера к системе управления

При оценке программируемых логических контроллеров обычно обращают внимание на количество входов и выходов, поддерживаемые интерфейсы, производительность процессора и возможности среды разработки. Однако набор технических характеристик сам по себе не показывает, насколько удобно использовать контроллер для решения

конкретной инженерной задачи. Реальные возможности системы раскрываются при взаимодействии с датчиками, исполнительными механизмами, приводами и операторским интерфейсом.

Именно такой подход был реализован в ДВФУ при опытной эксплуатации оборудования Митра (Mitra), завершившейся в июне 2026 года. На базе поставленного комплекта собрали два стенда: дельта-манипулятор с параллельной кинематикой и систему управления скоростью двигателя постоянного тока с обратной связью (рис. 1).

Эти объекты позволяют рассмотреть два характерных сценария применения ПЛК. Первый связан с управлением движением, когда контроллер должен преобразовывать команды верхнего уровня в последовательности импульсов для исполнительных приводов. Второй предполагает непрерывное наблюдение за управляемой величиной и корректировку воздействия в зависимости от ошибки регулирования.

В обоих случаях контроллер работает не изолированно, а как часть комплексной системы. На результат влияют не только его аппаратные возможности, но и организация обмена данными, характеристики подключённых устройств, алгоритмы обработки сигналов и качество настройки всей установки.

Аппаратная основа

Центральным элементом обоих стендов стал программируемый логический контроллер Mitra logic C1000-24DT. Он имеет 14 дискретных входов, 10 транзисторных выходов, два интерфейса RS-485 и порт Ethernet.

Транзисторные выходы отличают эту модель от исполнений с релейной коммутацией и делают её подходящей для задач, в которых необходимо формировать импульсные управляющие сигналы. Наличие Ethernet позволяет организовать обмен данными с внешним компьютером и другими устройствами, а последовательные интерфейсы дают возможность строить системы с подключением оборудования по соответствующим промышленным протоколам.

Для взаимодействия с оператором использовалась панель Mitra H1000-T070E с 7-дюймовым TFT-дисплеем, двумя последовательными портами COM и Ethernet. В зависимости от реализованного проекта панель обеспечивает отображение параметров, передачу команд и доступ к настройкам системы.

В комплект также вошли блоки питания ECO POWER, клеммы, реле, светосигнальная арматура и монтажные компоненты. Оборудование собрали в шкаф управления и интегрировали в лабораторные установки.

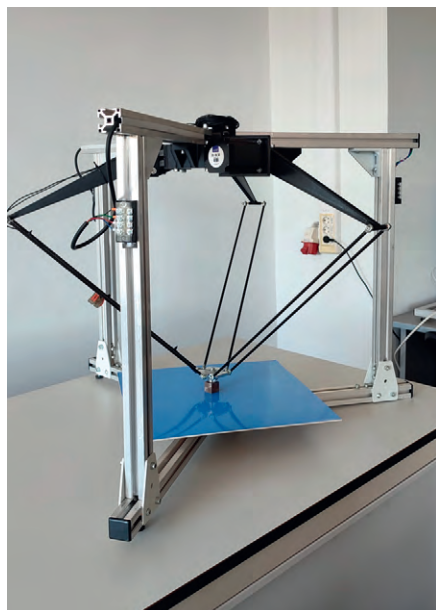


Рис. 1. Дельта-манипулятор с параллельной кинематикой



Рис. 2. Стенд № 1. Слева – шкаф управления дельта-манипулятором; справа – оборудование внутри шкафа



Рис. 3. Стенд № 2. Управление скоростью двигателя с обратной связью

Для программирования контроллера применялась среда DKC PLC Tool, а для работы с панелями оператора предназначена DKC HMI Tool.

В результате объектом испытаний стала не отдельная модель ПЛК, а связка аппаратных средств, программного обеспечения и исполнительных устройств.

Управление движением: дельта-манипулятор

Дельта-манипуляторы относятся к механизмам с параллельной кинематикой. Их подвижная платформа связана с основанием несколькими кинематическими цепями, а её положение определяется согласованным движением приводов. Подобная архитектура применяется там, где требуются быстрые перемещения и повторяемое позиционирование, однако управление таким механизмом предполагает координацию нескольких осей.

В стенде ДВФУ (рис. 2) задействованы три шаговых двигателя, энкодеры и драйверы. Расчёт углов поворота двигателей выполняется на внешнем персональном компьютере. Полученные команды передаются контроллеру C1000 по Ethernet с использованием протокола Modbus TCP.

Такое разделение функций позволяет разграничить расчёт движения и непосредственное управление приводами. Компьютер определяет требуемые параметры движения, а ПЛК принимает команды и формирует управляющие импульсные последовательности. Их генерация выполняется средствами РТО (Pulse Train Output) – функции формирования последовательности импульсов для управления соответствующими исполнительными устройствами.

Панель H1000 используется для отображения текущих параметров и ввода операторских команд. Таким образом, в составе стенда предусмотрены три функциональных уровня: расчёт движения на внешнем компьютере, исполнение управляющих команд контроллером и взаимодействие оператора с системой посредством панели.

Почему важны транзисторные выходы

При управлении шаговым двигателем перемещение определяется последовательностью управляющих импульсов, поступающих на драйвер. Частота импульсов связана со скоростью вращения двигателя, а их количество – с заданным перемещением, если учитывать настройки драйвера и соответствие импульсов шагам двигателя.

Поэтому для такой задачи недостаточно иметь обычные дискретные выходы. Необходимо обеспечить формирование импульсов с требуемыми временными параметрами. Релейные выходы для высокочастотной генерации импульсов непригодны: механическая коммутация ограничивает быстродействие и ресурс контактов.

В испытанном комплексе использовался C1000-24DT с транзисторными выходами и функцией РТО. Это позволило применить контроллер для непосредственного формирования команд управления шаговыми приводами. При этом важно учитывать, что возможность генерировать импульсы ещё не означает автоматической гарантии требуемой точности позиционирования. На результат также влияют характеристики приводов, механика манипулятора, настройки драйверов, качество расчёта

траектории и организация обратной связи.

По результатам работы стенда манипулятор обрабатывал заданные траектории, включая окружности и сплайны. Грузоподъёмность установки составила 1 кг, скорость перемещения достигала 1 м/с, а ускорение было ограничено значением 5 м/с².

Эти параметры характеризуют испытанную мехатронную систему в целом, а не только возможности контроллера. Тем не менее стенд показал, что оборудование можно использовать для изучения управления движением, взаимодействия ПЛК с внешним вычислительным устройством и формирования траекторий для многокоординатного механизма.

Для учебной лаборатории это особенно полезно: студенты могут исследовать весь путь от математического описания движения до реального перемещения исполнительного механизма, наблюдая, как программные команды преобразуются в физическое действие.

Замкнутый контур: регулирование скорости двигателя

Второй стенд (рис. 3) решает другую задачу – поддержание заданной скорости двигателя постоянного тока. Здесь управляющей системе необходимо не просто выдать команду исполнительному устройству, а оценивать фактический результат и корректировать воздействие в зависимости от отклонения.

Для этого применяется замкнутый контур регулирования. Заданная скорость сравнивается с измеренной, определяется ошибка, после чего регулятор рассчитывает управляющее воздействие. Про-

цесс повторяется, пока система работает в режиме регулирования.

В стенде используется энкодер с квадратурными сигналами А и В. Сдвиг фаз между каналами позволяет определять направление вращения и подсчитывать импульсы, по которым вычисляется скорость. Сигналы поступают на высокоскоростные счётчики HSC контроллера C1000.

Использование HSC принципиально важно при работе с импульсными датчиками. При высокой частоте импульсов обычный опрос дискретных входов в программном цикле может приводить к пропускам событий. Специализированная функция высокоскоростного счёта позволяет обрабатывать импульсный поток независимо от обычной последовательности опроса входов, в пределах предусмотренных аппаратных характеристик контроллера.

Программа, разработанная в DKC PLC Tool, рассчитывает ошибку регулирования и формирует ШИМ-сигнал. Далее этот сигнал поступает на драйвер BTS7960, который управляет двигателем. Панель H1000 отображает график переходного процесса и позволяет изменять коэффициенты ПИД-регулятора непосредственно во время эксперимента.

ПИД-регулятор и переходный процесс

ПИД-регулирование объединяет три составляющие управляющего воздействия. Пропорциональная составляющая зависит от текущей ошибки; интегральная учитывает её накопленное значение; дифференциальная реагирует на скорость изменения ошибки.

Правильный выбор коэффициентов позволяет найти компромисс между быстродействием, устойчивостью и перерегулированием. Слишком осторожная настройка может сделать разгон медленным, а чрезмерно агрессивная – вызвать колебания скорости или ухудшить устойчивость системы.

Возможность наблюдать переходный процесс на панели оператора и менять коэффициенты ПИД-регулятора в реальном времени превращает стенд в инструмент для практического исследования теории автоматического управления. Можно сопоставлять изменение настроек с реакцией системы и анализировать, как регулятор ведёт себя при разгоне или изменении заданной скорости.

Однако сам факт использования ПИД-регулятора ещё не гарантирует оптимального переходного процесса.

Результат зависит от параметров двигателя, частоты измерений, периода исполнения программы, характеристик силового драйвера и алгоритма обработки обратной связи.

Согласование уровней сигналов

Одной из практических проблем при сборке стенда стало сопряжение устройств с различными уровнями сигналов: энкодер и драйвер работают с уровнями 5 В, тогда как входы контроллера рассчитаны на 24 В.

Для преобразования сигналов использовались быстродействующие биполярные NPN-транзисторы DTC114ES. Согласно предоставленным результатам испытаний, они позволили передавать импульсы без существенного искажения формы на частотах до 200 кГц.

В подобных цепях преобразование логических уровней нельзя рассматривать исключительно как электрическое согласование. При работе с энкодером необходимо сохранить корректное распознавание фронтов импульсов и, если используется квадратурный сигнал, взаимное временное соотношение каналов. Искажение сигналов способно привести к неправильному подсчёту импульсов, а значит, и к ошибочной оценке скорости двигателя.

Указанные 200 кГц характеризуют заявленный результат работы применённого решения в составе стенда. При проектировании другой системы допустимую частоту необходимо проверять с учётом характеристик конкретного транзисторного каскада, нагрузки, разводки проводников и параметров входов контроллера.

Фильтрация обратной связи и управление мощностью

Ещё одна проблема – высокочастотные шумы в канале обратной связи. Если данные измеренной скорости содержат помехи, регулятор может реагировать на них как на реальные изменения состояния двигателя. Это приводит к нежелательным колебаниям управляющего сигнала и ухудшению плавности работы.

В программе реализовали экспоненциальный фильтр, предназначенный для сглаживания высокочастотных составляющих сигнала. Такой подход позволяет уменьшить влияние шумов без чрезмерного усложнения алгоритма, хотя степень сглаживания необходимо подбирать с учётом требуемого быстро-

действия: слишком сильная фильтрация вносит задержку в измерительный канал.

Дополнительно применили алгоритм адаптивного ограничения мощности. Он позволяет учитывать режим работы двигателя и ограничивать управляющее воздействие в ситуациях, когда избыточная мощность может ухудшить плавность движения. В рассматриваемой системе это особенно важно на низких оборотах, где резкие изменения управляющего сигнала заметно влияют на движение.

По данным испытаний, система работала на низких оборотах без рывков и обеспечивала разгон двигателя до номинальной скорости 3000 об/мин.

Таким образом, стенд демонстрирует не только реализацию ПИД-регулирования на ПЛК, но и необходимость решения целого комплекса сопутствующих задач: регистрации импульсов, преобразования уровней сигналов, фильтрации помех и ограничения управляющего воздействия. Именно совокупность этих решений определяет поведение замкнутой системы.

Два стенда – разные требования к контроллеру

Обе установки построены на одной аппаратной платформе, но предъявляют к ней разные требования.

В системе управления дельта-манипулятором ключевыми являются генерация импульсов РТО, взаимодействие с внешним компьютером по Modbus TCP и согласованное выполнение команд управления движением. На первый план выходят характеристики выходных каналов и возможности интеграции.

В системе регулирования скорости критически важны обработка импульсной обратной связи посредством HSC, исполнение алгоритма управления, формирование ШИМ-сигнала и корректная работа с измерительными данными. Здесь особенно заметна зависимость результата от периферийных цепей, программных фильтров и настройки регулятора.

Такое сравнение показывает, почему оценивать ПЛК только по количеству входов и выходов недостаточно. Для одного проекта решающим фактором становится способ формирования управляющих импульсов, для другого – характеристики счётчиков, организация обратной связи и возможности реализации алгоритмов регулирования.

При этом оба стенда сохраняют возможность расширения: к ним можно добавлять датчики и усложнять управляющие алгоритмы. Это важно не только для учебных экспериментов, но и для постепенного развития лабораторных комплексов, когда на одной платформе последовательно осваиваются базовые операции, сетевой обмен, управление приводами и более сложные алгоритмы.

Интеграция и среда разработки

В обоих проектах оборудование Митра (Mitra) использовалось в составе системы, включающей контроллер, операторскую панель и внешние устройства. Для промышленной автоматизации такой подход имеет принципиальное значение: даже функционально развитый контроллер должен быть удобен в программировании и совместим с остальными элементами установки.

В стенде с манипулятором обмен командами между компьютером и ПЛК выполнялся по Modbus TCP через Ethernet. В перечне возможностей оборудования также рассматривается использование Modbus RTU. Однако предоставленное описание подробно подтверждает практическое применение именно Modbus TCP; отдельные результаты испытаний по Modbus RTU не приводятся.

Разделение средств разработки – DKC PLC Tool для контроллера и DKC HMI Tool для панели оператора – позволяет создавать управляющую программу и пользовательский интерфейс как отдельные, но взаимодействующие части проекта. Для инженера это означает возможность организовать обработку данных и управление исполнительными механизмами в ПЛК, одновременно обеспечив оператору доступ к параметрам и настройкам.

Наличие Ethernet и последовательных интерфейсов расширяет варианты построения системы, однако практическая интеграция всегда зависит от поддержки конкретных протоколов, их реализации в используемых устройствах и правильной настройки обмена данными.

Образовательная лаборатория как площадка инженерной проверки

По итогам опытной эксплуатации ДВФУ отметил, что оборудование Митра (Mitra) используется в учебном процессе,

в том числе при выполнении курсовых и дипломных работ. Университет также указал на его применимость для исследования управления движением, сетевой интеграции и цифровой обработки сигналов.

Для образования важна возможность работать с полноценными системами, в которых программная логика непосредственно связана с физическим объектом. На одном стенде можно изучать кинематику, траектории и управление шаговыми приводами, на другом – обратную связь, импульсные измерения, динамику регулирования и методы подавления шумов. При этом используются реальные сигналы датчиков и реальные исполнительные механизмы, а изменения программы отражаются на поведении установки.

Масштабируемость таких стендов позволяет переходить от готовых учебных примеров к самостоятельным инженерным проектам: подключать дополнительные датчики, изменять архитектуру управления и усложнять алгоритмы. Для подготовки инженеров это важнее простого знакомства с интерфейсом программирования, поскольку позволяет исследовать взаимосвязь аппаратных характеристик, алгоритмов и поведения системы.

ДВФУ рекомендовал использовать оборудование Митра (Mitra) как в лабораторных комплексах с расширенными возможностями, так и в промышленных автоматизированных установках, создаваемых по заказам предприятий.

Что необходимо учитывать при выборе оборудования

Опыт двух стендов подтверждает работоспособность оборудования Митра (Mitra) в рассмотренных сценариях, но не снимает необходимости проверять соответствие контроллера требованиям конкретного проекта.

Для систем управления движением следует оценить частотные возможности РТО, характеристики транзисторных выходов, требуемое число осей, алгоритмы синхронизации и требования к точности.

Если проект предполагает управление несколькими приводами с жесткими временными ограничениями, необходимо отдельно проверить допустимые задержки и детерминизм выполнения управляющих операций.

Для систем регулирования важны характеристики HSC, допустимая часто-

та импульсов, возможности реализации алгоритмов управления, период обновления выходного сигнала и качество измерительного канала. Следует также проверить электрическую совместимость энкодеров, драйверов и входов ПЛК, поскольку ошибки сопряжения способны свести на нет преимущества самого контроллера.

Наконец, успешная работа лабораторного стенда не эквивалентна длительным промышленным испытаниям. Перед внедрением оборудования в производство необходимо учитывать условия эксплуатации, электромагнитную совместимость, устойчивость к помехам, требования к надежности и функциональной безопасности, доступность технической поддержки и требования к жизненному циклу системы.

Это не уменьшает значения проведенной работы. Напротив, лабораторный стенд представляет собой удобный способ проверить необходимые функции на реальной задаче до перехода к промышленному внедрению.

От учебного стенда к промышленной установке

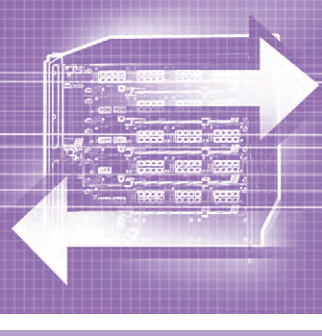
Опытная эксплуатация в ДВФУ показала, что оборудование Митра (Mitra) можно использовать для решения двух инженерно различных задач: управления движением многокоординатного механизма и регулирования скорости двигателя с обратной связью.

В первом случае были востребованы генерация импульсов РТО, транзисторные выходы и сетевой обмен с внешним компьютером.

Во втором – высокоскоростной счет, обработка сигналов энкодера, ПИД-регулирование, фильтрация помех и управление посредством ШИМ.

Практическая ценность этих примеров заключается в том, что они показывают работу оборудования в составе целостных систем. Результат определяется не одной функцией ПЛК, а согласованной работой аппаратных компонентов, программных алгоритмов, интерфейсов и исполнительных устройств.

Для специалистов, выбирающих платформу промышленной автоматизации, подобные проекты дают исходную точку для предметной оценки оборудования. Следующий шаг – сопоставить выявленные возможности с требованиями конкретной установки и проверить те параметры, которые критичны для данного производства. ●



АСУ для лазерных систем на базе отечественного ПЛК

Сергей Шишкин

В статье автор представляет АСУ для лазерных систем на базе отечественного ПЛК FASTWEL I/O. Приведены аппаратные решения АСУ для управления составными частями лазерной системы. Обоснован выбор ПЛК.

Введение

При разработке автоматизированной системы управления АСУ для лазерных систем ЛС учитываются требования по назначению, унификации, удобству эксплуатации и др. Вышеуказанные требования, как правило, приведены в ТЗ на изделие или в частном ТЗ на АСУ. Кроме того, разработчик, конечно же, учитывает свой и коллективный опыт разработки и эксплуатации разработанных и эксплуатируемых АСУ, встроенных

в ранее разработанные или аналогичные изделия. Эти знания, требования и опыт трансформируются в следующие принципы:

- АСУ должна быть выполнена на базе элементов и компонентов тех организаций, производственная политика которых предсказуема в долгосрочной перспективе. Например, нет смысла делать АСУ УД на базе ПЛК, если он будет снят с производства через год. Ситуация ещё более усугубится, если

на фирме-изготовителе не будет никакого технологического запаса. В идеале изготовитель должен информировать потребителя о своей производственной политике и об изменениях в своей производственной программе, а также о технологическом запасе, который будет создан при изменении производственной программы;

- блочно-модульный принцип построения аппаратной части АСУ с возможностью наращивания функций

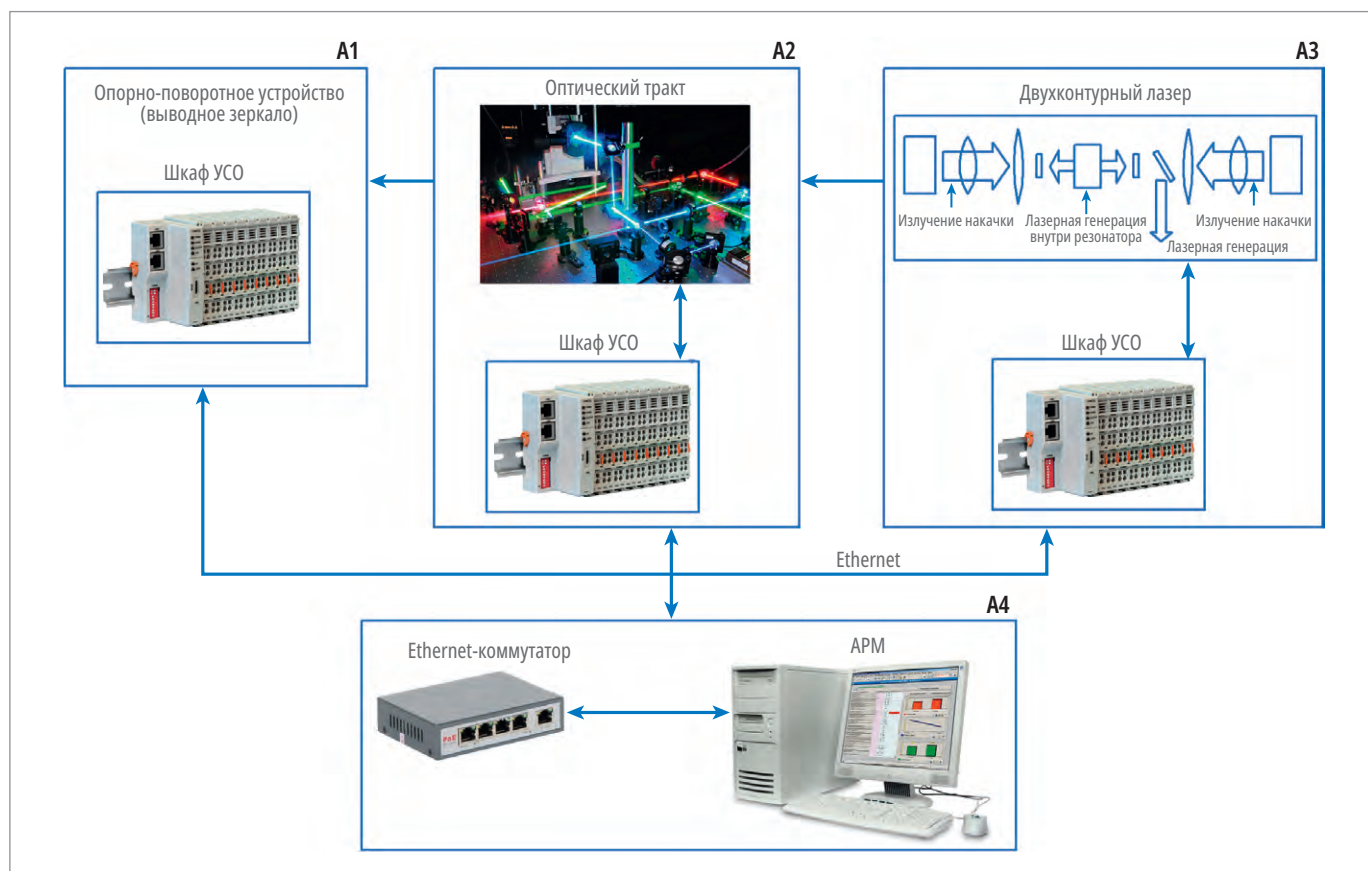


Рис. 1. Структурная схема АСУ ЛС

системы. Это не сводится только к банальному построению из идентичных блоков и модулей более сложных частей. Типовой модуль для решения локальной задачи в изделии представляет собой аппаратно-программный мини-комплекс, аппаратная часть которого может быть «разбросана» по шкафам УСО;

- построение АСУ на единой программно-аппаратной базе;
- аппаратная часть измерительных каналов должна быть включена в госреестр средств измерений;
- построение профессионального пользовательского интерфейса, обеспечивающего обучение персонала;
- использование типовой, универсальной, интегрированной среды разработки, дающей возможность:
 - применять готовые встроенные графические элементы для пользовательского интерфейса;
 - задействовать готовые и бесплатные библиотеки функций и функциональных блоков для часто встречающихся задач;
 - применять типовые драйверы и программы;
 - применять языки высокого уровня из стандарта МЭК 61131-3 (ST, IL, LD, FBD, SFC) и трансляцию разработанного приложения в исполняемый код процессора контроллера;
 - загружать приложения в контроллер и удалённую отладку, управление исполнением приложения в контроллере;
 - применять сервисные функции, включая диагностирование исполнения, загрузку и выгрузку файлов, трассировку значений переменных и т.д.;
 - отображать входные и выходные переменные разрабатываемого приложения на сетевые сообщения и каналы модулей ввода-вывода.

Рассмотрим более подробно ЛС как объект автоматизации. Структурная схема АСУ ЛС представлена на рис. 1.

Приведены три основные составные части ЛС: выводное зеркало А1 (или опорно-поворотное устройство); оптический тракт А2, двухконтурный лазер А3. В состав каждой части входит свой шкаф устройства связи с объектом УСО. В аппаратно-программном комплексе ЛС можно выделить четыре уровня (деление весьма условное, и в каждом уровне могут быть составные части).

Первый уровень: первичные средства измерения и контроля (видеокамеры, датчики температуры, давления; датчи-

ки углового положения; датчики измерителей мощности, лазерного излучения; лазеры юстировочные и др.), шаговые двигатели в линейных трансляторах и поворотных зеркалах, концевые выключатели и пр.

Второй уровень: вторичные преобразователи, нормирующие усилители, блоки управления исполнительных устройств.

Третий уровень: устройство связи с объектом, контроллер узла шины (контроллер узла сети), модули аналогового и дискретного ввода, контроллеры шаговых двигателей.

Четвёртый уровень: автоматизированное рабочее место оператора (АРМ оператора). Конструктивно элементы первого уровня расположены на оптических столах или входят в измерительные сборки. Элементы и компоненты второго и третьего уровня могут быть размещены в шкафах УСО.

Выбор ПЛК

Задачи автоматизации становятся более сложными и комплексными, в связи с этим растут требования и к ПЛК, в частности, к их коммуникационным возможностям, к удобству программирования и эксплуатации. При выборе ПЛК, да и, вообще говоря, средств автоматизации для распределённых систем управления на первое место выходит не только соотношение цена/качество, но и срок поставки, гарантии поставщиков, сервисное обслуживание, техническая поддержка. Необходимо также, чтобы все комплектующие, входящие в канал измерения, были заказаны у организаций, которые могут поставить откалиброванные каналы измерения с необходимыми нормативными документами (паспорта на комплектующие, сертификаты соответствия, свидетельство о поверке и т.д.). Применение программируемых логических контроллеров ПЛК – это применение готового решения для разработки и изготовления АСУ, поэтому его выбор является первоочередной задачей. Выбирая ПЛК при разработке аппаратной части АСУ, нужно учитывать все нюансы и обращать внимание буквально на всё. Решительно на всё. Даже на нюансы в конструкции ПЛК. Например, замена батареек в ПЛК с выполнением демонтажа его корпуса – это нетехнологично. Разъём для интерфейса RS-232 типа RJ-45, а не DB-9 – это тоже недостаток.

Целесообразно, чтобы в применяемом ПЛК был реализован принцип модульности.

Совокупность модулей системы, связанных с конкретным объектом автоматизации, образует узел системы сбора и обработки данных. Такой узел может быть установлен в непосредственной близости от объекта автоматизации, что позволяет сократить длину соединительных проводов, упростить монтаж оборудования, а также устраняет необходимость применения кросс-панелей. Приведём самые применяемые, «самые ходовые» модули ввода-вывода, которые могут входить в состав ПЛК ЛС:

- контроллеры узла сети;
- модули дискретного ввода;
- модули дискретного вывода;
- модули аналогового ввода;
- модули аналогового вывода;
- модули измерения температуры;
- модули сетевых интерфейсов;
- модули питания.

АСУ ЛС построена на базе ПЛК Fastwel. Рассмотрим особенности её применения в ЛС.

При применении ПЛК Fastwel I/O решается задача совместимости с различными промышленными сетями передачи данных. На аппаратном уровне для перехода на другую сеть достаточно сменить контроллер узла сети, при этом модули ввода-вывода вместе с присоединёнными к ним датчиками не требуют замены и демонтажа.

Идеология Fastwel I/O основана на предоставлении разработчику максимальных возможностей в конфигурировании, наращивании и обслуживании системы. Контроллеры узла сети обеспечивают возможность исполнения прикладных программ, реализующих алгоритмы сбора, обработки данных и управления, разработанных при помощи интегрированной среды разработки CODESYS V3 [1].

В настоящее время в серии Fastwel I/O имеется несколько моделей контроллеров узла сети со встроенными сетевыми интерфейсами CAN, RS-485 и Ethernet; 13 моделей модулей дискретного ввода/вывода; 11 моделей модулей аналогового ввода/вывода; 4 модели модулей питания, а также несколько моделей вспомогательных модулей (модуль оконечной нагрузки шины, модуль интерфейсный RS-485 и др.). Номенклатура модулей Fastwel I/O оптимизирована таким образом, чтобы быть минимально достаточной для большинства возможных применений. Модули обеспечивают подключение датчиков и исполнительных устройств, а также содержат цепи гальванической развязки и индикации

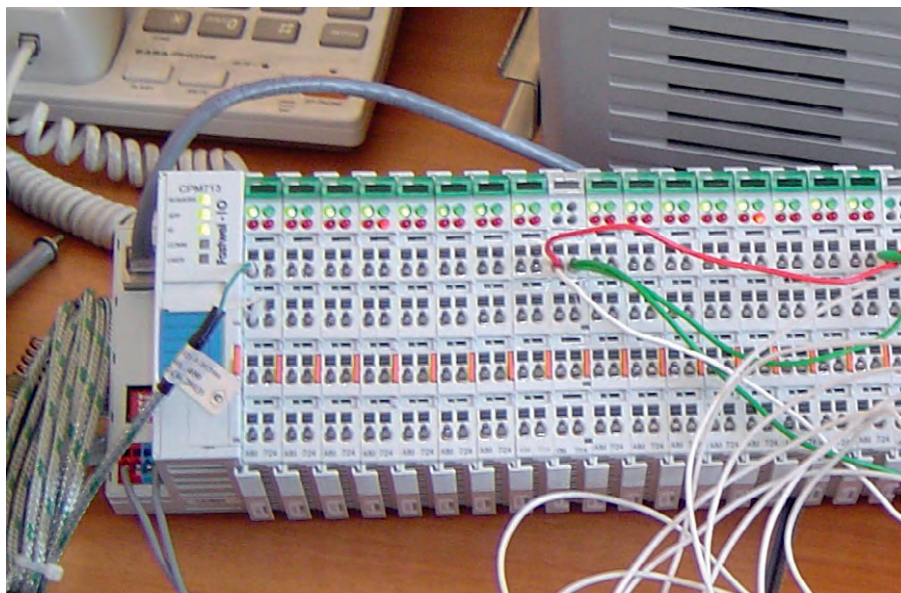


Рис. 2. Контроллер узла сети с модулями ввода/вывода

состояния. Описание, технические характеристики ПЛК Fastwel I/O приведены на сайте компании [1].

На рис. 2 приведена «батарея» контроллера узла сети с модулями ввода/вывода (ПЛК Fastwel I/O), собранная для отладки СПО.

Узел сети состоит из контроллера узла сети, модулей ввода-вывода и вспомогательных модулей. Контроллер узла сети служит для исполнения прикладной программы, разработанной в среде CODESYS V3, обмена данными с модулями ввода-вывода, а также информационного обмена по внешней сети. Он интегрирует возможности программируемого логического контроллера и подчиненного узла сети. Контроллер узла сети имеет два основных интерфейса: внешний и внутренний. Внешний интерфейс учитывает особенности и обеспечивает выполнение требований конкретной полевой шины (CAN, Modbus RTU, Modbus TCP). Внутренний интерфейс, специально разработанный для системы Fastwel I/O, – это шина FBUS. Он обеспечивает обмен данными и служебной информацией

между модулями ввода-вывода и контроллером узла сети. Контроллер узла сети имеет также служебный интерфейс и индикаторы состояния. В узле сети реализована очень функциональная система подачи питающих напряжений на датчики и исполнительные устройства.

АСУ одного каскада двухконтурного лазера

Рассмотрим работу одного каскада двухконтурного лазера (далее лазера). На рис. 3 приведена схема оптическая структурная лазера.

Лазер включает в себя: лазерную камеру 1 с внутренней полостью с прозрачными торцевыми окнами, источники излучения накачки 2 на основе лазерных диодов, оптические средства формирования и фокусировки излучения накачки во внутреннюю полость камеры, состоящие из двух линз – сферической 3 и цилиндрической 4. При этом поток активной среды организован в замкнутом герметичном контуре, через полость лазерной камеры в направлении, поперечном к оптической

оси камеры, при помощи нагнетателя. Плоскопараллельный резонатор, состоящий из двух зеркал: высоко отражающего зеркала 5, выходного зеркала 6 и выводящего излучение генерации зеркала 7. Направление лазерного излучения и оптическая ось камеры совпадают.

Структурная схема АСУ лазера на базе ПЛК Fastwel I/O приведена на рис. 4.

Выделим основные системы, модули и блоки, работа которых автоматизирована и встроена в АСУ лазера:

- система обогрева рабочего контура и контура обдува;
- блок управления нагнетателем рабочего контура БУН1;
- блок управления нагнетателем контура обдува БУН2;
- модуль управления источниками диодной накачки;
- система термостабилизации камеры лазерной и источников диодной накачки.

Модульный принцип построения и номенклатура модулей ввода-вывода ПЛК Fastwel I/O позволяет оптимизировать аппаратную структуру для конкретной составной части изделия.

Рассмотрим применение модулей Fastwel для вышеуказанных систем АСУ. В системе обогрева рабочего контура и контура обдува будут задействованы модули следующих типов:

- контроллер универсальный программируемый СРМ723-01;
- модуль ввода сигналов с термопар AIM72401;
- 8-канальный модуль дискретного вывода DIM71801;
- 2-канальный модуль релейного выхода DIM71301.

Рабочий контур и контур обдува разделены на отдельные участки обогрева. AIM72401 и DIM71801 задействованы при организации ПИД-регулирования для поддержания заданной температуры на каждом участке обогрева. Понятно, что термопары, контролирующие температуру, подключаются к модулям AIM72401. Модули DIM71801 управляют нагревателями через твердотельные реле.

Для построения блоков управления нагнетателями БУН1 и БУН2, модулями управления источниками диодной накачки, системой термостабилизации камеры лазерной и источников диодной накачки можно применить готовые решения с сетевыми интерфейсами RS-485, Ethernet, CAN и др. и протоколами передачи Modbus: Modbus ASCII, RTU, TCP и др. Например, для БУН1 и БУН2 можно задействовать преобразователи частоты

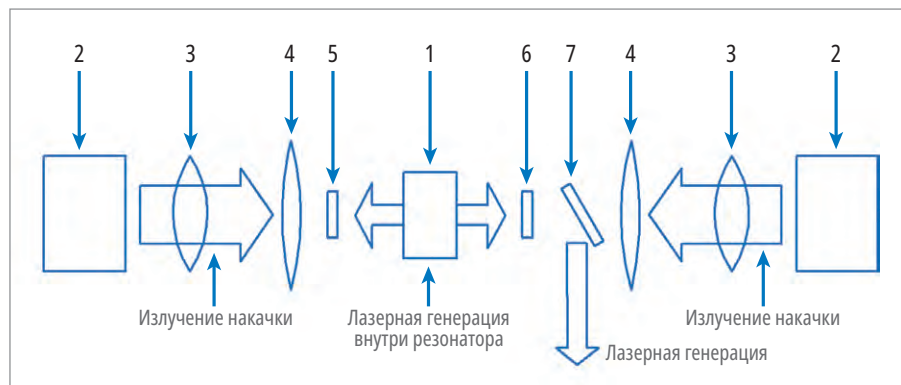


Рис. 3. Схема оптическая структурная лазера

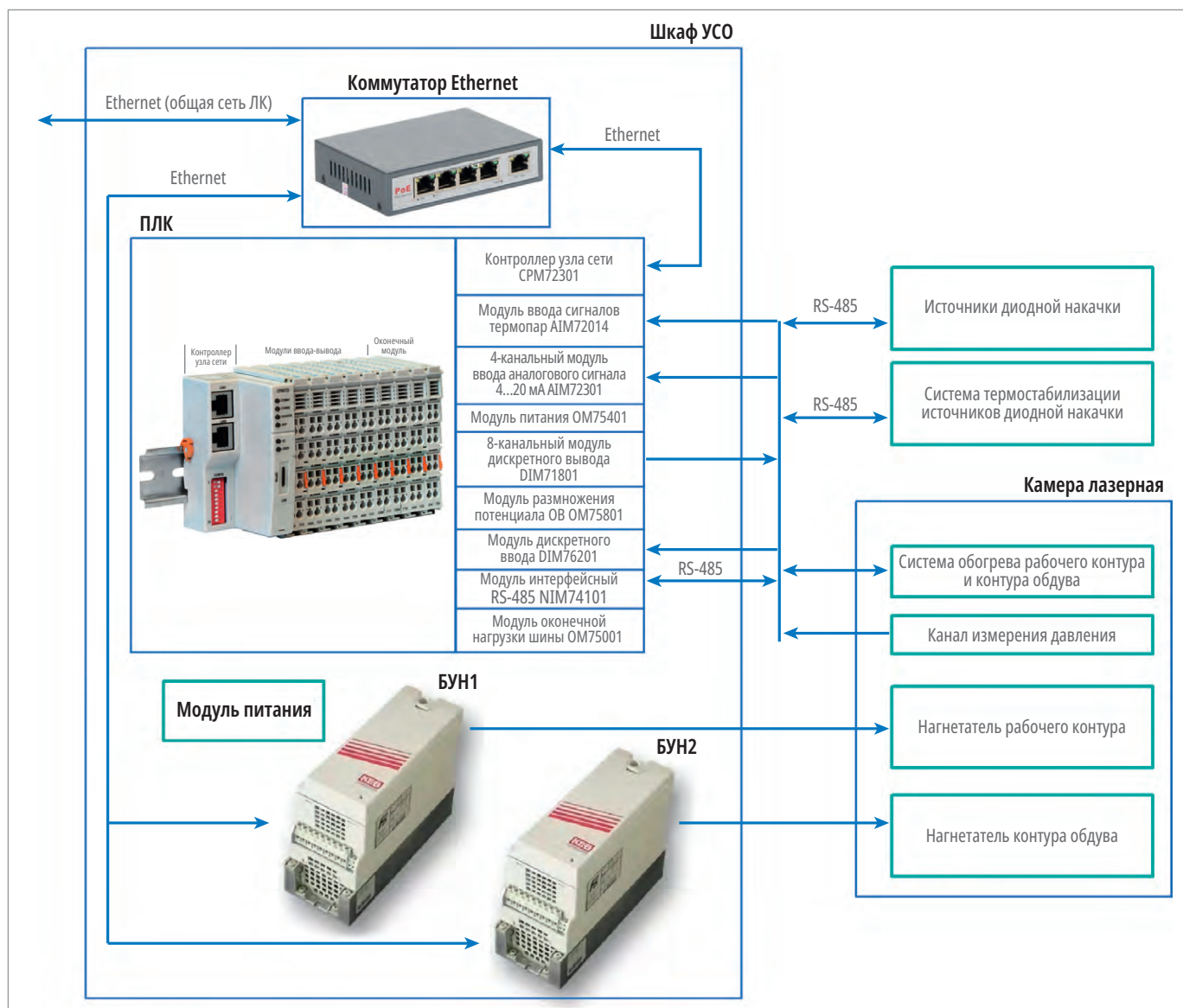


Рис. 4. Структурная схема АСУ лазера на базе ПЛК Fastwel I/O

для управления асинхронным электродвигателем. Программных ресурсов в ПЛК более чем достаточно для управления всеми вышеуказанными системами. Рабочая программа «защита» в CRM723-01.

С автоматизированного рабочего места оператора АРМ можно удалённо контролировать и управлять работой лазера. Его параметры настройки могут корректироваться с АРМ, а откорректированные параметры можно сохранить в энергозависимой памяти (ЭП) ПЛК. С АРМ можно обновлять программное обеспечение ПЛК, просмотреть и архивировать параметры, сохранить их в файл или загрузить их из файла.

Работа лазера происходит следующим образом. После подачи напряжения ПЛК инициализируется исходными параметрами, необходимыми для поддержки заданных режимов работы лазера. Причём если в ЭП ПЛК имеются параметры, отличные от значений, записанных на

этапе разработки алгоритма программного обеспечения, то ПЛК инициализируется параметрами из ЭП ПЛК. После инициализации параметров ПЛК осуществляет проверку фактических параметров работы оборудования лазера. Сбор фактических параметров работы выполняется ПЛК путём опроса модулей аналогового и дискретного ввода Fastwel и данных, получаемых с БУН1 и БУН2. Если фактические параметры не соответствуют заданным, то ПЛК пытается устранить несоответствие. Если устранить несоответствие не получилось, то ПЛК передаёт на АРМ сигнал о неисправности оборудования и записывает фактические параметры для последующего анализа в ЭП ПЛК. Контроль состояния оборудования лазера выполняется ПЛК с момента загрузки заданных параметров до момента отключения питания. Переключение режимов лазера может быть организовано с виртуального выносно-

го пульта управления СПО АРМ. Один каскад лазера – это один контроллер узла сети. Увеличение количества каскадов лазера ведёт соответственно к увеличению количества контроллеров узла сети в лазере.

Применение ПЛК для создания автоматизированной системы параллельного и непрерывного контроля и управления одновременно несколькими технологическими процессами и исполнительными функциональными узлами двухконтурного лазера в режиме реального времени приведено в [2].

АСУ оптического тракта

Оптический тракт в ЛК выполняет следующие основные функции:

- реализация оптических резонаторов для получения лазерных излучений;
- формирование светового пучка с высокой плотностью мощности (фокусировка);

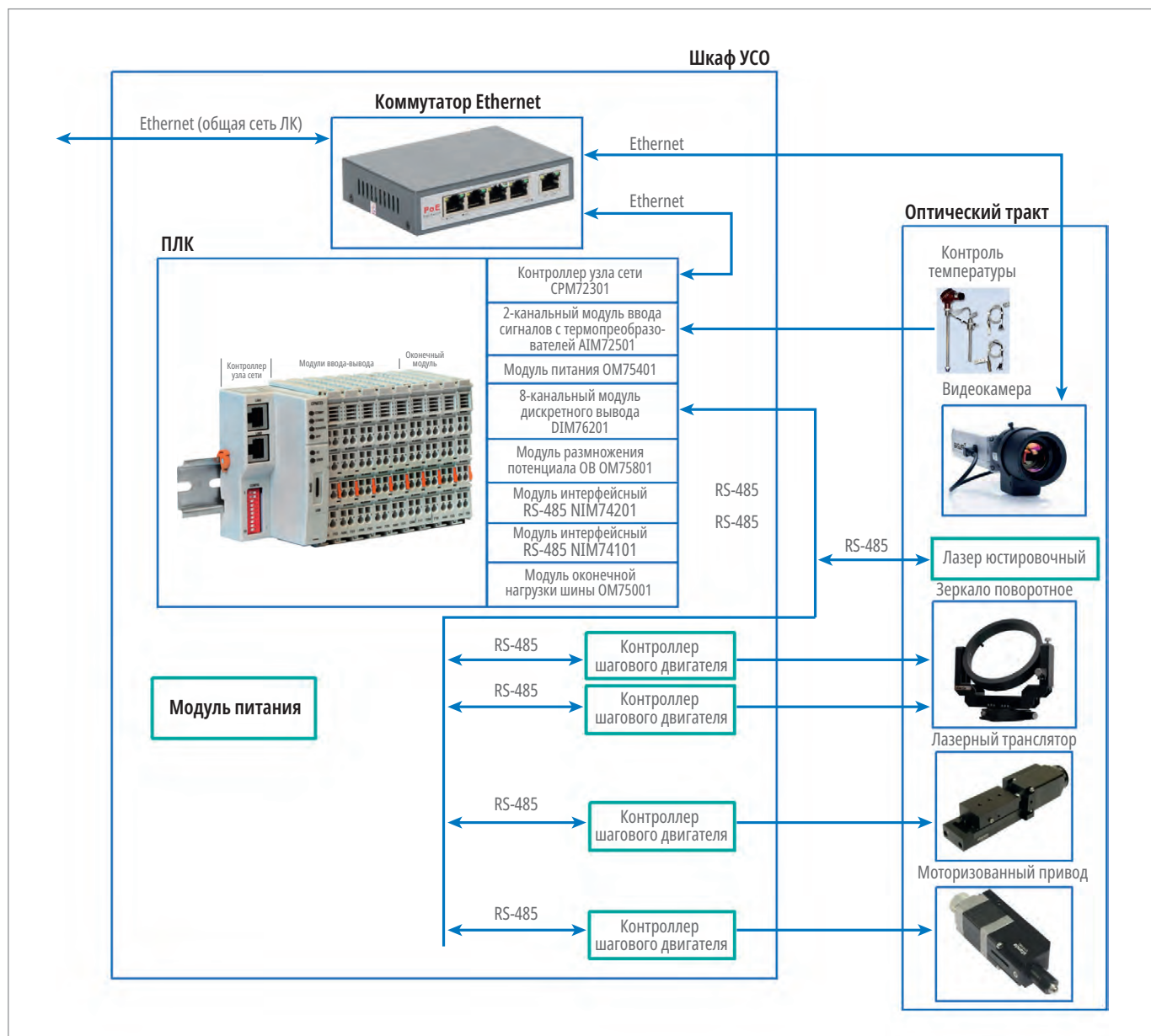


Рис. 5. Структурная схема АСУ оптического тракта

- измерение и контроль параметров лазерного излучения (мощность, расходимость и др.).

Элементы оптического тракта – это лазеры юстировочные, зеркала поворотные, ирисовые диафрагмы, линзы, видеокамеры, экраны, затворы защитные, трипель-призмы и пр. Все вышеперечисленные элементы позволяют построить оптический тракт сложной оптической системы. В линейных трансляторах, моторизованных держателях зеркал, моторизованных приводах присутствуют шаговые двигатели, которыми необходимо управлять. Задача поворота зеркала на заданный угол с заданной точностью сводится к задаче по управлению шаговым электродвигателем. Готовое решение – это применение контроллера шагового двигателя (далее КШД). Фирмы, реализующие на

рынке шаговые двигатели, как правило, предлагают к ним блоки управления с сетевыми интерфейсами управления: RS-485; CAN, USB, PROFIBUS, Ethernet и пр. КШД – это готовое решение с сетевым интерфейсом и коммуникационным протоколом (Modbus ASCII, Modbus RTU, Modbus TCP и др.). Структурная схема АСУ оптического тракта представлена на рис. 5.

Для управления элементами и системами оптического тракта ОТ лазера узел сети ПЛК Fastwel I/O может состоять из следующих модулей:

- контроллер универсальный программируемый CRM723-01;
- 2-канальный модуль ввода сигналов термопреобразователей сопротивления AIM72501;
- 8-канальный модуль дискретного ввода DIM76201;

- модуль интерфейсный RS-485 NIM74101;
- модуль интерфейсный RS-232 NIM74201;
- модуль питания OM75401.

К модулю AIM72501 подключаются датчики температуры (термопреобразователи сопротивления) для контроля температуры в оправах лазерных зеркал, ловушек излучения, лучепроводах и пр. Модули интерфейсные NIM74101 и NIM74201 для подключения элементов оптического тракта с сетевыми интерфейсами. Применение ПЛК в управлении оптического тракта позволяет решать такие задачи, как автоматизированная или автоматическая юстировка.

АСУ ОПУ

Система управления ОПУ должна обеспечивать:

- выведение ОПУ в заданную точку пространства по азимуту и по углу места;

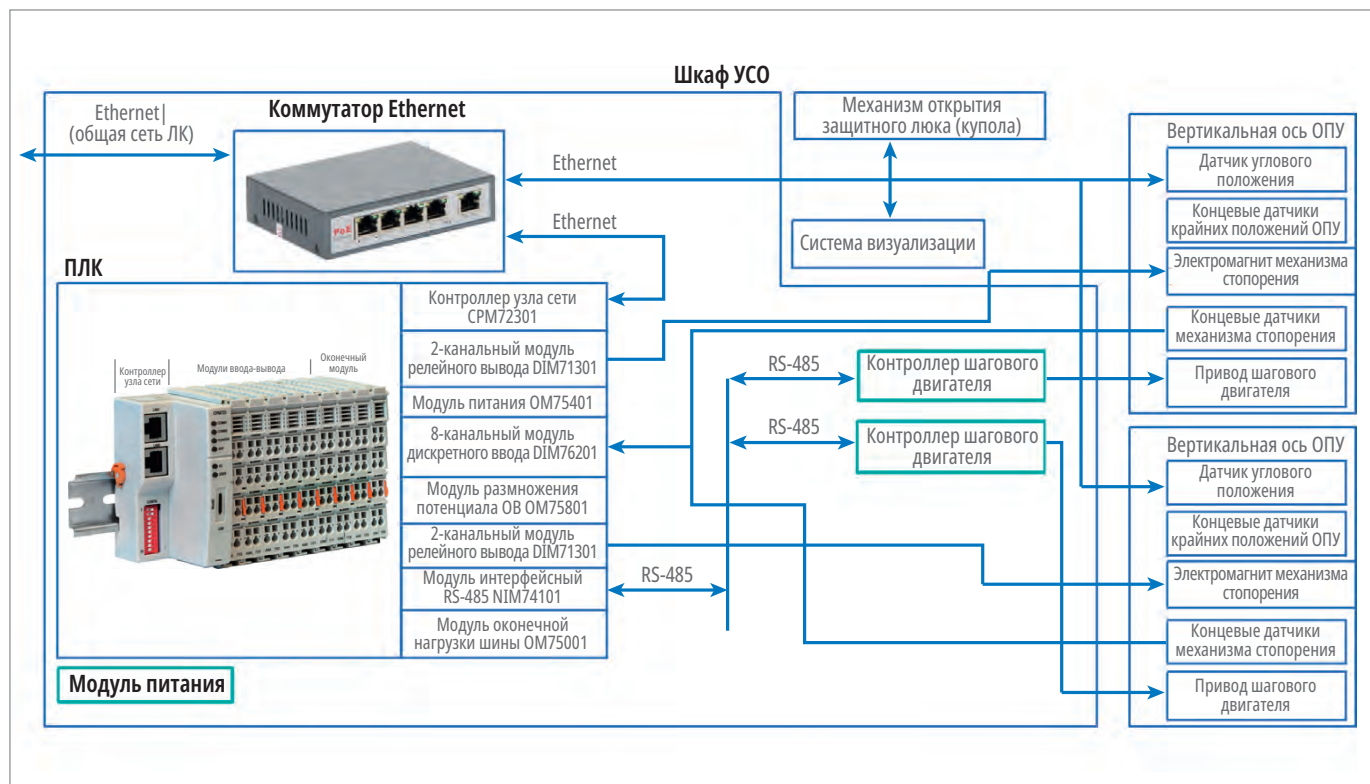


Рис. 6. Структурная схема АСУ ОПУ

- позиционирование ОПУ с заданной точностью;
 - управление вспомогательными механизмами и оборудованием.
- Основные характеристики ОПУ:
- масса оптико-механической части;
 - угол обзора по азимуту и по углу места;
 - скорость перемещения зеркала;
 - ускорение перемещения зеркала;
 - скорость и ускорение при сопровождении;
 - точность сопровождения.

В зависимости от массогабаритных параметров зеркала, точности позиционирования и других факторов приводы ОПУ могут быть выполнены на шаговых двигателях с редукторами или на синхронных высокомоментных серводвигателях для перемещения ОПУ по горизонтальным и вертикальным осям.

На рис. 6 приведена структурная схема АСУ ОПУ с приводами на шаговых двигателях.

Для управления элементами и системами ОПУ лазера узел сети ПЛК Fastwel I/O может состоять из следующих модулей:

- контроллер универсальный программируемый CPM723-01;
- 2-канальный модуль релейного вывода DIM71301;
- 8-канальный модуль дискретного ввода DIM76201;
- модуль интерфейсный RS-485 NIM74101;
- модуль интерфейсный RS-232 NIM74201;
- модуль питания OM75401.

Заключение

В настоящее время на российском рынке имеются все необходимые средства автоматизации, в том числе и ПЛК для реализации АСУ лазерных систем на достаточно высоком техническом уровне. Основные российские производители ПЛК: Контар, Овен, Segnetics, Fastwel и др.

Можно привести несколько аргументов в пользу отечественной компании-изготовителя ПЛК и др. средств автоматизации и комплектующих к ним:

- проблема совместимости импортных ПЛК с отечественными инженерными решениями. Например, отечественная промышленность выпускает датчики с выходным токовым сигналом 0...5 мА. У импортных систем ввода/вывода отсутствуют модули ввода под вышеуказанный сигнал;
- условия применения. Здесь нужно учесть географию и условия применения в нашей стране, а также ментальность пользователей и персонала, эксплуатирующего изделие с АСУ (здесь имеются в виду организации, осуществляющие техническое обслуживание, плановый ремонт изделия и т.д.);
- разобщенность между покупателем и производителем. Большинство официальных дилеров известных зарубежных компаний работает (работало) по принципу: «продал и забыл». Техническая поддержка сведена к минимуму (хотя есть и приятные исключения).

Серьезные вопросы для исполнителя (непосредственного разработчика АСУ и эксплуатационных организаций) появляются на этапе разработки КД и эксплуатации системы. Для разработки и эксплуатации изделия с АСУ нужна реальная техническая поддержка;

- наличие полноценной технической документации. Для отечественного разработчика, работающего в системе ЕСКД, очень важно, чтобы на все комплектующие АСУ была необходимая техническая документация. А это значит, что на все элементы АСУ должны быть технические условия (разработанные по ГОСТ 2.114-95), должна быть эксплуатационная документация в соответствии с ГОСТ 2.601-2006 и ГОСТ 2.610-2006. Всё это можно требовать только от отечественного производителя, который выпускает серийную продукцию в необходимом объеме. ●

Литература

1. URL: www.fastwel.ru.
2. Патент на изобретение № 2621616. Двухконтурный лазер и способ его эксплуатации. Шишкин С.В., Карпенко С.В., Резепов И.Н., Миронов Н.О., Вдовкин Л.Н. 2017.
3. Патент на изобретение № 2503105. Лазер с диодной накачкой. Андреев И.В. и др. 2012.

Автор – сотрудник фирмы ПРОСОФТ

Телефон: (495) 234-0636

E-mail: info@prosoft.ru



Как проверить N+1 до выбора модульного ИБП: алгоритм для шестислотового шасси

Антон Яковлев

Расчёт на трёх исходных величинах позволяет ещё до выбора модели понять, переживёт ли система отказ одного силового модуля на полной нагрузке. Модульность упрощает масштабирование и ремонт, но сама по себе не гарантирует резервирование. Если все слоты заняты модулями, которые нужны для штатной мощности, то при отказе одного блока доступная мощность снизится. Обозначение N+1 следует подтверждать расчётом для конкретной нагрузки и конфигурации.

Что должен подтвердить расчёт

До сравнения моделей нужно зафиксировать не только номинал ИБП, но и условия, которые система обязана выдерживать:

- активную мощность нагрузки в кВт и допустимый диапазон её изменения;
- расчётный отказ, например потерю одного силового модуля;
- требуемый уровень резервирования в нормальном и сервисном режимах;
- число доступных слотов и ограничения по размещению оборудования;
- план роста нагрузки и допустимое время восстановления после отказа.

Эти данные отделяют реальную отказоустойчивость от паспортного обозначения. Один и тот же номинал шасси может давать разные результаты в зависимости от мощности отдельного модуля и количества установленных блоков.

Три числа и две формулы

Для предварительной проверки нужны расчётная мощность нагрузки $P_{\text{наг}}$, мощность одного силового модуля $P_{\text{м}}$ и число слотов S . Минимальное число рабочих модулей определяется как $n_{\text{раб}} = \lceil P_{\text{наг}} / P_{\text{м}} \rceil$. Для модульного резерва N+1 требуется ещё один блок: $n_{\text{уст}} = n_{\text{раб}} + 1$. Конфигурация помещается в одно шасси, если $n_{\text{уст}} \leq S$.

Проверку полезно повторить со стороны аварийного режима: $P_{\text{дост}} = (n_{\text{уст}} - 1) \times P_{\text{м}}$. Если $P_{\text{дост}}$ ниже расчётной нагрузки,

заявленное N+1 на этой рабочей точке не выполняется.

Пример: нагрузка 300 кВт и шесть слотов.

При мощности модуля 50 кВт для штатной нагрузки требуются все шесть

блоков: $6 \times 50 = 300$ кВт (рис. 1). Седьмого слота под резерв нет. После отказа одного модуля остаётся $5 \times 50 = 250$ кВт.

При мощности модуля 60 кВт нагрузки обеспечивают пять блоков: $5 \times 60 = 300$ кВт (рис. 2). Шестой модуль может

Шестислотовое шасси: модули по 50 кВт

Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5	Модуль 6
50 кВт	50 кВт	50 кВт	50 кВт	50 кВт	50 кВт
РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ

Нормальный режим: $6 \times 50 = 300$ кВт, все слоты заняты рабочими модулями
После отказа одного модуля: $5 \times 50 = 250$ кВт доступны нагрузке

N+1 не выполняется

Рис. 1. Шесть модулей по 50 кВт дают 300 кВт только в штатном режиме. После единичного отказа доступны 250 кВт

Шестислотовое шасси: модули по 60 кВт

Модуль 1	Модуль 2	Модуль 3	Модуль 4	Модуль 5	Модуль 6
60 кВт	60 кВт	60 кВт	60 кВт	60 кВт	60 кВт
РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РАБОЧИЙ	РЕЗЕРВ

Нормальный режим: $5 \times 60 = 300$ кВт + 1 резервный модуль
После отказа одного модуля: $5 \times 60 = 300$ кВт доступны нагрузке

N+1 выполняется

Рис. 2. Пять рабочих модулей по 60 кВт и один резервный сохраняют 300 кВт после единичного отказа

Таблица 1. Примеры разных конфигураций модулей питания

Конфигурация	Рабочая мощность	Результат проверки N+1
6 × 50 кВт	300 кВт	Все шесть слотов заняты рабочими модулями. После отказа одного модуля остаётся 250 кВт, поэтому N+1 для нагрузки 300 кВт не выполняется
5 × 60 кВт + 1 × 60 кВт	300 кВт + резерв	Пять модулей покрывают нагрузку, шестой резервирует один отказ. После отказа нагрузке остаются доступны 300 кВт

резервировать единичный отказ, потому что после его имитации нагрузке по-прежнему доступны 300 кВт (табл. 1).

Более крупный модуль не становится автоматически лучшим решением. Его преимущество появляется только тогда, когда иной шаг мощности действительно меняет архитектуру: позволяет разместить N+1 в одном шасси, уменьшает количество шкафов или помогает уложиться в ограничения существующего помещения.

Что остаётся за пределами арифметики модулей

Расчёт выше подтверждает резерв только на уровне силовых модулей. В реальной системе общими могут оставаться статический байпас, контроллер, входное и выходное распределение, шины и батарейная цепь. Их отказоустойчивость проверяется отдельно по однолинейной схеме и документации производителя.

Нужно также определить, что именно считается единичным отказом. Если техническое задание требует сохранить нагрузку при потере секции ввода, байпаса или батарейной ветви, одной проверки $n_{уст} \leq S$ недостаточно.

После отказа одного из шести модулей по 60 кВт оставшиеся пять блоков работа-

ют на 100% номинала. Это не оставляет запаса на рост нагрузки, перегрузку или отклонение рабочей точки. Если нужен эксплуатационный запас сверх N+1, расчётную нагрузку следует принять ниже 300 кВт или изменить архитектуру.

Обслуживание, батареи и охлаждение

Горячая замена снижает время ремонта только при выполнении трёх условий: процедура разрешена изготовителем, доступ безопасен, а исправный запасной блок доступен на объекте или в согласованный срок. На время замены нужно отдельно проверить, сохраняется ли требуемый резерв.

Батарейная автономия рассчитывается для заданного аварийного режима. Выпрямитель, инвертор, коммутация и батарейная цепь должны выдерживать требуемую нагрузку в течение установленного времени, а номинальная мощность шасси сама по себе этого не подтверждает.

Тепловую нагрузку следует оценивать по потерям всей конфигурации при фактической загрузке. Предварительная формула: $P_{потерь} = P_{вых} \times (1/\eta - 1)$, где η берётся из кривой КПД для ожидаемой рабочей точки. Сравнить нагрев модулей только по их номиналу некорректно.

Кратковременная перегрузочная способность также не заменяет постоянный резерв. Если после отказа нагрузка превышает номинал оставшихся модулей, система зависит от ограниченного по времени режима и требует пересмотра или отдельного согласования.

Семь вопросов, с которыми надо определиться до выбора модели

1. Какова активная мощность нагрузки в кВт, включая ожидаемый рост?
2. Какой отказ должна пережить система без потери нагрузки?
3. Сколько рабочих и резервных модулей помещается в выбранное шасси?
4. Какова доступная мощность после единичного отказа?
5. Какие общие узлы остаются нерезервированными?
6. Что происходит с нагрузкой во время обслуживания и замены модуля?
7. Подтверждены ли батарейный режим, потери, охлаждение и сервисные зоны для обеих рабочих точек?

Вывод

Разница между модулями 50 и 60 кВт важна не сама по себе. В рассмотренном примере дополнительные 10 кВт позволяют получить 300 кВт и резерв одного силового модуля в том же шестислотовом шасси.

Рабочее решение появляется только после проверки всей цепочки: нагрузки, модулей, общих узлов, батарей, обслуживания и охлаждения. Поэтому N+1 следует доказывать расчётом аварийного режима, а не принимать по названию конфигурации. ●

НОВОСТИ реклама НОВОСТИ реклама НОВОСТИ реклама

Новое поколение взрывозащищённого 10-дюймового планшета UX10, адаптированное под задачи ИИ

Компания Getac, мировой лидер по производству защищённых мобильных ноутбуков и планшетов, представила новое поколение взрывозащищённого 10-дюймового планшета UX10 на базе операционной системы Windows.

Главная особенность новой модели – оптимизация под задачи искусственного интеллекта благодаря процессорам Intel Core Ultra (серия 2) и технологии Intel AI Boost. Яркий 10,1-дюймовый экран с широким углом обзора (TFT LCD WUXGA), разрешением 1920×1200 пикселей и технологией LumiBond гарантирует отличную читаемость даже в условиях сильной солнечной засветки, обеспечивая удобство использования планшета в любых погодных условиях.

Планшет по умолчанию поставляется с 16 ГБ оперативной памяти, напаянной на плату, и с PCIe-накопителем ёмкостью от 256 ГБ до 2 ТБ. Для бесперебойной работы даже на удалённых объектах новинка поддерживает беспроводные технологии 4G и 5G. Дополнительно в верхней части планшета можно установить сканер 1D/2D-штрихкодов, COM-порт или считыватель RFID-меток. В базовой комплектации предусмотрены порты USB 3.2 Gen 2 Type-A и два порта Thunderbolt 4 (Type-C). В базовой комплектации установлена батарея ёмкостью 4070 мА·ч, которую можно заменить



на аккумулятор повышенной ёмкости – 9240 мА·ч. Это позволит пользователю работать с устройством в течение всей рабочей смены без подзарядки.

Планшет сертифицирован по стандартам MIL-STD-810H и IP66, защищён от падения с высоты

1,8 метра и может эксплуатироваться при температурах от -21°C до +55°C.

Ключевое отличие новинки – сертификация по стандартам ATEX и IECEx (Зона 2/22; Ex II 3G Ex ic op is IIC T4 Gc; Ex II 3D Ex ic op is IIC T130 °C Dc). Это означает, что планшет можно использовать во взрывоопасной зоне 2, обеспечивая надёжную защиту в самых сложных условиях. ●



От отдельных контроллеров к единой системе управления предприятием: комплексный подход АО «Нефтеавтоматика» к промышленной автоматизации

В статье рассматривается переход от поставки отдельных средств автоматизации к построению импортонезависимой экосистемы управления промышленным предприятием. Приведены архитектурные решения, аппаратные и программные компоненты, а также практический кейс внедрения распределённой системы управления на Афипском НПЗ.

Современное промышленное предприятие представляет собой сложную распределённую систему, где надёжность и безопасность зависят от согласованной работы сотен компонентов. Долгое время российский рынок промышленной автоматизации развивался по пути закупки отдельных средств – контроллеров, шкафов, программного обеспечения.

Однако сегодня на первый план выходит иная задача: построение целостной импортонезависимой экосистемы управления, способной закрыть весь технологический цикл – от полевого уровня до корпоративных систем планирования. Внутри неё контроллеры, системы визуализации, средства противоаварийной защиты, серверы, инженерные станции,

интерфейсы и программное обеспечение должны работать как единое целое, сохраняя при этом возможность интеграции с уже действующей инфраструктурой.

Именно такой подход реализует на промышленных предприятиях АО «Нефтеавтоматика». Сначала компания сформировала компетенции системного интегратора, реализуя проекты на оборудовании разных производителей. Работа с мультивендорными системами позволила увидеть их возможности и ограничения на реальных промышленных объектах – и накопить опыт, который затем лег в основу собственной линейки контроллеров. Следующим шагом стало создание комплексных систем уже с опорой на собственную аппаратную и программную базу.

Компания объединяет в рамках одного технологического контура средства нижнего уровня, ПЛК, PCY, SCADA, решения для управления производством, инженерные и тренажерные комплексы. При этом речь идёт не только о разработке оборудования и программного обеспечения, но о полном жизненном цикле создания автоматизированной системы – от проектирования и производства до внедрения,



Фото: пресс-служба АО «Нефтеавтоматика»



Фото: пресс-служба АО «Нефтеавтоматика»

пусконаладки, обучения и технической поддержки.

АО «Нефтеавтоматика» (Уфа, Республика Башкортостан) – инженерно-производственная компания, ведущая историю с 1969 года.. Сегодня это один из немногих российских производителей, который сам разрабатывает и выпускает полный стек средств автоматизации: от барьеров искрозащиты и контроллеров до SCADA, распределённых систем управления и систем MES-уровня. Компания располагает собственными территориальными производственными базами площадью 70 тыс. м², заводом для производства производства блочного нефтепромыслового оборудования (Серафимовский опытный завод автоматики, СОЗАиТ), а также цехом сборки шкафов автоматики, испытательным полигоном и инженерным производственным центром. Продукция внесена в Единый реестр российского ПО и ежегодно подтверждается Минпромторгом РФ как производимая на территории России.

Фундамент архитектуры: датчики и ПЛК

В любой АСУ ТП нижний уровень остаётся местом, где цифровая модель производства соприкасается с физическими процессами. Всё начинается с достаточно простой задачи: получить достоверную информацию о состоянии объекта и вовремя отреагировать на изменение его параметров.

На нижнем уровне работают датчики и первичные преобразователи. Они фиксируют температуру, давление, расход, скорость, вибрацию, загазованность и другие параметры технологического процесса.

По оценке специалистов, на среднем нефтеперерабатывающем заводе речь может идти о нескольких десятках тысяч сигналов. Они поступают в контроллеры, а далее – в системы управления и на рабочие места операторов.

Именно здесь начинается первая составляющая экономики автоматизации: отказоустойчивость. Поэтому особенно важны становятся предсказуемость, резервирование и возможность обслуживания без технологического простоя. Если неисправность одного элемента не приводит к потере управления процессом, стоимость отказа снижается.

Флагманская линейка программируемых логических контроллеров – MKLogic-500 – предназначена для систем

средней и высокой сложности, включая распределённые системы управления (PCU) и системы противоаварийной защиты (ПАЗ). Контроллер имеет модульную структуру, поддерживает аналоговый и цифровой ввод-вывод, HART, Modbus TCP/RTU, IEC 60870-5-104 и OPC UA. Предусмотрены дублированные системная шина и питание, «горячее» резервирование и замена модулей без остановки процесса.

Для построения систем ПАЗ с требуемым уровнем полноты безопасности SIL 3 компания сертифицировала ПЛК MKLogic-SF. Для АСУ ТП средней и низкой сложности, а также систем телемеханики предназначен компактный контроллер MKLogic200. Система удалённого ввода-вывода MKRemoteIO позволяет собирать данные с датчиков во взрывоопасных зонах. Во всех случаях контроллер – не изолированное изделие, а часть более крупной системы, где данные и команды проходят несколько уровней обработки.

Связный технологический процесс: PCU и SCADA

Именно на среднем и верхнем уровнях проявляется разница между набором устройств и системой. PCU объединяет контроллеры, станции оператора и инженера, средства конфигурирования, архивирования и интеграции. Решение «Нефтеавтоматики» рассчитано на обработку более 1000 технологических параметров; предусмотрено дублирование транспортной сети, процессорных модулей, системной шины и питания. Работа с локальными системами управ-



Фото: пресс-служба АО «Нефтеавтоматика»



Фото: пресс-служба АО «Нефтеавтоматика»

ления и ПАЗ поддерживается по Modbus TCP/RTU, передача данных во внешние системы – по OPC UA.

Для действующего предприятия это принципиально: здесь почти неизбежно соседствует оборудование разных поколений и производителей – зоопарк систем, поэтому стандартные интерфейсы и промышленные протоколы становятся не менее важны, чем вычислительная производительность.

На операторском уровне SCADA-система «Нефтеавтоматики» получает данные от контроллеров, визуализирует параметры и состояние оборудования, обеспечивает дистанционное управление, ведёт журналы событий и архивы. Система фиксирует технологические события, аварии, неисправности и действия оператора с временной привязкой, поддерживает тренды, диагностику, разграничение доступа и резервирование связи. Станция интеграции предоставляет вышестоящим системам доступ по OPC UA, OPC UA A&E, OPC UA HDA и ODBC.

При этом для объектов, относящихся к критической информационной инфраструктуре, набор требований значительно шире. Здесь важны не только функциональность и производительность, но и соответствие требованиям информационной безопасности. Поэтому одно из ключевых преимуществ «Нефтеавтоматики» – соответствие требованиям ФСТЭК наряду с полным импортозамещением, отказоустойчивостью и совместимостью с оборудованием различных производителей.

От АСУ ТП – к управлению производством

Следующий уровень автоматизации связан уже не с контуром управления технологическим оборудованием, а с производственной информацией. Решения АО «Нефтеавтоматика» MES-класса консолидируют данные различных производственных систем, поддерживают диспетчерское управление, мониторинг и аналитику процессов, управление активами, персоналом и нормативной документацией.

В состав решений входят и компьютерные тренажерные комплексы. Системы могут интегрироваться как с локальными АСУ ТП, так и с ERP-системами предприятия. Именно здесь становится особенно заметен переход от автоматизации отдельного агрегата к цифровизации предприятия в целом: данные, сформированные на технологическом уровне, становятся основой для оперативных управленческих решений и анализа производства.

Проверка делом: модернизация действующего производства на Афином НПЗ

Наиболее показательный пример реализации экосистемного подхода – проект модернизации Афинского нефтеперерабатывающего завода (ООО «Афипский НПЗ»), входящего в промышленно-финансовую группу «Сафмар». Масштабная программа

здесь реализуется с 2019 года и включает двухэтапное развитие производственных мощностей, в том числе запуск комплекса гидрокрекинга. Одновременно потребовалась замена критически важных элементов автоматизации на современные локализованные решения. Поэтому предприятие внедрило отечественную распределённую систему управления, разработанную «Нефтеавтоматикой».

АСУ ТП общезаводского хозяйства и установки стабилизации бензинов реализована на контроллерах серии MKLogic-500. Система состоит из 169 шкафов. Также внедрена АСУ ТП для установки грануляции серы: PCS на серии MKLogic-500 с терминальными платами. Общая информационная ёмкость системы – 11 000 сигналов, 175 шкафов автоматики. Пусконаладочные работы по этому проекту должны завершиться в 2026 году.

Проект стал важным этапом достижения технологической независимости завода. Достигнутые результаты: снижение аварийных остановок на 20%, сокращение отклонений параметров на 27% и уменьшение времени диагностики на 35%. Эти показатели отражают не эффект отдельного устройства, а результат целостной архитектуры, где контроллеры, программное обеспечение, системы противоаварийной защиты и интеграционные решения работают как единый организм. Система обеспечивает полное импортозамещение, отказоустойчивость, совместимость с оборудованием разных производителей и соответствие требованиям ФСТЭК.

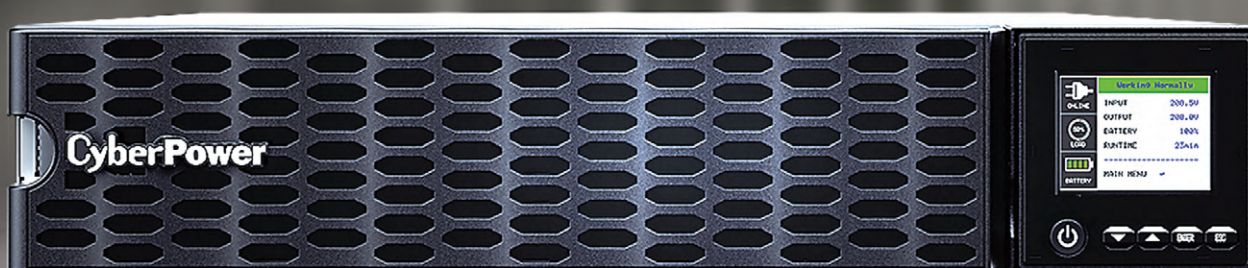
Заключение

Промышленная автоматизация становится частью экономики предприятия в том случае, когда она перестаёт быть набором отдельных устройств и превращается в единую систему управления жизненным циклом технологического процесса. Экономический эффект от внедрения проявляется прежде всего через снижение риска аварий, простоев и технологических отклонений. Чем сложнее производство, тем большую роль играет не отдельный контроллер, а архитектура всей системы. Для действующего предприятия ключевая проблема – модернизация без остановки производства. Именно поэтому важны совместимость, резервирование, интеграция и единая ответственность поставщика, которую в полной мере обеспечивает АО «Нефтеавтоматика». ●

НЕФТЕАВТОМАТИКА



Больше мощности на меньшей площади 6000 Вт в 2U



Технология двойного преобразования (online)
Коэффициент мощности = 1
Встроенные аккумуляторные батареи
Подключение до 10 внешних батарейных блоков
Технология выравнивания заряда
«Горячая» замена батарей через фронтальную панель
Карта сетевого управления в комплекте

ИБП CyberPower
OL5KERTHD / OL6KERTHD
5000 Вт / 6000 Вт





Суверенный периферийный интеллект: как мини-ЦОД и открытые платформы меняют правила игры в российской индустрии

Дмитрий Швецов

Ещё пару лет назад словосочетание «искусственный интеллект на производстве» почти автоматически означало аренду облачных GPU, потоковую отправку кадров в чужой дата-центр и ежемесячную абонентскую плату, растущую пропорционально числу рабочих мест и сценариев решения бизнес-задач. Сегодня этот подход трещит по швам. Дело не только в санкционных качелях, сделавших недоступными привычные западные ускорители, и не только в регуляторном прессе закона 152-ФЗ, требующего локализации персональных данных. Главная причина глубже: промышленный ИИ перестаёт быть игрушкой для пилотов и стартапов, а становится критической инфраструктурой. В свою очередь, критическая инфраструктура не может зависеть от внешнего облака, пропускной способности магистрального канала и тарифной политики поставщиков услуг. Ответом на этот вызов стало появление решений в формате мини-ЦОД, вычислительные платформы на альтернативных GPU и управляющий софт в единый локальный контур, который можно развернуть в цеху за одну смену. Именно о таком симбиозе – инженерном, а не маркетинговом, – пойдёт речь в этом обзоре.

Отдельный кабинет вместо серверной | для мини-ЦОД

Начинается всё с физики. Классическая серверная комната с фальшполом, прецизионными кондиционерами и газовым пожаротушением остаётся уделом крупных ЦОД и корпоративных отраслевых решений. На производстве средней руки, в логистическом хабе или на автономном посту охраны периметра такого помещения нет, и его строительство обойдётся дороже, чем вся автоматизация, ради которой оно затевалось. Решение, предложенное кооперацией отечественного производителя инженерных шкафов и разработчика ИИ-платформ, разрубает этот «гордиев узел» на удивление просто: вся необходимая инфраструктура «упаковывается» в герметизированный телекоммуникационный шкаф высотой 42 юнита с базовой защитой IP55. Внешне

это всё тот же знакомый стоечный конструктив, но внутри – полноценный дата-центр, готовый к установке буквально на бетонный пол рядом с производственным объектом. Диапазон рабочих температур от -40°C до $+50^{\circ}\text{C}$ достигается за счёт интегрированных фреоновых кондиционеров реверсивного типа: летом они охлаждают, зимой – подогревают внутренний объём. Холодный воздух подаётся адресно в зону вычислительных модулей, формируя выделенный холодный коридор; для конфигураций с тепловыделением свыше 5 кВт на шкаф доступно даже жидкостное охлаждение с сухой градирней – решение, ещё вчера ассоциировавшееся исключительно с большими коммерческими ЦОДами. Автоматика на борту говорит на языке протоколов SNMP и Modbus TCP, так что шкаф без лишних интеграционных плясок вписывается в существующую экосистему АСУ ТП.

Гарантированное электропитание или энергетическая независимость мини-ЦОД в пределах 15 минут полной автономии (с опцией расширения до нескольких часов) достигается за счёт встроенного ИБП двойного преобразования, а пассивная безопасность – на базе газового пожаротушения с датчиками дыма, протечки и контроля доступа – превращает шкаф в полноценный сейф для ИТ-оборудования.

Главное же в том, что вся эта инженерия приезжает на объект уже собранной и протестированной. Подключили питание, пристыковали кабели – и через смену мини-ЦОД готов к работе. Никаких разрешений на перепланировку, строительство фундаментов или прокладки дополнительных инженерных трасс. Для малого и среднего бизнеса это, по сути, единственный способ получить ту же инфраструктурную надёжность, что и

у гигантов, но без гигантских капитальных затрат.

Железный мозг: серверы, которые умеют не только исполнять, но и учиться

Внутри шкафа живут специализированные серверы для ускоренных вычислений, поставляемые российским разработчиком платформ промышленного ИИ. Это двухюнитовые машины с двумя графическими ускорителями, причём ускорителями отечественной сборки, не подверженными санкционным рискам. Их совокупная производительность в 140 терафлопс на операциях половинной точности (FP16) сопоставима с возможностями дискретных GPU среднего ценового эшелона, но принципиально важно другое: архитектура серверов, включающая 32-ядерный x86-процессор и до 512 Гбайт оперативной памяти с коррекцией ошибок, позволяет одновременно получать результаты работы нескольких нейросетей и запускать процедуры дообучения на свежих данных, накопленных прямо здесь, на объекте. Именно эта черта отделяет систему от бесчисленных «коробочных решений с ИИ», заполонивших рынок. Заказчик получает не замороженную модель, а живую адаптивную среду. Например, технолог цеха, не написав ни строчки кода, загружает эталонные изображения годных и бракованных деталей, запускает дообучение, и через несколько часов модель начинает видеть дефекты, специфичные именно для этой номенклатуры. Все данные при этом остаются внутри железного корпуса мини-ЦОД, ни один байт обучающей выборки не покидает периметр предприятия. Программная экосистема, предустановленная на серверы, включает ОС реального времени и фреймворк для промышленной видеоаналитики, машинного зрения и предиктивной диагностики. Точность распознавания дефектов на тестовом стенде металлообработки превысила 98,5%, но, пожалуй, важнее то, что интерфейс обучения ориентирован не на аналитика данных, а на инженера-предметника. Это снимает кадровый барьер, который традиционно был главным стоп-фактором для небольших производств.

Новый взгляд на системы встраиваемой видеоаналитики с ИИ

Тяжёлые серверы в шкафу решают задачу мощного централизованного нейросетевого окружения и обучения, одна-

Таблица 1. Характеристики работы облегчённой свёрточной сети MobileNet и одностадийного детектора SSD

Параметр	Результат
Точность детекции (Precision/Recall) в сложном сценарии «коридор»	~81% / ~81%
Точность детекции в контролируемой среде («лаборатория»)	~88% / ~88%
Время обработки MobileNet-SSD на VPU	8,71 мс
Время обработки на центральном процессоре	13,93 мс
Число одновременно обрабатываемых потоков (30 fps) на VPU	До 12
Пиковое энергопотребление вычислительной связки	~14 Вт
Снижение точности при 16-битном квантовании	Пренебрежимо мало
Снижение точности при 8-битном квантовании с адаптивным обучением	0,5–1,1%
Сокращение размера модели при 16-битном квантовании	В 2 раза
Сокращение размера модели при 8-битном квантовании	В 4 раза

ко экосистема промышленного ИИ не ограничивается верхним уровнем. На противоположном полюсе находятся устройства, для которых критичны массогабариты, энергопотребление и цена: автономные датчики, встраиваемые модули безопасности, носимые гаджеты, камеры с локальной аналитикой. Здесь на сцену выходит концепция Встраиваемого Искусственного Интеллекта, работающего непосредственно на оконечном оборудовании. В нашем распоряжении оказались данные исследований на платформе, построенной на одноплатном компьютере промышленного класса с интегрированным нейросетевым процессором (VPU), способным выполнять более 4 триллионов операций в секунду при тепловом выделении всего 2–4 Вт. Это не центральный процессор и не графический ускоритель в привычном понимании – архитектура VPU заточена исключительно под работу нейронных сетей, что и даёт столь впечатляющую энергоэффективность. Для развёртывания моделей на такой гетерогенной связке применяется специализированный инструментарий оптимизации: он конвертирует модели, обученные в популярных фреймворках, в промежуточное представление, а затем движок вывода автоматически распределяет нагрузку между CPU и VPU.

Алгоритмическое ядро детекции объектов построено на связке облегчённой свёрточной сети MobileNet и одностадийного детектора SSD. MobileNet использует глубоко разделимые свёртки, которые радикально снижают вычислительную нагрузку по сравнению с классическими архитектурами вроде VGG-16, почти не

теряя в точности. SSD, в свою очередь, за один проход определяет и класс объекта, и его координатную рамку. Для каждого найденного объекта создаётся фильтр Калмана, предсказывающий его движение в следующих кадрах; это позволяет сохранять идентификатор даже при кратковременных перекрытиях и пропусках детектора. Вся обработка организована конвейерно: пока ядра CPU заняты пред- и постобработкой, VPU параллельно обчисляет несколько кадров. Лабораторные замеры на публичных наборах данных показали, что одно такое маломощное устройство способно обслуживать до 12 видеопотоков с частотой 30 кадров в секунду, при этом задержка инференса на VPU составила 8,71 мс против 13,93 мс на CPU – ускорение почти 65%. Пиковое энергопотребление связки не превысило 14 Вт, что открывает возможность питания от солнечных батарей и портативных аккумуляторов. Для полноты картины в табл. 1 приведены ключевые характеристики системы с встраиваемым ИИ.

Цифры в таблице подтверждают, что периферийные вычислители уже способны решать полноценные задачи видеоаналитики на уровне, ещё недавно требовавшем серверного шкафа с мощными GPU, но с принципиально иной автономностью.

Квантование и микронконтроллеры с ИИ на батарейке

Если VPU-платформы ещё располагают некоторым запасом по памяти, то подлинный вызов представляет запуск нейросетей на 32-разрядных микрон-

троллерах, являющихся сердцем большинства IoT-устройств, где счёт идёт на килобайты ОЗУ и мегагерцы тактовой частоты. Решением для подобных мини-платформ становится квантование – переход от 32-битных чисел с плавающей запятой к 8- или 16-битным целочисленным форматам. 16-битное квантование (int16) практически не снижает точность, вдвое сокращая размер модели; 8-битное (int8) с использованием Quantization-Aware Training уменьшает модель вчетверо при падении точности всего на 0,5–1,1%, что для подавляющего большинства прикладных задач не критично.

Тестирование на открытом фреймворке MicroAI, который компилирует обученную модель в нативный C-код, позволяя компилятору выполнять серьёзную оптимизацию, показало на задачах распознавания активности производительность, сопоставимую с проприетарными решениями крупных производителей вычислительных платформ, но с уникальной поддержкой 16-битного квантования и полной переносимостью между 32-разрядными миниконтроллерами. И вот здесь в полный рост проявляется роль мини-ЦОД как центра дистрибуции: «тяжёлая» модель обучается на GPU-серверах внутри шкафа, затем

автоматически конвертируется и квантуется под целевое устройство – будь то камера с VPU или крошечный датчик, – и развёртывается на десятках, а то и сотнях оконечных устройств. Более того, мини-ЦОД способен периодически собирать данные с этих устройств, дообучать базовую модель и рассылать обновлённые веса обратно, замыкая цикл непрерывного улучшения работы нейросетей без участия, но под контролем человека.

Рыночный контекст: почему всё это важно именно сейчас

Глобальные аналитические обзоры сходятся в том, что к концу 2026 года затраты на ИИ приблизятся к 2,5 трлн долларов, а ключевыми векторами развития станут системы агентов с ИИ, мультимодальные модели и глубокая интеграция в бизнес-процессы. В России к этому добавляется три местных фактора: необходимость соблюдения 152-ФЗ, острый дефицит привычных западных ускорителей и растущий запрос на суверенные ИИ-платформы, которые можно полностью контролировать. Рынок отвечает бурным ростом доли китайских GPU: если ещё недавно доля доминирующего западного вендора на азиатском рынке ИИ-ускорителей превышала 95%,

то сейчас, по имеющимся оценкам, она сократилась примерно до 50%, а новые игроки стремительно сокращают технологический разрыв. Глобальные тренды: от LLM к агентным системам.

Обзоры рынка ИИ за 2025–2026 годы сходятся в нескольких ключевых тезисах (рис. 1):

- рост инвестиций в ИИ остаётся взрывным. Оценки говорят о +40–45% год к году с суммарным объёмом затрат до 2,5 трлн долларов к 2026 году;
- фокус смещается с «голых LLM» на агентные системы и Large Action Models (LAM). Модели перестают быть просто генераторами текста и становятся исполнителями цепочек действий в инфраструктуре компании;
- укрепляются мультимодальные решения. Одновременная работа с текстом, изображениями и видео становится нормой, особенно в задачах аналитики, робототехники и видеоаналитики;
- появляются локализованные и отраслевые модели. Всё больше решений адаптируется под конкретные рынки и отрасли: финансы, медицина, промышленность. На рис. 1 представлены основные сегменты применения суверенных систем с ИИ в промышленности.

Для инфраструктуры это означает, что нагрузка на ИИ-платформы становится не только «широкой», но и «глубокой»: одновременно растут число сценариев, плотность интеграций и требования к SLA.

Если дать инженерный ориентир на оборудование, применяемое для проектирования кластеров, в таблице представлено сравнение ускорителей юговосточных поставщиков для типовых нагрузок, опираясь на открытые источники и результаты пилотных проектов, проведённых в том числе ведущим российским техническим университетом. Сразу оговоримся: это не лабораторные бенчмарки «в вакууме», а скорее практические результаты тестирования, которые позволяют на старте понять, какой класс GPU нужен и под какую конкретную задачу (табл. 2).

Понятно, что при детальном проектировании потребуются пилоты и профилирование на реальных задачах, но даже такая грубая оценка позволяет отсеять заведомо нерабочие конфигурации и осмысленно подойти к выбору оборудования для вычислительных платформ. Важно и то, что рассмотренные здесь серверы на китайских GPU плюс платформа управления «Арка» – как раз и ориентированы на средний и базовый классы, закрывая самые массовые сце-

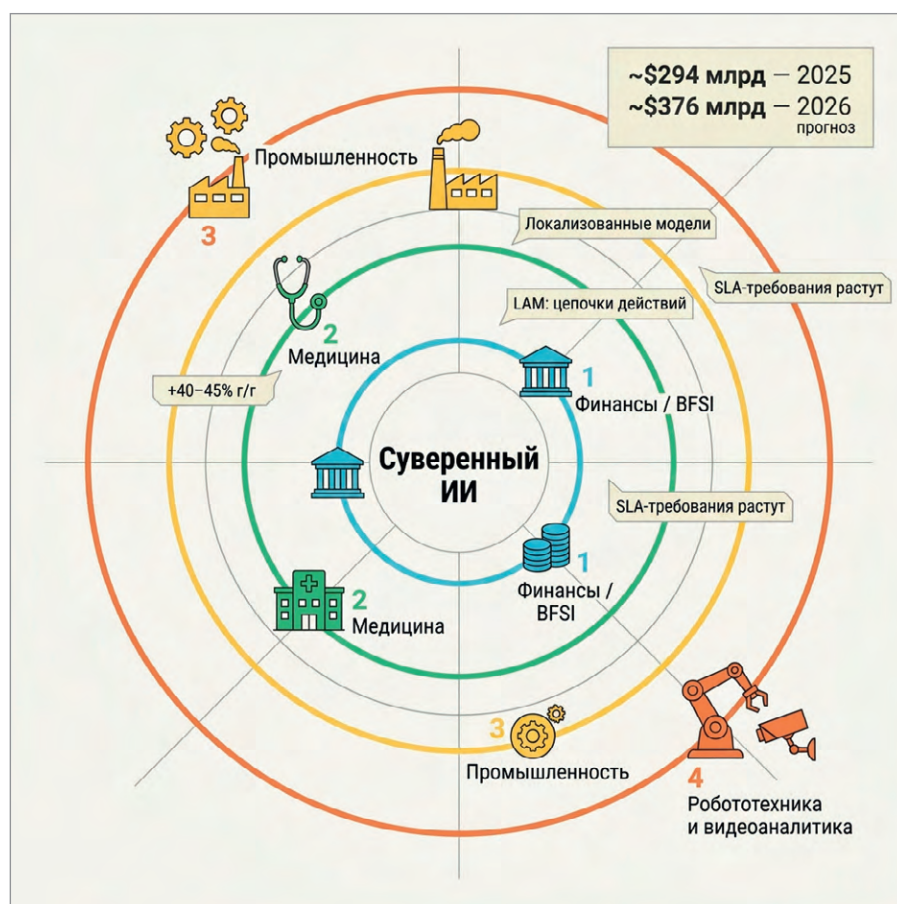


Рис. 1. Распределение суверенного ИИ в отраслях промышленности

Таблица 2. Оценка вычислительной мощности для решения определённого класса задач

Класс ускорителя	Примеры восточных аналогов	Типовые задачи	Ожидаемая производительность (относительно A100)
Высокий (High-End)	Флагманские модели нового поколения	Тренировка больших LLM, сложный инференс	80–100% в оптимизированных сценариях
Средний (Mid-Range)	Ускорители предыдущего поколения	Инференс CV-моделей, предиктивная аналитика, дообучение	50–70%
Базовый (Entry)	Бюджетные линейки	Лёгкий инференс, видеоаналитика ограниченного числа потоков	30–50%

нарии работы нейросетей и дообучения, с которыми сталкиваются реальные секторы промышленного производства.

Платформа как дирижёр для архитектуры и управления ИИ-нагрузкой

С инженерной точки зрения стек, объединяющий аппаратные ускорители, системное ПО и платформу управления, необходимо рассматривать как многоуровневую конструкцию. На нижнем уровне – серверы с GPU, объединённые высокоскоростной сетью; они могут быть сосредоточены как в центральном дата-центре предприятия, так и распределены по мини-ЦОД на периферии. Над ними – слой драйверов и библиотек, оптимизированных под конкретные архитектуры ускорителей. Далее идёт платформа управления, берущая на себя оркестрацию моделей, распределение задач, контроль версий, квотирование ресурсов и мониторинг. И наконец, прикладной уровень, где живут конкретные сервисы – от чат-ботов до систем видеоаналитики, вызываемые через API.

На рис. 2 более наглядно представлены ориентиры по классам нагрузок, что важно при выборе архитектуры платформы.

Это не результаты конкретной лабораторной работы, а классовое соответствие, собранное из открытых источников и типичных сценариев.

Таблица на рис. 2 – хорошая отправная точка при проектировании кластера: она задаёт ожидания по тому, какой класс GPU архитектуры нужен под конкретный тип нагрузки. Далее уже реальные пилоты и профилирование позволяют уточнить конфигурацию. Ценность такого разделения не в архитектурной стройности как таковой, а в том, что платформа становится единой точкой контроля. Вместо того чтобы размазывать логику маршрутизации и балансировки по десятку минисервисов, инженер получает панель, где видны

все очереди задач, загрузка GPU-узлов, метрики по задержкам и событиям деградации. Влияние платформенного слоя на производительность проявляется в трёх плоскостях: выравнивание утилизации ресурсов (минимизация простоев), поддержание стабильности времени отклика за счёт управления приоритетами и существенное ускорение поиска «бутылочных горлышек». Для систем, работающих круглосуточно в режиме реального времени, это не опция, а условие выживания.

Отраслевые сценарии: три портрета применения

Чтобы не ограничиваться общими словами, приведём три характерных портрета использования локального ИИ-контура, которые сегодня всё чаще встречаются в российской практике.

Финансовый сектор

Здесь ИИ обслуживает кредитный скоринг, антифрод, клиентские чат-боты и поиск по внутренним регламентам.

Архитектура вынуждена быть многослойной и строго соответствовать требованиям 152-ФЗ и нормативам ЦБ.

Платформа «Арка» разворачивается в защищённом сегменте дата-центра банка и стыкуется с внутренней сервисной шиной, получая запросы от мобильного приложения, контакт-центра и CRM не напрямую, а через прикладной слой. LLM-сервисы и RAG-компоненты работают на GPU-кластере, построенном на серверах с китайскими ускорителями.

Все персональные данные физически остаются в российском периметре, а модели скоринга и антифрода логируются для последующего аудита.

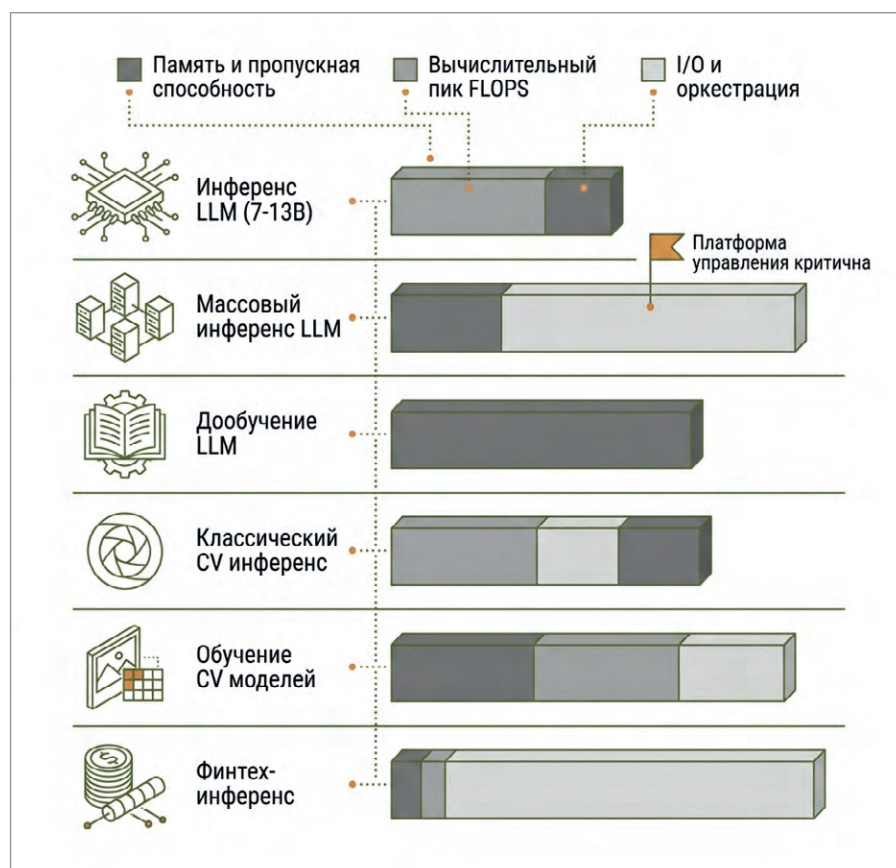


Рис. 2. Распределение по классам нагрузок вычислительной платформы

Словом, это пример того, как суверенный ИИ-стек вписывается в жёстко регулируемую среду, не жертвуя производительностью.

Промышленность

Здесь на первый план выходит предиктивное обслуживание, контроль качества и промышленная безопасность. Телеметрия с датчиков и видеопотоки с камер стекаются на мини-ЦОД, установленные прямо в цехах. Часть инференса – например, первичная отбраковка деталей, – выполняется локально на «граничных» узлах, чтобы не нагружать локальную сеть и не увеличивать задержки. Более сложные модели, требующие сопоставления с историческими данными и дообучения на новых паттернах дефектов, работают в центральном GPU-кластере под управлением «Арки». Результаты анализа интегрируются в MES и ERP, автоматически формируя заказы на обслуживание или останавливая линии. Здесь требования 152-ФЗ мягче (данные в основном технические), зато критична отказоустойчивость и строгое соблюдение работоспособности сервисов по времени реакции.

Видеоаналитика

Охранные системы, транспортные хабы, «умные» офисы и склады генерируют колоссальные видеопотоки, требующие распознавания объектов, трекинга и детекции событий в реальном времени. В такой архитектуре камеры и локальные регистраторы подают потоки на edge-узлы (в роли которых могут выступать и мини-ЦОД), где лёгкие CV-модели отсеивают пустые кадры и агрегируют события. Основной инференс и сложная аналитика – подсчёт людей, выявление запрещённых зон, анализ очередей – ведутся на центральном кластере. «Арка»

оркеструет модели и приоритизирует задачи: события безопасности обрабатываются вне очереди, тогда как статистика пассажиропотока может подождать. Горизонтальная масштабируемость здесь особенно важна: добавление новых площадок и камер не должно вызывать архитектурной революции.

Эти три сценария, разумеется, не исчерпывают весь спектр применения этих решений, но они хорошо демонстрируют, как локальный ИИ-контур способен адаптироваться к совершенно разным отраслевым требованиям, оставаясь при этом собранным из одних и тех же «кирпичиков» – мини-ЦОД, GPU-серверов и платформы управления.

Экономика для малого и среднего бизнеса: больше не роскошь

Отдельного внимания заслуживает вопрос стоимости, потому что именно он долгое время был главным барьером на пути ИИ в небольшие компании. Типовая конфигурация мини-ЦОД с одним вычислительным узлом стартует примерно от 10 млн рублей – это сумма, сопоставимая с годовым фондом оплаты труда одного-двух контролёров ОТК. Благодаря лизинговым программам, разбивающим платёж на три года, ежемесячная нагрузка становится и вовсе щадящей для оборотного капитала среднего предприятия. Но гораздо важнее совокупная стоимость владения: отсутствие абонентской платы за облачные API, независимость от тарифных скачков и полный контроль над данными означают, что за пять лет локальное решение оказывается как минимум вдвое выгоднее облачного.

В заключение можно отметить, что рынок ИИ стремительно эволюционирует от разрозненных пилотов к системной работе с агентными архитектурами,

мультимодальными моделями и отраслевой специализацией. Для российских B2B-заказчиков это практически автоматически означает переход к суверенным платформам, объединяющим локализованные данные, импортонезависимое железо и управляемый софтверный слой. Рассмотренный в статье стек – лишь один из представителей этого класса, но он показателен тем, что впервые делает полный цикл машинного обучения доступным не только гигантам, но и среднему бизнесу. В ближайшей перспективе можно ожидать появления заранее упакованных отраслевых пакетов: «финансовый», «промышленный», «видеоаналитический», – каждый со своими моделями, интеграциями и архитектурными паттернами. Сами платформы будут всё глубже сращиваться с агентными системами, управляя не просто запуском моделей, а цепочками действий в инфраструктуре предприятия. А расширение партнёрской экосистемы – интеграторы, университеты, отраслевые разработчики – превратит суверенный ИИ-стек в полноценный «конструктор», который можно собирать под конкретные задачи, не изобретая велосипед. Таким образом, периферийный интеллект, упакованный во всепогодный мини-ЦОД, – это не маркетинговая метафора, а инженерная реальность, которая уже сегодня меняет правила игры для десятков российских предприятий. Контроллер ИИ-нагрузки, живущий в железном шкафу у конвейера, обучающий модели по ночам и рассылающий обновлённые веса на камеры и датчики к утру, – таким видится ближайшее будущее промышленной автоматизации. ●

Автор – сотрудник фирмы ПРОСОФТ

Телефон: (495) 234-0636

E-mail: info@prosoft.ru

ИНТЕРВЬЮ

РОССИЙСКИЕ КОМПОНЕНТЫ В АСУ ТП: ОТ ЗАМЕНЫ К РЕАЛЬНОЙ ГОТОВНОСТИ

Как выбрать, проверить и внедрить отечественные компоненты без рисков? Олег Емченко (Fastwel) – о трёх ключевых шагах, которые помогут построить надёжную и совместимую систему автоматизации.



Российские компоненты уже в проектах



Проверенные решения и реальные испытания



Эксперты и практический опыт внедрения



Читайте материал полностью на портале СЭТА www.cta.ru



ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ
ДЛЯ УСТОЙЧИВОЙ
АВТОМАТИЗАЦИИ



ДОСТУПНО
И ПРОСТО
НАДЁЖНО



IES6300

промышленный
управляемый коммутатор 2 уровня
с поддержкой PoE++

- 8×10/100/1000Base-T(X) PoE++
- 2×SFP 100M/1G, 2×SFP 100M/1G/2.5G
- IEEE 802.3af/at/bt до 90 Вт на порт, общий PoE-бюджет до 360 Вт
- SW-Ring с временем восстановления до 20 мс
- 2×DI, 2×DO
- 50...55 В пост. ток, двойной ввод питания
- Диапазон рабочих температур: -40...+75°C





Активные барьеры искрозащиты КА5000Ех на страже взрывоопасного производства

Алексей Костерин

В статье описываются активные барьеры искрозащиты серии КА5000Ех с гальванической изоляцией, предназначенные для приёма и передачи унифицированных токовых сигналов 4...20 мА.

Число промышленных предприятий с взрывоопасным производством, которые успешно применяют для решения задач искробезопасности электрических цепей барьеры искрозащиты серии КА5000Ех от научно-производственной фирмы «КонтрАвт» – известного нижегородского разработчика и производителя средств и систем автоматизации и управления технологическими процессами – постоянно растёт.

Номенклатура серии КА5000Ех широка и включает в себя 17 видов барьеров (общее число модификаций при этом более 40). Производитель предлагает набор оптимизированных и надёжных решений под разные типы задач, разделённые на 4 группы.

1. Приёмники аналоговых сигналов из взрывоопасной зоны.
2. Передатчики аналоговых сигналов во взрывоопасную зону.
3. Приёмники дискретных сигналов из взрывоопасной зоны.
4. Управляемые источники питания (передатчики активных дискретных сигналов во взрывоопасную зону).

Из всех барьеров искрозащиты серии КА5000Ех наиболее востребованы аналоговые модели для работы с унифицированным токовым сигналом 4...20 мА. Дело в том, что большинство датчиков технологических параметров используют в качестве выходного именно сигнал 4...20 мА. Объясняется это широкой распространённостью данного вида сигнала на производстве по следующим причинам:

- на передачу сигнала 4...20 мА не оказывает влияния сопротивление соединительных проводов, поэтому требования к диаметру и длине соединительных проводов, а значит, и к стоимости, снижаются;
- токовый сигнал работает на низком уровне (по сравнению с сопротивлением источника сигнала) нагрузку, поэтому наведённые электромагнитные помехи в токовых цепях малы по сравнению с аналогичными цепями, в которых используются сигналы напряжения;
- обрыв линии передачи токового сигнала 4...20 мА однозначно и легко определяется

ляется измерительными системами по нулевому уровню тока в цепи (в нормальных условиях он должен быть не меньше 4 мА);

- токовый сигнал 4...20 мА позволяет не только передавать информацию, но и обеспечивать электропитание самого барьера – минимально допустимого уровня 4 мА достаточно для питания современных электронных устройств.

НПФ «КонтрАвт» предлагает 7 моделей барьеров искробезопасности с гальванической развязкой как для приёма этого вида сигналов из взрывоопасной зоны (приёмники сигналов КА5011Ех, КА5031Ех – 1 канал, КА5022Ех, КА5032Ех – 2 канала, КА5013Ех – разветвитель «1 в 2»), так и для передачи во взрывоопасную зону (передатчики сигналов КА5131Ех – 1 канал, КА5132Ех – 2 канала).

Общий вид барьеров искрозащиты данной группы приведён на рис. 1.

Основные характеристики указанных моделей сведены в табл. 1.

Гальваническая развязка

Все указанные в таблице модели барьеров искрозащиты являются активными с гальваническим разделением между собой входных и выходных сигнальных цепей как в каждом канале, так и между каналами, а также цепей питания (электрическая прочность изоляции: ~1500 В, 50 Гц).

Активные барьеры обладают лучшими метрологическими характеристиками, чем пассивные, имеют более надёжный



Рис. 1. Общий вид барьеров искрозащиты КА5000Ех для работы с унифицированным сигналом тока 4...20 мА (на примере моделей КА5011Ех, КА5013Ех, КА5132Ех)

Таблица 1. Модели барьеров искрозащиты КА5000Ех для работы с унифицированным сигналом тока 4...20 мА

Характеристики	KA5011Ex	KA5031Ex	KA5013Ex	KA5022Ex	KA5032Ex	KA5131Ex	KA5132Ex
Направление передачи сигнала	Приёмники из В03					Передатчики в В03	
Число каналов	1	1	Разветвитель 1 в 2	2	2	1	2
Погрешность, %	0,1						
Быстродействие, мс	35						
Тип входного сигнала и схема подключения	2ПИ 2АИ 3АИ	2АИ	2ПИ 2АИ 3АИ	2ПИ	2АИ	2АИ	2АИ
Встроенный блок питания источника сигнала на входе 24 В	Да	Нет	Да	Да	Нет	Нет	Нет
Тип выхода	Активный/пассивный 4...20 мА			Активный 4...20 мА			
Наличие опций с HART	Да	Да	Да	Нет	Да	Да	Нет
Наличие опции с шиной питания	Да	Да	Да	Да	Да	Да	Да
Ширина корпуса, мм	12						
Ширина корпуса на 1 канал, мм	12	12	12	6	6	12	6
Температура эксплуатации, °С	-40...+70						

В таблице использованы следующие обозначения:

2ПИ – источник сигнала с пассивным выходом с двухпроводной схемой подключения;

2AI – источник сигнала с активным выходом с двухпроводной схемой подключения;

ЗАИ – источник сигнала с активным выходом с трёхпроводной схемой подключения.

принцип искрозащиты, базирующийся на гальванической развязке, они более функциональны, проще в эксплуатации, исключают требования по заземлению, обладают более высокими точностными характеристиками и менее подвержены воздействию импульсных помех и электромагнитных наводок частотой 50 Гц.

Все эти обстоятельства сильно упрощают проектирование системы автоматизации и её изготовление.

Тип входного сигнала и схемы подключения

Как видно из сводной таблицы, разные модели рассматриваемых барьеров искрозащиты могут принимать либо активные, либо пассивные сигналы 4...20 мА на вход. При этом подключение источников сигналов с активным выходом возможно по двухпроводной либо трёхпроводной схемам 2АИ и 3АИ, а подключение источника сигнала с пассивным выходом сигнала только по двухпроводной – 2ПИ.

Примеры схем подключения приведены на рис. 2–4.

Встроенный блок питания источника сигнала на входе 24 В

Если подключаемый источник сигнала имеет пассивный выход, то барьер обеспечивает его питанием от встроенного

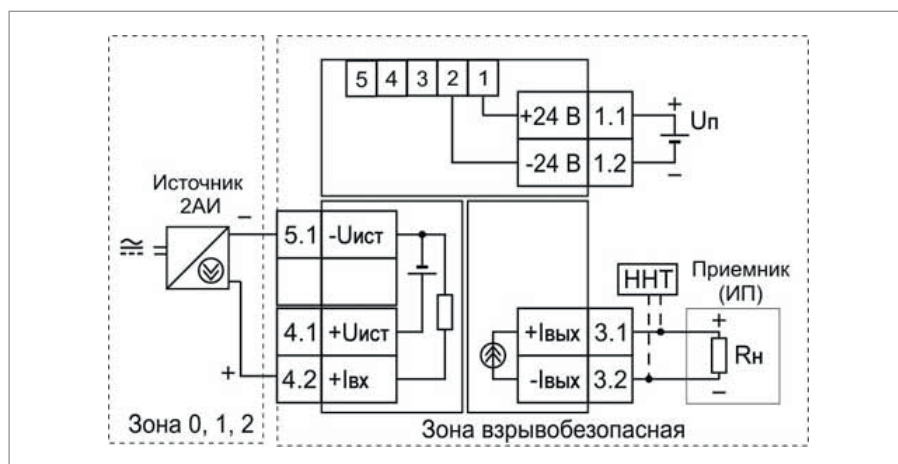


Рис. 2. Пример подключения источника сигнала с активным выходом по двухпроводной схеме подключения 2АИ

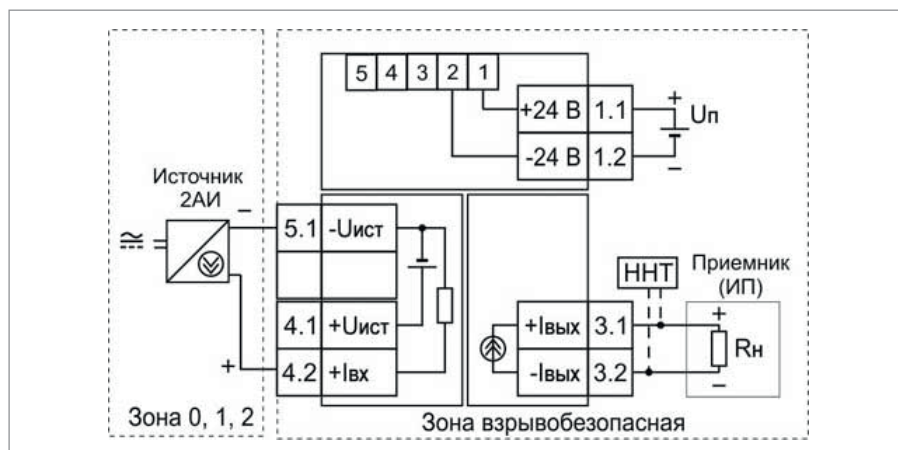


Рис. 3. Пример подключения источника сигнала с активным выходом по трёхпроводной схеме подключения ЗАИ

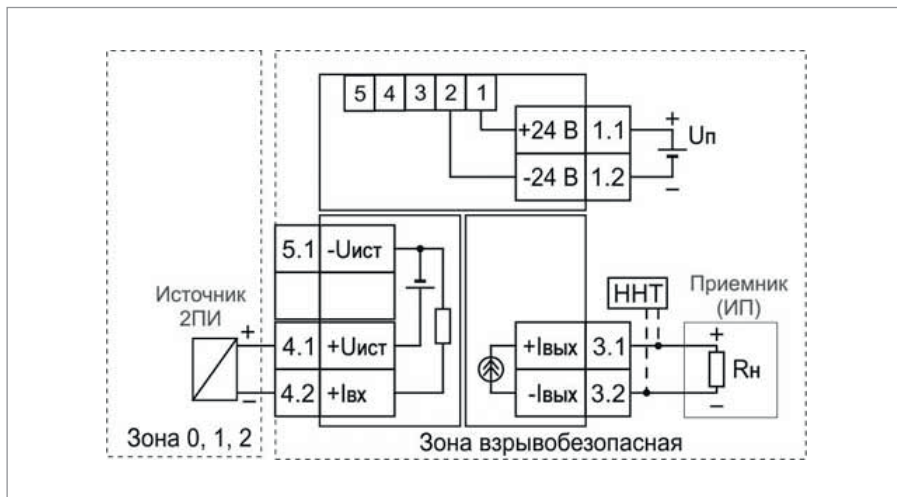


Рис. 4. Пример подключения источника сигнала с пассивным выходом по двухпроводной схеме подключения 2ПИ

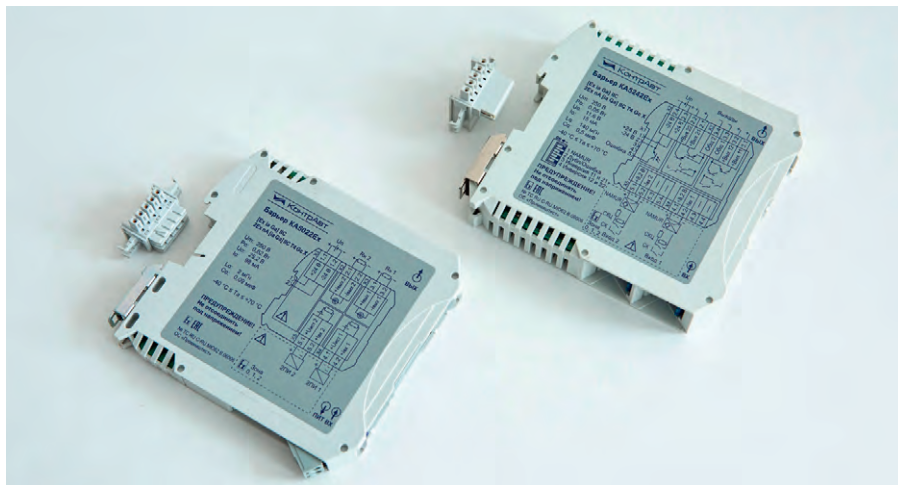


Рис. 5. Шинный соединитель как опция

источника. Если при этом барьер является двухканальным, то у каждого канала присутствует свой источник питания датчика.

Тип выхода

Для барьеров с активными выходными цепями дополнительный источник питания не требуется.

Виды взрывозащиты

Все указанные модели токовых барьеров имеют 2 вида взрывозащиты.

- взрывозащита вида «i» – искробезопасная цепь. В случае появления искры в приборе её мощности будет недостаточно для произведения взрыва. Уровень взрывозащиты – «ia». Маркировка взрывозащиты вида «i» – [Ex ia Ga] IIC;
- взрывозащита вида «n» – неискрящее электрооборудование. В барьерах конструктивно отсутствуют искрящие элементы и нагревающиеся поверхности. Барьеры могут располагаться в зоне 2 во внешней оболочке со степенью защиты не ниже IP54. Маркировка взрывозащиты вида «n» – 2Ex nA IIC T4 Gc X.

Высокий уровень метрологических характеристик

Все барьеры искрозащиты НПФ «Кон-траВТ» гарантируют высокий уровень метрологических характеристик:

- класс точности 0,1;
- широкий диапазон температур эксплуатации (–40...+70°C);
- отличную температурную стабильность;
- высокую степень устойчивости к воздействию электромагнитных помех.

Сертификаты

Барьеры КА5000Ex имеют сертификаты соответствия требованиям технического регламента Таможенного союза «О безопасности оборудования для работы во взрывоопасных средах» (ТР ТС 012/2011) и уровня полноты безопасности 2 (SIL2) и 3 (SIL3).

Дополнительные опции (шинный соединитель и HART)

В качестве первой дополнительной опции в некоторых модификациях всех

моделей токовых барьеров присутствует шинный соединитель (рис. 5).

Наличие шинного соединителя также позволяет организовать питание 24 В группы барьеров. Если на одной DIN-рейке рядом располагается много приборов, то из соображений удобства их питание рекомендуется организовать именно по шине.

Возможны два варианта организации такого питания группы барьеров.

1. Питание подаётся на клеммы одного барьера, далее через него питание поступает на шину и, соответственно, на другие барьеры. Таким способом можно запитать группу до 5 барьеров.
2. Питание можно подать непосредственно на шину с помощью разъёмного клеммного соединителя (не входит в комплект поставки барьеров и приобретается отдельно). Так можно запитать до 30 барьеров любых модификаций.

В качестве второй дополнительной опции данная группа барьеров искрозащиты обеспечивает (там, где это необходимо) передачу сигналов по протоколу HART.

Унифицированный токовый сигнал 4...20 мА довольно часто формируют на выходе весьма интеллектуальные устройства (датчики давления, расхода, температуры со встроенным в головку нормализатором и т.п.).

В этих случаях бывает необходимо кроме передачи основного аналогового сигнала 4...20 мА передавать и дополнительную информацию (данные о процессе, параметры настройки прибора, калибровочные данные, диагностическую информацию) из взрывоопасной зоны.

Есть потребность и в обратной передаче дополнительной информации, например, при дистанционном конфигурировании (настройке) устройства во взрывоопасной зоне. То есть нужно осуществлять двустороннюю передачу цифровых данных без прерывания аналогового сигнала 4...20 мА по тем же линиям.

Такой обмен цифровыми данными обеспечивается по протоколу HART, когда модулированный цифровой сигнал протокола HART накладывается на аналоговый сигнал 4...20 мА. Модификации с протоколом HART доступны у всех моделей барьеров за исключением двухканальных приёмника КА5022Ex и передатчика КА5132Ex.

Итак, мы рассмотрели группу аналоговых барьеров, предназначенных для работы с унифицированным сигналом 4...20 мА, и описали их характеристики. В следующих статьях мы обсудим другие типы барьеров искрозащиты КА5000Ex из широкой номенклатуры НПФ «КонтраВТ». ●



СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

 **33** ГОДА
на рынке

**НОРМИРУЮЩИЕ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ**

СЕРИИ НПСИ



Класс точности 0.1



**БАРЬЕРЫ
ИСКРОЗАЩИТЫ**

СЕРИИ КА5000Ex



В реестре Минпромторга



отгрузка сразу со склада • бесплатная опытная эксплуатация
межповерочный интервал – 5 лет • гарантия на продукцию – 3 года



www.contravt.ru
+7 (831) 260-13-08
sales@contravt.ru

**ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЕ ИЗ
НИЖНЕГО НОВГОРОДА**





Предиктивная диагностика предиктивной диагностике рознь

Николай Лунцев, технический директор ООО «СЦР»

Рынок систем предиктивной диагностики растёт, предлагаемые решения реализованы с использованием различных инструментов и часто основаны на разных принципах работы, при этом стоимость таких систем варьируется в широком диапазоне. Всё это затрудняет выбор. Более того, некоторые продукты лишь позиционируются как предиктивная диагностика, не являясь ею по сути. Данная статья поможет разобраться в существующих на рынке решениях.

Введение: новая карта рынка

Прежде чем переходить к рассмотрению концепций построения систем предиктивной диагностики, их следует классифицировать по степени сложности:

- **Rule-Based (на основе правил)** – простые системы, срабатывающие при превышении пороговых значений параметров. Пример: «Если температура масла > 90°C в течение 5 секунд – возможен отказ по износу». Исторически – самый первый и дешёвый тип;
- **Trend-Based (на основе трендов)** – системы, анализирующие скорость изменения параметров. Они выдают предупреждение при обнаружении устойчивого тренда (например, рост вибрации), но не определяют тип неисправности и могут прогнозировать лишь время достижения аварийной уставки;
- **RUL – Remaining Useful Life (остаточный ресурс)** – «золотой стандарт» пре-

диктивной диагностики. Системы выдают конкретный прогноз, например: «До разрушения подшипника осталось 237 ±12 часов». Они используют ML-модели, обученные на исторических данных деградации простых узлов. Однако такие модели не применимы к сложным узлам из-за их уникальных характеристик, а сами данные о деградации – большая редкость;

- **Anomaly Detector (детектор аномалий)** – наиболее сложный тип. ML-модели обучаются на нормальных режимах работы и ищут любые отклонения, в том числе ранее неизвестные. Недостатки: склонность к ложным срабатываниям на новых режимах и необходимость экспертной интерпретации.

На практике самые эффективные решения – **гибридные системы**, сочетающие все вышеописанные типы предиктивного анализа.

На рис. 1 представлена хронология появления систем предиктивной диагностики каждого типа.

История предиктивной диагностики началась в 1981 году с системы Westinghouse Process Diagnosis System. Основанная на правилах, она имитировала логику экспертов, обрабатывая тысячи сигналов, – это была одна из первых систем **Rule-Based**.

В середине 1990-х OSIsoft разработала программный модуль PI Performance Equations в составе PI System, который автоматизировал вычисления, включая анализ трендов, что дало толчок развитию уровня **Trend-Based**.

С приходом машинного обучения в начале 2000-х произошёл прорыв в развитии систем предиктивной диагностики. В 1999 году из Аргоннской национальной лаборатории выделилась SmartSignal – один из пионеров в области детекции аномалий – уровень **Anomaly Detector**. В эти же годы появляются первые систе-

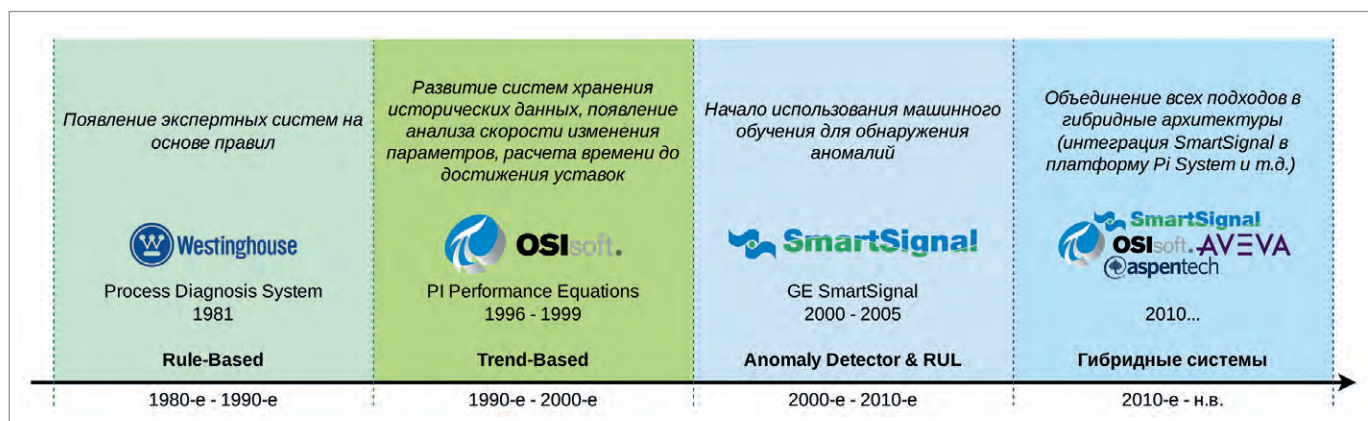


Рис. 1. Хронология появления систем предиктивной диагностики

мы расчёта остаточного ресурса (**RUL – Remaining Useful Life**).

В конце 2009 года SmartSignal выпустил xConnector, обеспечивший двустороннюю интеграцию с PI System и объединивший классические методы анализа с ML-моделями – это стало началом распространения **гибридных систем** предиктивной диагностики.

Быстрый прогресс в сфере информационных технологий привёл к тому, что сегмент предиктивной диагностики перестал быть нишевым. Если ранее здесь действовали только пионеры – компании, о которых говорилось выше (OSIsoft, AVEVA, AspenTech и др.), то сегодня к разработке таких систем подключились новые участники, которые вместе с пионерами образуют четыре основные группы разработчиков:

- **пионеры** – классические первопроходцы рынка предиктивной диагностики: OSIsoft, AVEVA, AspenTech и т.д.;
- **промышленные холдинги** – крупные промышленные объединения, выступающие через свои «цифровые дочки»: «СИБУР Диджитал», «Газпромнефть – Цифровые Решения», «НЛМК ИТ» и т.д.;
- **крупные IT-вендоры** – крупные IT-компании непромышленного профиля: «Яндекс», «Сбер», «Лаборатория Касперского» и т.д.;
- **технологические последователи** – относительно молодые IT-компании, специализирующиеся на промышленных решениях и выступающие современными аналогами пионеров: АО «Ротек», ООО «ИнфТех», ООО «Смарт Цифровые Решения» и т.д.

У каждой из этих групп разный профессиональный опыт, поэтому их подходы к созданию предиктивной диагностики существенно отличаются.

Мы будем рассматривать особенности построения систем предиктивной диагностики, отталкиваясь от того, кем является разработчик: пионер-первопроходец, промышленный холдинг, непромышленный IT-вендор или технологический последователь.

Пионеры: эволюция и вызовы современности

Исторически компании-пионеры развивались вместе с нефтегазовым, химическим и энергетическим секторами. Их системы изначально создавались для решения специфических задач: работы с непрерывными производственными процессами, обработки специфических массивов данных (временных рядов) и обеспечения высочайшей надёжности.

Классический пример того, как удачное технологическое решение, найденное для конкретной проблемы в нефтегазовой отрасли, выросло в мировой стандарт сбора и управления производственными данными, – это PI System от OSIsoft.

Предиктивная диагностика от OSIsoft – это не одно конкретное приложение, а комплексная экосистема на базе платформы PI System, в которую могут интегрироваться сторонние решения, например SmartSignal.

Разработка платформы началась в 1983 году, а ключевым моментом стал проект для нефтяной компании Marathon Oil, которой требовался инструмент долгосрочного хранения исторических данных для последующего анализа технологических процессов и причин отказа оборудования. Системы автоматизации тех лет предусматривали хранение только кратковременных архивов, которые располагались непосредственно в контроллерах, что сильно ограничивало возможности анализа.

В 1987 году (через 4 года после начала разработки) OSIsoft внедрила на производстве Marathon Oil первую версию PI System. Это был не просто архив, а исторический сервер данных реального времени. Главной инновацией стал сам подход: система не просто хранила исторические значения параметров, а делала это эффективно, сжимая их без потери точности, что позволяло хранить годы истории.

Позднее этот функционал был выделен в отдельный продукт – PI Historian, который сегодня служит фундаментом всей платформы PI System. Таким образом, на создание первой версии базы данных реального времени у OSIsoft ушло 4 года, а общий срок развития решения уже превысил 43 года.

В ходе развития своей платформы OSIsoft разработала более 400 интерфейсов для подключения к системам крупнейших производителей средств автоматизации (Emerson, ABB, Honeywell, Rockwell, Siemens, Yokogawa, GE и т.д.). Ни одна другая группа разработчиков предиктивной диагностики не обладает такими широкими интеграционными возможностями.

С 2010-х годов (около 16 лет назад) на рынке начали активно появляться открытые (open-source) базы данных для хранения временных рядов (исторических данных). Их появление было обусловлено потребностями самой IT-индустрии – необходимо было собирать, хранить и анализировать IT-метрики: загрузку серверов, температуру процессоров, свободный объём памяти и т.д. По своей

сути эти метрики аналогичны данным с датчиков промышленных установок.

Среди популярных open-source решений можно выделить: InfluxDB, OpenTSDB, timescaleDB (расширение для PostgreSQL). Ключевым преимуществом этих баз данных является возможность интеграции с современными открытыми цифровыми инструментами, такими как:

- Grafana (визуализация данных);
- Python (анализ данных);
- Pandas и Polars (обработка данных);
- Patroni (резервирование и отказоустойчивость для PostgreSQL).

Сегодня AVEVA (текущий владелец PI System) сталкивается с необходимостью значительных инвестиций в развитие собственной экосистемы. Это связано с тем, что PI System построена на проприетарных компонентах и не интегрируется с популярными открытыми решениями. Компании приходится самостоятельно развивать:

- собственную базу данных (PI Historian) – вместо использования готовых open-source аналогов (InfluxDB, OpenTSDB, timescaleDB);
- библиотеки анализа данных – из-за отсутствия интеграции с универсальными инструментами (Python, Pandas, Polars);
- инструменты визуализации (PI Vision) – так как PI System не поддерживает подключение к популярным решениям вроде Grafana;
- подсистему резервирования, поскольку открытые инструменты резервирования (например, Patroni для PostgreSQL) разрабатываются под открытые базы данных и не подходят для проприетарных решений.

Указанное выше характерно практически для всех «пионеров» рынка; в итоге даже при постоянных инвестициях эти компании не могут догнать по скорости развития открытые решения. Для сравнения: сообщество PostgreSQL насчитывает более 700 активных разработчиков, а IT-гиганты вроде Microsoft, AWS, VMware, Amazon и другие спонсируют его развитие. При этом все затраты на развитие собственной экосистемы «пионеры» закладывают в цену своих решений, в том числе из-за этого предиктивная диагностика от таких компаний – самая дорогая.

Если говорить о концепциях построения систем предиктивной диагностики, то у «пионеров» рынка они самые совершенные, и конечно же, это гибридные системы, работающие как конвейер последовательного анализа данных, состоящий из следующих уровней.

- **Уровень 0. Источники данных:** АСУ ТП / SCADA.
 - **Уровень 1. Пороговый фильтр (Rule-Based):** отсеивание сбоев, шума и безопасных режимов; детекция явных угроз по обширной базе жёстких правил.
 - **Уровень 2. Фильтр тенденций (Trend-Based):** отсеивание случайных флуктуаций, выделение устойчивых тенденций и прогноз достижения уставок.
 - **Уровень 3. Детектор аномалий (Anomaly Detector):** проверка выявленных на предыдущем уровне тенденций – отделение реальных аномалий от смены режимов работы или внешних условий.
 - **Уровень 4. Расчёт остаточного ресурса (Remaining Useful Life – RUL):** прогноз времени до отказа оборудования.
 - **Уровень 5. Экспертное решение:** решение эксперта о необходимости остановки или смены режима установки.
 - **Уровень 6. База знаний:** накопление данных для последующего дообучения/переобучения моделей на уровнях 3 и 4.
- Такая концепция позволяет обеспечить отличный баланс между точностью прогнозов и необходимыми вычислительными ресурсами. Пример схемы гибридной системы предиктивной диагностики приведён на рис. 2.

Подытоживая, необходимо отметить следующие преимущества решений от «пионеров» рынка.

- **Доверие и референсы** в промышленности. Предиктивная диагностика от первопроходцев – это «стандарт де-факто».
- **Глубокая физическая экспертиза.** Эти компании выросли из инженеров-механиков, вибродиагностов; они не будут искать корреляции там, где её нет, не станут связывать высокую вибрацию с подшипником, когда причина в расцентровке вала или резонансе фундамента.
- **Широкие интеграционные возможности.** За десятилетия работы «пионеры» разработали огромное множество протоколов взаимодействия с АСУ ТП

(Modbus, Profibus, старые контроллеры и т.д.).

- **Возможность расчёта остаточного ресурса.** Первопроходцы предиктивной диагностики обладают уникальными массивами исторических данных деградации различных типов узлов (подшипников, муфт и т.д.). Именно такие данные позволяют обучать модели, способные прогнозировать остаточный ресурс (RUL).

К недостаткам же можно отнести следующее.

- **Невозможность приобретения и получения поддержки.** В настоящий момент западные вендоры не продают лицензии на использование своих решений российским предприятиям, а также отказываются оказывать поддержку по уже приобретённым решениям.
- **Высокая стоимость.** Расходы по развитию своей экосистемы «пионеры» закладывают в стоимость конечного продукта.

Промышленные холдинги: вопреки санкциям

Санкции 2022–2026 годов стали не только внешним шоком, но и триггером глубокой трансформации. Крупные промышленные холдинги, такие как «Сибур», «НЛМК», «Северсталь», «Газпром нефть» и т.д., эксплуатирующие западные системы предиктивной диагностики, столкнулись со сложностями продления лицензий и получения технической поддержки. Это спровоцировало создание собственных систем, так как готовые российские аналоги не подходили под их специфику. В результате эти компании превратились из потребителей западных технологий в создателей собственных решений.

Предиктивная диагностика собственной разработки по сравнению с типовыми «коробочными» решениями обладает рядом преимуществ:

- **глубокая адаптация под конкретное производство.** Типовые «коробочные»

системы неспособны учесть все особенности уникальных предприятий; например, на заводах «Сибура» есть агрегаты ещё советских времён и современные зарубежные установки;

- **контроль над данными и безопасностью.** Промышленные данные часто содержат конфиденциальную информацию о технологических процессах, состоянии оборудования и других аспектах производства. Разработка собственных систем позволяет холдингам гарантированно сохранять контроль над этими данными;
- **оптимизация затрат в долгосрочной перспективе.** Хотя разработка собственной системы требует значительных начальных инвестиций, в долгосрочной перспективе это может быть экономически выгодно. Разработка собственных систем даёт возможность гибко адаптировать и масштабировать решения в соответствии с растущими потребностями бизнеса.

К недостаткам и рискам разработки собственных решений предиктивной диагностики можно отнести:

- **высокие первоначальные затраты.** Создание платформы с нуля требует колоссальных инвестиций;
- **дефицит кадров.** Промышленным холдингам сложно конкурировать за сильные команды с крупными IT-вендорами («Яндекс», «Сбер»). Удержание высококлассных IT-специалистов в металлургии или нефтехимии требует создания особых условий и сильного HR-бренда;
- **риск «изобретения велосипеда».** Пытаясь закрыть все потребности самостоятельно, холдинги могут тратить годы на написание базовых модулей (визуализация, интеграционные шины, аналитические модули и т.д.), которые на рынке уже давно существуют в виде зрелых открытых или коммерческих библиотек.

Разработка собственных систем предиктивной диагностики оправдана толь-

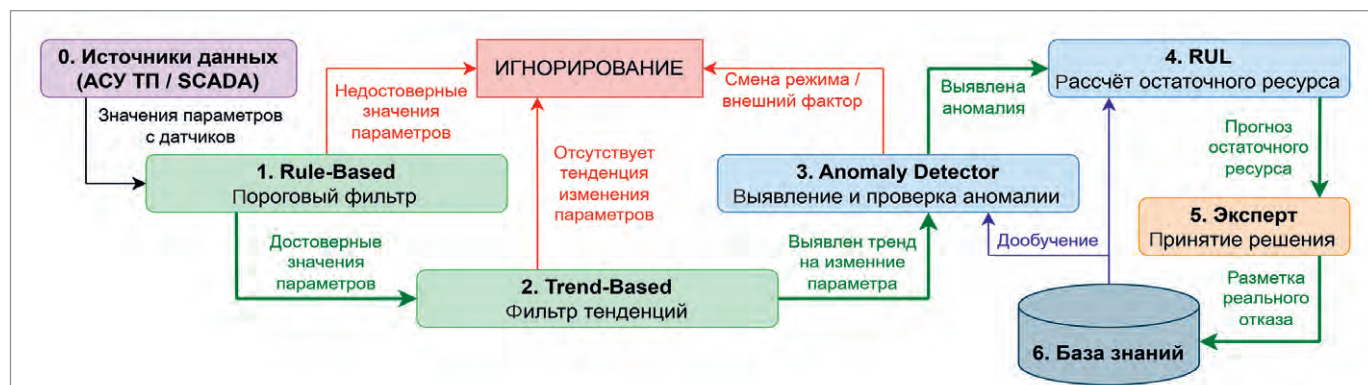


Рис. 2. Пример схемы гибридной системы предиктивной диагностики

ко для гигантов с сотнями тысяч единиц критического оборудования, где цена одной предотвращённой аварии перекрывает затраты на содержание целого IT-департамента, а созданное решение можно будет масштабировать на десятки производственных площадок.

В большинстве случаев архитектуру систем предиктивной диагностики промышленные холдинги позаимствовали у компаний-первопроходцев, при этом каждый разработчик внёс в описанную выше схему специфические изменения.

Так, например, в «Сибуре» на уровне Rule-Based реализовали многомерную матрицу допустимых состояний, в соответствии с которой определяется то, как именно дальше будут обработаны сигналы.

Для каждого состояния предусмотрен свой набор конфигураций выявления тенденций на уровне Trend-Based и ML-моделей на уровнях Anomaly Detector и RUL. В системе «Сибур» уровень Rule-Based – это уже не простой пороговый фильтр, а сложный классификатор режимов работы, определяющий для каждого технологического состояния свой сценарий аналитической обработки данных.

Интересным решением является предиктивная диагностика компании «Газпромнефть – смазочные материалы». Благодаря глубокой экспертизе компании в производстве масел её система G-Lab оценивает состояние оборудования не напрямую, а через анализ параметров смазочной жидкости, которая используется в диагностируемом оборудовании. Анализ выполняется моделями машинного обучения, в ходе которого сопоставляются показатели масла из маслосистемы оборудования с накопленными данными из базы данных, которая формировалась более 10 лет.

Благодаря автоматизации физико-химического анализа масла, которую компания реализовала в своей системе, время исследования сократилось до 10 минут (классическое лабораторное исследование проб масла занимает несколько дней). Это позволяет в перспективе включить результаты экспресс-анализа в контур гибридных систем предиктивной диагностики – как дополнительный источник данных на уровне 0 наряду с телеметрией АСУ ТП / SCADA, обеспечивая их обработку на всех последующих уровнях аналитики.

В настоящий момент предиктивная диагностика G-Lab используется в том числе на собственных предприятиях «Газпромнефть-СМ».

IT-вендоры: платформы и конвергентная аналитика

Помимо промышленных гигантов, на рынок предиктивной диагностики активно выходят крупные IT-компании, которые обладают рядом преимуществ по сравнению с другими игроками рынка:

- **глубокие компетенции в ИИ и больших данных.** В этих компаниях работают лучшие на рынке специалисты в области разработки ПО и машинного обучения. Также они обладают огромными центрами исследований и разработки (R&D-центры);
 - **высокая масштабируемость.** IT-компании привыкли работать с миллионами пользователей. Их системы легко масштабировать с одной установки на целый завод.
- К недостаткам таких компаний можно отнести:
- **отсутствие отраслевой экспертизы.** IT-компании, не специализирующиеся

Барьеры искрозащиты

надежное решение для обеспечения искробезопасности цепей

	Широкий спектр промышленных сигналов
	Тройная изоляция цепей
	Широкий диапазон напряжений питания 18...60 В пост. тока, с возможностью питания по общей шине
	Рабочая температура -20...+60°C
	Уровень безопасности SIL2/SIL3, сертификат Ex (TP TC 012/2011)
	Богатый функционал: <ul style="list-style-type: none"> • программируемый ввод, • высокоточная термокомпенсация, • высокий уровень ЭМС, • защиты от перенапряжения и т.д.

Официальный дистрибьютор

+7 (495) 234-06-36
info@prosoft.ru

www.prosoft.ru

на промышленности, могут не до конца понимать специфику конкретного производства, особенности оборудования и технологические процессы. Это может затруднять настройку моделей и интерпретацию результатов;

- **неумение работать с «грязными» промышленными данными.** IT-компании привыкли работать с чистыми данными из финтеха. В промышленности данные «шумные»: датчики могут отказывать, АЦП выдают погрешности, а в измерительных каналах могут возникать помехи из-за внешнего электромагнитного воздействия;

- **сложности интеграции с оборудованием.** IT-компании пишут софт под современные открытые протоколы сбора данных (OPC UA, MQTT и т.д.), но на реальном производстве эксплуатируются системы АСУ ТП и MES, поддерживающие проприетарные протоколы передачи данных (OPC DA, Profibus и т.д.).

«Яндекс» и «Сбер» не стали выпускать готовые решения для промышленности. Вместо этого они предложили предприятиям свои облачные платформы – **Yandex Cloud** и **SberCloud (Platform V)**. Это не просто хранилища данных, а полноценные AI-платформы со встроенными инструментами аналитики. Возможности этих платформ впечатляют, но не все предприятия имеют необходимый штат специалистов для построения своих решений на этих платформах. Также надо учитывать, что подключение к облачным сервисам и внешним аналитическим решениям повышает угрозы, связанные с кибератаками и утечками данных.

«Лаборатория Касперского» разработала предиктивную диагностику **Kaspersky MLAD** в соответствии с традиционной гибридной концепцией, наделив её двумя ключевыми отличиями:

- система детектирует как технические неисправности (износ, кавитация, засоры, нарушение теплообмена и т.д.), так и киберугрозы (подмену данных, вредоносные команды, действия инсайдеров и т.д.);
- аналитика охватывает не только непрерывные временные ряды телеметрии, но и последовательности дискретных событий, что позволяет учитывать контекст смены режимов и действий персонала.

Однако в открытых источниках нет информации о возможности **Kaspersky MLAD** прогнозировать остаточный ресурс (RUL); это можно объяснить отсутствием у компании необходимых исторических данных деградации отдельных узлов, которые являются прерогативой «пионеров».

Kaspersky MLAD может устанавливаться на инфраструктуре предприятия, а также доступно как облачное решение.

Интересным решением оказалось применение генеративного ИИ – больших языковых моделей (LLM) в предиктивной диагностике. В 2024 году совместный проект «Сибура», «Сбера» и ЦРТ «AI-ассистент инженера-диагноста» вошёл в тройку лучших на международном конкурсе промышленных инноваций БРИКС. «AI-ассистент инженера-диагноста» представляет собой чат-бот на базе GigaChat от «Сбера», который ЦРТ интегрировала в промышленную инфраструктуру «Сибура», научив языковую модель понимать профессиональный язык нефтехимиков и правильно интерпретировать технические описания, термины, сокращения, числовые значения параметров и т.д.

В итоге инженер-диагност получает интеллектуального ассистента, который позволяет ему в несколько раз быстрее анализировать нештатные ситуации: вместо того чтобы вручную перебирать справочники, отчёты по прошлым инцидентам и т.д., он просто текстом описывает проблему, а AI-ассистент мгновенно формулирует гипотезы о вероятных причинах аномалии и предлагает варианты устранения неисправности. Это сокращает время принятия решений и помогает менее опытным специалистам работать с эффективностью эксперта, при этом финальный диагноз и ответственность за ремонт остаются за человеком.

Технологические последователи: молодые драйверы промышленной аналитики

К числу технологических последователей на российском рынке предиктивной диагностики относятся такие компании, как АО «Ротек», ООО «ИнфТех», ООО «Смарт Цифровые Решения» и другие. Эта группа разработчиков – самая динамичная и практичная. В отличие от «пионеров», они не обременены наследием проприетарных технологий 1980-х годов. В то же время они обладают глубокими инженерными знаниями в вибродиагностике и механике – тем, чего чаще всего не хватает IT-гигантам. А от промышленных холдингов их отличает бизнес-модель, с самого начала ориентированная на создание тиражируемых готовых продуктов для индустрии.

Фактически они выступают «золотой серединой»: сочетают физическую экспертизу «пионеров» с гибкостью современного стека открытых технологий, предлагая решения, которые быстрее внедряются и стоят дешевле.

Решения, созданные технологическими последователями, имеют следующие преимущества:

- **низкая стоимость.** Лицензии и внедрение обычно в разы дешевле решений от IT-гигантов и «пионеров» рынка;
- **высокая скорость внедрения.** Пилотные проекты запускаются за 1–3 месяца, полноценное развёртывание – за 3–6 месяцев;
- **поддержка и развитие.** Реакция на запросы измеряется днями, а не неделями;
- **открытость и интеграция.** Легко встраиваются в существующий цифровой ландшафт предприятия, поддерживают открытые API и стандарты обмена данными.

К недостаткам можно отнести:

- **риск устойчивости бизнеса.** Некоторые компании существуют менее 10 лет;
- **риск попасть на недобросовестного разработчика.** Рынок переполнен некомпетентными игроками, спекулирующими на теме предиктивной аналитики, без реального опыта, и выдающими желаемое за действительное.

Один из самых известных и зрелых продуктов на рынке от технологических последователей – «ПРАНА» (Прогнозная Аналитика). Этот программный комплекс разработан компанией «Ротек», которая изначально специализировалась на сервисном обслуживании газовых турбин. Как и пионеры отрасли, АО «Ротек» при разработке своей предиктивной диагностики опиралось в первую очередь на компетенции инженеров-механиков и вибродиагностов.

Разработка системы «ПРАНА» началась в 2011 году. Постепенно функционал системы расширялся: в 2018 году в системе появился акустико-эмиссионный анализ и модели машинного обучения, в 2019-м начали применяться нейросети.

Понимая важность правильной интерпретации прогнозов системы, «Ротек» в 2015 году открыл ситуационный центр, в который передаются данные с объектов, оснащённых системой «ПРАНА», и в котором эксперты «Ротек» могут верифицировать прогнозы системы и давать рекомендации предприятиям.

Однако такая архитектура предполагает передачу промышленных данных во внешнюю, не контролируемую предприятием информационную инфраструктуру, что создаёт потенциальные риски для заказчика. С 2022 года эти риски нивелированы: появилась возможность развёртывания ПРАНА полностью внутри информационного контура предприятия.



Рис. 3. Концепции реальной и псевдопредиктивной диагностики

Первоначально «ПРАНА» создавалась для самых сложных агрегатов – газовых турбин, но впоследствии её гибкость позволила использовать систему для любого промышленного оборудования.

Предиктивная диагностика от ООО «Смарт Цифровые Решения» (СПИР Sdisol PAD) построена по гибридной схеме и включает в себя уровни: **Rule-Based**, **Trend-Based** и **Anomaly Detector**.

Отсутствие значительного объёма исторических данных деградации различных типов узлов не позволило реализовать в Sdisol PAD уровень расчёта остаточного ресурса (RUL); вместо этого в системе предусмотрен другой практический подход – расчёт интегрального показателя суммарного негативного воздействия на узел. Этот механизм особенно ценен для однотипного оборудования, поскольку сравнение полученных оценок позволяет ранжировать узлы по степени износа, выявлять экземпляры, работающие в наиболее тяжёлых условиях, и оперативно планировать ремонты, фокусируясь в первую очередь на критически нагруженном оборудовании даже без точного прогноза времени до отказа.

Помимо этого, в Sdisol PAD реализован механизм расчёта интегральных оценок эффективности сменного персонала – функция, которая традиционно находится за пределами задач предиктивной диагностики. Однако именно эта функция позволяет системе не просто предсказывать отказ оборудования, но и оценивать, насколько качественно персонал эксплуатирует оборудование и оперативно реагирует на сформированные системой сообщения, в том числе и прогнозные. Это нестандартный, но крайне востребованный функционал, который выводит систему за рамки «диагностика» и превращает её в инструмент управления эффективностью и дисциплиной персонала.

Подробно о численных и математических методах анализа данных, приме-

няемых в Sdisol PAD, а также об анализе данных моделями машинного обучения интегральных оценках эффективности сменного персонала и суммарных оценках негативного воздействия на узел рассказывалось в предыдущих статьях:

- СТА 4'25 «Численный и математический анализ при диагностике динамического оборудования»;
- СТА 1'26 «Использование машинного обучения при диагностике КИП и динамического оборудования»;
- СТА 2'26 «Методы оценки эффективности сменного персонала на промышленных предприятиях».

Спекулянты: когда предиктивная диагностика существует только в рекламных буклетах

Спекулянты – это компании, которые продают не решение, а мечту о решении, не имея для этого необходимой экспертизы, данных и технологий. Их главные инструменты – громкий маркетинг и необоснованные обещания, а главная опасность для бизнеса – потерянные деньги и время, а также упущенная возможность реально повысить надёжность эксплуатации оборудования.

В маркетинговых материалах спекулянтов акцент смещён в сторону модных терминов: «нейросети», «искусственный интеллект», «цифровые двойники», тогда как проверенные временем методы численного и математического анализа, статистики остаются за кадром.

Однако эти классические подходы не утратили своей актуальности: именно они лежат в основе уровней Rule-Based и Trend-Based в любой гибридной системе предиктивной диагностики, и игнорировать их могут лишь те, кому нечего предложить взамен.

Выбирая систему предиктивной диагностики, важно понимать, на каких принципах она построена и что именно она анализирует. Всё чаще под видом предиктивной диагностики продают продукты, которые оперируют лишь архивной статистикой ТОиР и статистикой отказов, игнорируя реальные параметры работы оборудования. Такие системы не анализируют фактическое состояние оборудования, а лишь экстраполируют прошлые статистические закономерности на будущее. Это не прогнозирование, а статистическое моделирование на основе усреднённых цифр – без учёта реальной динамики износа и без возможности обнаружить аномалию до того, как она приведёт к отказу. Без анализа «живых» данных такие системы бесполезны для предотвращения аварий, поскольку приходят к выводу задним числом, когда отказ уже вошёл в статистику – многократно повторился. Наглядное представление концепций реальной и псевдопредиктивной диагностики приведено на рис. 3.

Ярким примером псевдопредиктивной диагностики является одна из систем диагностики технического состояния РВС (Резервуара Вертикального Стального), с разработчиками которой нашей команде довелось пообщаться.

Система «прогнозировала» текущую степень коррозионного износа каждого листа стали, из которого состоит стенка резервуара, на основе архива статистических данных ТОиР схожих резервуаров. Вместо анализа фактического состояния конкретного резервуара система использовала обобщённые данные по похожим объектам. Это не предиктивная диагностика, а статистическое моделирование – по сути, расчёт «средней температуры по больнице».

После продолжительного общения выяснилось, что для точных прогнозов в систему требуется ручной ввод результатов измерения толщины каждого листа металла, из которого состоит резервуар, выполняемых дефектоскопистом не реже чем один раз в календарный год. Но если замеры уже есть, то прогноз становится избыточным: дефектоскопист и так знает текущее состояние металла, а ежегодный контроль и так является стандартной процедурой технического надзора. Прогноз становится не просто избыточным – он становится бесполезным, дублирующим уже существующую информацию.

Никакого обнаружения аномалий, никакого раннего предупреждения, никакого анализа динамики в реальном времени – всего лишь элементарная экстраполяция, которую можно сделать в Excel.

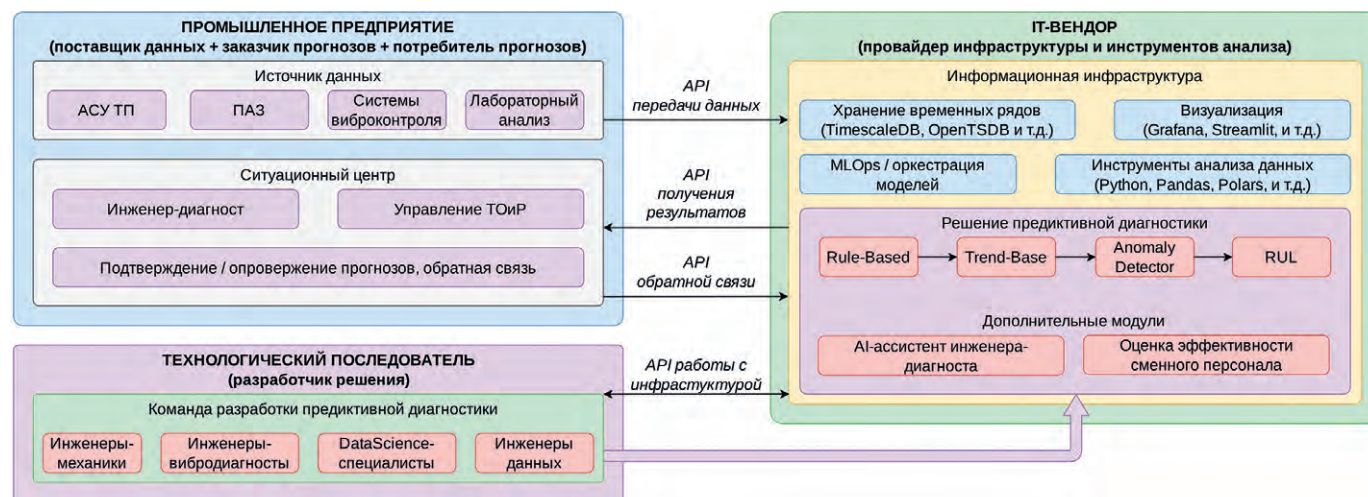


Рис. 4. Пример схемы предиктивной диагностики, организованной как симбиоз между промышленным предприятием, IT-вендором и технологическим последователем

Примечательно, что объект диагностики выбран неслучайно. РВС – это статическое сооружение с большим запасом прочности, деградация которого происходит медленно, предсказуемо. Именно такие объекты становятся благодатной почвой для псевдопредиктивных решений – ведь долгий срок службы резервуара позволяет годами выдавать статистические оценки за прогноз.

Попытка же применить аналогичный подход к динамическому оборудованию – турбинам, компрессорам, насосам – с высокой вероятностью обернется провалом. Там скорости изменения параметров на порядки выше, нелинейности критичнее, а цена ошибки измеряется не миллионами рублей за ремонт, а остановкой целого производства.

Этот случай – характерный симптом системной проблемы: когда за предиктивную диагностику выдаётся обычная статистическая обработка данных, а реальная ценность для эксплуатационного персонала подменяется иллюзией контроля. Рынок переполнен такими решениями, и опасность их не только в бесполезности, но и в том, что они создают ложное чувство безопасности – куда более дорогую ошибку, чем отсутствие предиктивной диагностики вообще.

Резюме: светлое будущее предиктивной диагностики

Рынок предиктивной диагностики в России вступает в фазу зрелости. Санкционное давление ускорило процесс импортозамещения, но одновременно создало питательную среду для компаний-спекулянтов, использующих маркетинговую шумиху вместо инженерии. Однако конкурентное преимущество в долгосрочной

перспективе останется не за теми, кто громче обещает, а за теми, кто может доказать эффективность своих решений на реальных данных и реальном оборудовании. Неэффективные решения будут отсеиваться, а лучшие практики – тиражироваться. Наиболее устойчивыми окажутся те системы, которые:

- опираются на классические методы анализа (численный математический, статистический) как фундамент;
- используют машинное обучение для решения конкретных, а не гипотетических задач;
- дают заказчику прозрачный и интерпретируемый прогноз, а не «чёрный ящик».

Скорее всего, тенденциями ближайших лет в развитии систем предиктивной диагностики будут:

- консолидация вокруг гибридных архитектур: Rule-Based + Trend-Based + Anomaly Detector + RUL (где это возможно) станут обязательным минимумом для промышленных систем предиктивной диагностики;
- развитие открытых экосистем: проприетарные решения будут проигрывать тем, кто интегрируется с современным open-source стеком (Polars, Grafana, timescaleDB и т.д.);
- применение генеративного ИИ: специализированные чат-боты (как «AI-ассистент инженера-диагноста» от «Сбера», ЦРТ и «Сибура») на основе больших языковых моделей (LLM – Large Language Model) станут значительным конкурентным преимуществом в системах предиктивной диагностики;
- интеграция человеческого фактора в управление надёжностью: системы, учитывающие человеческий фактор (как Sdisol PAD с оценкой эффектив-

ности смен), получат дополнительное преимущество.

В конечном счёте, качественная предиктивная диагностика – это не просто снижение аварийности и оптимизация ТОиР. Это новая культура управления надёжностью, где данные, технологии и специалисты работают как единое целое. И эта культура – уже реальность для тех, кто готов разбираться, а не просто верить рекламным буклетам. На сегодняшний день на рынке предиктивной диагностики все участники (за исключением «Яндекса» и «Сбера») пытаются создать свою систему предиктивной диагностики самостоятельно, без привлечения сторонних компетенций. На этом фоне особенно показателен совместный проект «Сбера», ЦРТ и «Сибура» – «AI-ассистент инженера-диагноста», который является примером симбиоза, а не конкуренции между IT-компаниями и инженерной школой.

В идеальном будущем роли участников рынка предиктивной диагностики могут разделиться:

- промышленные предприятия могут стать одновременно поставщиками данных и конечными заказчиками прогнозов – они будут предоставлять массивы телеметрии и формулировать требования к результатам;
- крупные IT-вендоры обеспечат инфраструктуру: платформы для хранения, обработки и визуализации данных и инструменты для машинного обучения;
- технологические последователи, в свою очередь, на основе этих платформ и данных будут строить системы предиктивной диагностики – от пороговых фильтров до детекторов аномалий и прогнозов остаточного ресурса.

Пример схемы предиктивной диагностики, организованной как симбиоз

между промышленным предприятием, IT-вендором и технологическим последователем, представлен на рис. 4.

Предприятия получают возможность выбирать наиболее эффективные решения, сравнивая их на единых данных.

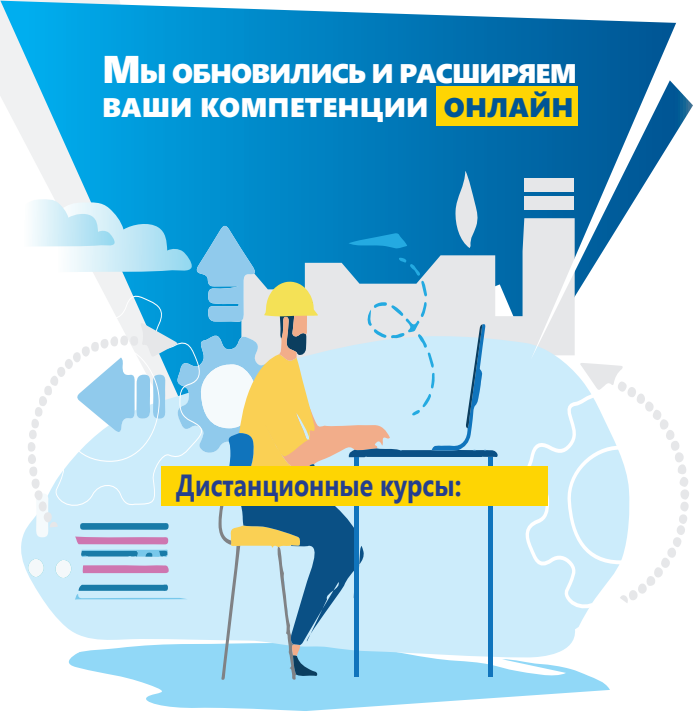
Показательным примером эффективной модели взаимодействия заказчика, платформы и разработчиков служит эксперимент Департамента здравоохранения Москвы по внедрению искусственного интеллекта в медицину. Суть проекта заключалась в том, что разработчики ИИ-сервисов для анализа медицинских изображений (маммограмм, КТ, флюорографий) получили доступ к Единому радиологическому информационному сервису (ЕРИС) – реальной операционной среде московских поликлиник и больниц. Их алгоритмы не тестировались в изолированных лабораториях, а непосредственно помогали врачам в повседневной работе, обрабатывая реальные клинические данные. Департамент здравоохранения оценивал результаты по объективным критериям: точность диагностики, снижение нагрузки на врачей, скорость обработки. На основании этих данных распределялись гранты. В эксперименте участвовали десятки компаний, в том числе «Айра

Лабс», «Медицинские скрининг-системы», «Платформа Третье мнение», «СиВиЖн-Лаб», «Интел Диагностик» и другие. За несколько лет были представлены сотни ИИ-сервисов, а объём обработанных клинических данных стал одним из крупнейших в мире. Этот эксперимент доказал жизнеспособность модели, при которой заказчик (в данном случае – город в лице Департамента здравоохранения) предоставляет единую платформу и данные, а разработчики соревнуются за качество решений. Победители получают не только гранты, но и возможность дальнейшего внедрения. В случае с промышленной предиктивной диагностикой предприятия становятся и заказчиками, и поставщиками данных, IT-гиганты предоставляют платформы, а технологические последователи соревнуются за точность прогнозов на единых данных.

Литература

1. «Process Diagnosis System (PDS) – A 30 Year History». URL: <https://eil.mie.utoronto.ca/wp-content/uploads/2015/06/thompson-iaai2015.pdf>.
2. «СИБУР внедряет в свои процессы нейросетевую модель GigaChat». URL: <https://www.sibur.ru/ru/press-center/news-and-press/cibur-vnedryaet-v-svoi-protsessy-neyrosetevuyu-model-gigachat/>.

3. «История развития системы предиктивной аналитики ПРАНА». URL: <https://prana-system.com/istoriya-razvitiya/>.
4. «Промышленный интернет и прогностика спасут энепретику от аварий». URL: <https://www.eprussia.ru/epr/326/6554425.htm>.
5. «Разработчики ИИ-диагностики получили более 112 млн рублей от ДЗМ». URL: https://vademec.ru/news/2026/04/16/razrabotchiki-ii-diagnostiki-poluchili-bolee-112-mln-rublej-ot-dzm/#modal_fail.
6. «Более трёх миллионов исследований проанализировали рентгенологи с помощью искусственного интеллекта». URL: <https://gp214.mos.ru/news/Boleetrekhsillionovissledovaniyproanalizirovalirentgenologispomoshchyuiskusstvennogointellekta/>.
7. «Не зависеть от импорта: «Газпромнефть-СМ» создала цифровой сервис предиктивной диагностики промышленного оборудования и техники». URL: <https://заводы.рф/publication/ne-zaviset-ot-importa-gazpromneft-sm-sozdala-cifrovoy-servis-prediktivnoy-diagnostiki>.
8. «Marathon Oil (PI System)». URL: https://www.tadviser.ru/index.php/Проект:Marathon_Oil_%28PI_System%29.
9. «The data historian's history told». URL: <https://www.controleng.com/the-data-historians-history-told/>.





**УЧЕБНЫЙ ЦЕНТР
ПРОСОФТ-МОСКВА**

SCADA-СИСТЕМЫ

- MasterSCADA 4D. Базовый курс
- Основы работы с программным пакетом ICONICS GENESIS64

ПРОГРАММИРОВАНИЕ ПЛК

- Работа с контроллерами FASTWEL I/O и WAGO I/O в среде CODESYS V2.3
- Интеграция панелей Weintek в АСУ ТП на базе отечественных ПЛК

Возможность разработки индивидуальных учебных программ по требованиям заказчика



ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636
INFO@PROSOFT.RU

WWW.PROSOFT.RU





Граница автоматизации – нормы, сохраняющие участие человека

Интервью с Петром Хвесюком, руководителем ML-направления Nord Clan

Бытует мнение, что человека оставляют в контуре автоматизации потому, что без него нельзя. Но нередко процесс просто по привычке проектируют так, чтобы финальное решение обязательно принимал оператор, хотя технически систему уже можно сделать полностью автономной. Пётр Хвесюк рассказал нам, где на самом деле проходит граница автоматизации на производстве, почему её часто задают не технологии, а обязательные нормы и зачем гибридной системе сохранять исходные данные, логировать нестандартные случаи и оставаться проверяемой для человека.



– Насколько широко гибридные системы контроля уже применяются в России?

У нас почти все производства сейчас автоматизированы с участием человека. На многих предприятиях человек остаётся точкой принятия финального решения. Например, один оператор сидит в ситуационном центре, куда поступает информация из разных источников, в том числе от систем видеоаналитики. Система сама выполняет предварительные расчёты и анализ, но решение принимает человек. Такие гибридные системы сейчас очень распространены. Особенно много подобных задач в промышленности. Как правило, на предприятии уже есть действующая линия, оборудование, системы управления, сложившиеся процессы, и новые инструменты контроля встраиваются в этот контур постепенно. В то же время есть системы, которые уже вообще не нуждаются в человеке: его функцию полностью берет на себя автоматика. И здесь

возникает другая проблема – многие по старинке проектируют системы, требующие участия человека там, где он уже в принципе не нужен.

– Как понять, когда человека можно исключить из процесса, а когда этого лучше не делать?

Везде, где мы видим возможность убрать человека из цикла, мы это предлагаем. Но иногда сделать это невозможно из-за законодательных или других обязательных требований.

Например, при строительстве атомных электростанций используются системы контроля качества. Делается рентгеновский снимок сварного шва. Система может проанализировать его, найти потенциальные дефекты и обратить на них внимание специалиста. Но ответственный специалист всё равно должен посмотреть снимок и своей подписью подтвердить результат проверки. Затем этот документ хранится вместе с эксплуатационной документацией атомной электростанции 50 или даже 100 лет. То есть одна из границ автоматизации – законодательные, административные и другие обязательные нормы, которые не позволяют полностью исключить человека из процесса. Если таких ограничений нет, дальше компания смотрит на экономику.

Например, если система может заменить трёх человек в смену, мы считаем экономно на их работе и сопоставляем её со стоимостью разработки и эксплуатации системы. Но кроме ФОТ есть и другие показатели. Автоматизация позволяет быстрее выполнять рутинные операции – в одном из наших проектов за счёт

этого удалось снизить затраты на процесс на 70%. На производстве система может проверять весь поток там, где человек физически успевает контролировать только часть продукции. Тогда мы дополнительно считаем снижение потерь от пропущенного брака, рекламаций и возвратов. В итоге экономика проекта складывается из разных факторов в зависимости от задач.

– А насколько часто человека оставляют в процессе просто по привычке?

Такое бывает. У нас был показательный пример на производственной линии. Оператор должен был следить, когда в определённой зоне окажутся три курицы, и в этот момент нажать кнопку взвешивания. Если нажать раньше, когда проехали только две, результат записывался некорректно. Заказчик предполагал, что человек будет продолжать нажимать кнопку, а система компьютерного зрения – контролировать, вовремя ли он это сделал. Но здесь сама постановка задачи неправильная: зачем вообще нужен человек? Нейронная сеть может определить, когда в зоне взвешивания находятся три курицы, отправить сигнал на контроллер и снять показания весов. Причём делать это 24/7, с высокой точностью и повторяемостью, каждый раз в один и тот же нужный момент. Это как раз пример того, что многие продолжают проектировать системы с участием человека там, где технически он уже не нужен.

– Если человек остаётся в контуре, что становится главным требованием к такой системе?

Главное – чтобы специалист мог при необходимости проверить достоверность полученной информации. Если речь идёт о визуальном контроле, нужно фиксировать исходные фотографии объектов. Например, общий вид или отдельный участок. Если система обнаружила дефект, человек должен иметь возможность вернуться к исходному изображению и проверить, действительно ли он был. Другими словами, должна обеспечиваться прослеживаемость. Если гибридная система помогает человеку принимать решения, должно быть понятно, на основании чего она сделала тот или иной вывод.

Проверять саму систему периодически просто необходимо. Например, для этого можно использовать контрольные образцы, которые помещаются на производственную линию. Мы заранее знаем, какие дефекты на них есть, и можем убедиться, что система по-прежнему их обнаруживает, все элементы корректно взаимодействуют и результатам можно доверять.

– Почему систему недостаточно один раз хорошо обучить и дальше просто эксплуатировать?

Потому что данные со временем меняются. Допустим, мы обучили систему машинного зрения, и её точность составляет 95%. Затем на производстве что-то меняется: предприятие меняет поставщика сырья, освещение или камеру, загрязняется оптика, появляются блики. Для модели входные данные уже выглядят иначе. Это называется дрейфом данных, и он может влиять на качество работы системы. По этой причине её нужно периодически проверять: использовать контрольные образцы, смотреть, где её результаты расходятся с оценкой специалиста. Если появляются новые случаи, добавлять их в выборку и переобучать модель. То же самое касается и систем, работающих с текстом и контекстом. Например, обновилось законодательство, а система не совсем правильно учитывает изменения и начинает давать сбои. Если предусмотрена обратная связь от человека, такие ситуации можно выявлять и использовать для дальнейшей настройки. Одним словом, человек в гибридной системе не только принимает решения, но и создаёт данные для её дальнейшего обучения.

– А что делать с ситуациями, которых вообще не было в исходной выборке?

Все значимые действия и результаты нужно записывать и архивировать. В процессе эксплуатации появляются различные корнер-кейсы, которых не было в исходной выборке и которые невозможно было предусмотреть при разработке. В момент запуска система может работать практически идеально, но через год, два, три или пять лет обязательно появятся нюансы, которые изначально не были учтены. Система

должна пометать такие случаи, логировать их и сохранять данные. Тогда к ним можно вернуться, разобраться в причинах и понять, что нужно изменить: дополнить выборку, переобучить модель или доработать функциональность. Так мы обычно повышаем качество системы уже в процессе эксплуатации.

– Есть ли у гибридных систем недостатки по сравнению с полной автоматизацией?

Да. Первый очевидный минус в том, что человек остаётся частью процесса. Он может отвлечься, устать, неправильно понять информацию, что-то пропустить или не увидеть. При грамотно организованном процессе эти риски управляемы, но они существуют. Кроме того, гибридная система иногда может быть даже дороже полностью автоматизированной. Взаимодействовать напрямую с сигналами промышленного оборудования зачастую проще, чем дополнительно воспроизводить в интерфейсе всю необходимую человеку информацию в том формате, к которому он привык. То есть нужно проектировать не только саму автоматизацию, но и взаимодействие с оператором: что ему показывать, когда, в каком виде и какие возможности вмешательства ему давать. По трудозатратам это может быть сложнее, чем прямое взаимодействие системы с линией.

– Как тогда правильно распределять полномочия между системой и оператором?

Постепенно. Неправильно завтра объявить, что появилась суперумная система и человек больше нигде не нужен. Правильнее передавать автоматизированной системе отдельные участки работы и по мере эксплуатации увеличивать её полномочия. Сначала система может работать в теновом режиме: принимать решения параллельно с оператором, но не влиять на процесс. Затем она работает как советчик: предлагает действие, а решение остаётся за человеком. Следующий этап – система действует сама, но оператор сохраняет возможность вмешаться.

Причем даже одну и ту же функцию можно организовать по-разному. Допустим, система обнаружила ситуацию, при которой нужно остановить производственную линию. Она может сразу сделать это самостоятельно.

Другой вариант – сначала сообщить оператору, что линия сейчас будет остановлена, и дать ему возможность вмешаться, например заблокировать остановку. Это тоже гибридная система. По мере внедрения степень участия человека можно менять. Переходить к следующему этапу можно, когда система стабильно показывает нужную точность и не допускает критических ошибок. Где именно провести границу, определяется процессами и требованиями конкретного производства.

– Какие технологии будут влиять на развитие таких систем в ближайшее время?

Один из заметных трендов – развитие low-code- и no-code-платформ. Сейчас возможности нейронных сетей позволяют человеку описывать необходимую логику практически на естественном языке, а внутри будет создаваться обычный код. Нужно понимать и ограничение самой нейронной сети. Она выбирает наиболее вероятный способ достижения результата на основании имеющихся данных. Она не выстраивает последовательность действий потому, что логически доказала, что только эта последовательность правильная. Поэтому там, где функциональность должна работать как часы, нейронные сети нужно дополнять чёткой алгоритмической логикой. Например, при работе с финансовыми документами нельзя просто доверить нейросети расчёт суммы по заданным параметрам: она может ошибиться, что-то пропустить или неправильно выполнить вычисление.

Такие задачи можно решать иначе: пользователь описывает операцию на естественном языке, на её основе создаётся код, который затем проверяется и запускается, например, как МСР-сервер, к которому нейросеть обращается для выполнения конкретной операции. В результате тот же дебет и кредит считает уже однозначная алгоритмическая логика.

– Как, на ваш взгляд, будут развиваться гибридные системы контроля в России в ближайшие годы?

Думаю, будет постепенно меняться степень участия человека. Там, где сегодня оператор подтверждает большую часть действий системы, со временем часть полномочий можно будет передавать автоматике. Уже сейчас одну и ту же функцию можно спроектировать так, чтобы система только предупреждала человека, либо так, чтобы она действовала самостоятельно. Но полностью человек исчезнет не из всех процессов. Где-то его участие будет обязательным из-за законодательных или административных требований. Где-то компании сами предпочтут сохранить дополнительный уровень контроля.

Одновременно будет возрастать значение данных, которые накапливаются в процессе эксплуатации. Через несколько лет обязательно появятся новые ситуации, которых не было в первоначальной выборке, поэтому система должна позволять вернуться к конкретному случаю, понять причину результата и при необходимости переобучить модель. На мой взгляд, развитие будет идти не к одномоментному переходу к полной автономности, а к постепенному изменению границы между человеком и системой. Чем надёжнее работает автоматизация и чем больше данных накоплено, тем больше функций ей можно передавать. ●



Virtual PLC – конец эпохи промышленного компьютера?

Юрий Широков

Виртуальный ПЛК меняет привычную архитектуру промышленной автоматизации, отделяя функцию управления от специализированного аппаратного контроллера. В статье рассматривается влияние виртуализации на детерминизм и работу с удалённым I/O, вопросы отказоустойчивости, функциональной и кибербезопасности. Уделено внимание консолидации вычислительных ресурсов, интеграции AI и цифровых двойников, а также жизненному циклу программного контроллера.

Вступление

Виртуальный ПЛК/PLC постепенно заставляет менять представление о привычной архитектуре промышленной автоматизации, отделяя функцию управления от специализированного аппаратного контроллера. На первый взгляд это может показаться очередным этапом развития Soft PLC: управляющая программа просто переносится с отдельного PLC на промышленный компьютер. Но на практике изменения гораздо глуб-

же. В традиционной системе аппаратный PLC является одновременно вычислительной платформой, носителем ядра PLC runtime (среда выполнения, исполняющая программу пользователя, написанную на языках стандарта IEC 61131-3), коммуникационным узлом и средством взаимодействия с вводом-выводом (I/O). В архитектуре Virtual PLC эти функции могут быть разделены. Управляющая логика превращается в программный экземпляр, который выполняется на

промышленном компьютере, Edge-устройстве, сервере или виртуальной инфраструктуре, а физические входы и выходы могут быть пространственно отдалены от вычислительного узла и подключены к нему по промышленной сети (рис. 1).

Siemens, например, предлагает SIMATIC S7-1500V как аппаратно-независимый Virtual PLC, разворачиваемый в Industrial Edge, а Beckhoff развивает TwinCAT Runtime for Linux и возможность запуска

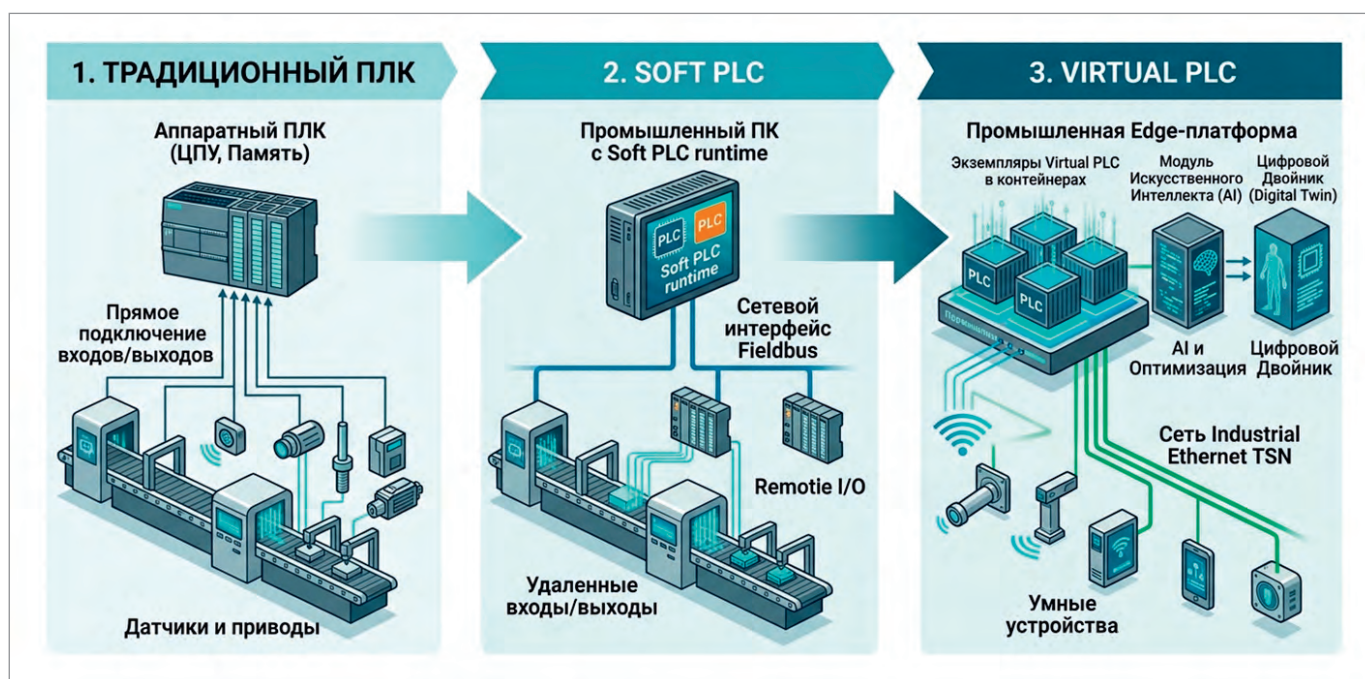


Рис. 1. Эволюция архитектуры управления: от аппаратного PLC к Virtual PLC и программно-определяемой автоматизации

нескольких runtime на одном Industrial PC, в том числе с использованием контейнеров. Международный стандарт IEC 61131-1 (отечественный аналог – ГОСТ Р МЭК 61131-1-2016) при этом давно допускает выполнение функций PLC не только на специализированной аппаратной платформе, но и на компьютере общего назначения с промышленными характеристиками. Поэтому главный вопрос будущего промышленной автоматизации состоит в характеристиках и свойствах вычислительно-коммуникационной платформы, на которой должна выполняться функция управления. Итак, мы начинаем переход от классического PLC к Software-Defined Automation.

Где граница

Исторически PLC создавался как специализированная вычислительная машина для управления технологическим процессом: в нём есть процессор, память, программная среда выполнения, коммуникационные интерфейсы, средства диагностики и механизмы взаимодействия с периферией. Все эти элементы объединены в одном физическом устройстве, и такой подход имеет очевидные преимущества.

Аппаратная платформа заранее известна и хорошо протестирована, производитель контролирует и программную среду, в результате инженер получает относительно законченный продукт с предсказуемыми характеристиками. Именно эта целостность и предсказуемость десятилетиями были одной из главных причин успеха PLC.

Но есть тут и несомненные минусы. Если требуется ещё один контроллер, приходится приобретать ещё один аппаратный контроллер. Если не хватает вычислительной производительности, выбирается другая модель PLC. Если нужна новая функция, приходится ориентироваться на возможности конкретного семейства. У такого подхода есть и ещё одна особенность: вычислительный ресурс каждого контроллера обычно оказывается привязан к конкретной функции управления. Таким образом, если на предприятии одновременно работают десять PLC, это не означает, что каждый из их процессоров постоянно загружен. Как следствие, значительная доля вычислительных ресурсов большую часть времени может оставаться невостребованной. IT-инфраструктура давно научилась решать проблему оптимизации ресурсов с помощью виртуализации и консолидации: один сервер может одновременно выполнять несколько приложений, виртуальных машин и контейнеров, распределяя вычислительные ресурсы между задачами. И вот концепция Virtual PLC переносит эту идею в промышленную автоматизацию.

Но здесь возникает принципиальное отличие от офисных приложений. Для обычного IT-приложения задержка выполнения в несколько миллисекунд или десятков миллисекунд часто не имеет практического значения, но в системе управления технологическим процессом сплошь и рядом важна не только средняя производительность, но и гарантированное время реакции,

иными словами – детерминированность. Поэтому организацию Virtual PLC нельзя рассматривать как простой перенос программного кода с «железного» PLC на более мощный компьютер, так как виртуализируется вычислительная функция, но не физическая сущность технологического объекта, где датчик температуры остаётся датчиком, клапан – клапаном, привод по-прежнему должен получить команду с допустимой задержкой, сеть по-прежнему имеет задержку и джиттер, а технологический процесс может требовать перехода в безопасное состояние при отказе вычислительной платформы. Поэтому виртуализация не только меняет устройство PLC, но и смещает границы самой системы управления.

Soft PLC, Virtual PLC и контейнеры

Вокруг программных контроллеров уже возникла терминологическая путаница. Soft PLC, Virtual PLC, Software PLC и containerized PLC иногда используются почти как синонимы. Но правильнее рассматривать их как разные характеристики программно определяемого контроллера (рис. 2).

Soft PLC определяет, где реализована функция PLC. Это программная реализация контроллера, работающая на вычислительной платформе вместо специализированного PLC CPU. Такой контроллер может выполняться на промышленном компьютере под Windows, Linux или другой поддерживаемой операционной системой. При этом Soft PLC

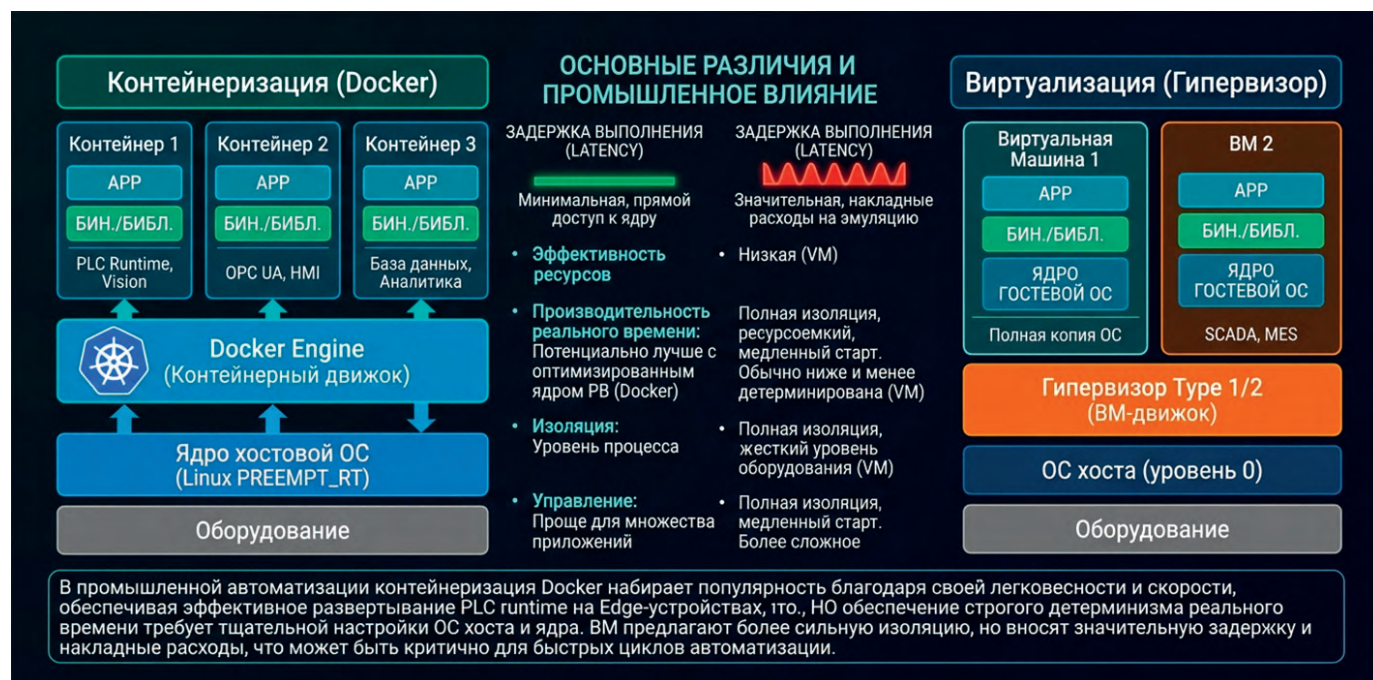


Рис. 2. Битва концепций: контейнеры vs виртуальные машины

ещё не обязательно означает полную независимость от «железа». Конкретная программная реализация может быть жёстко связана с определённым IPC (промышленным компьютером), операционной системой, драйверами или аппаратным интерфейсом.

Virtual PLC описывает более высокий архитектурный уровень абстракции: насколько функция управления отделена от конкретного физического контроллера и насколько свободно она может быть размещена в универсальной вычислительной инфраструктуре. К примеру, Siemens непосредственно использует термин Virtual PLC для S7-1500V, называя его аппаратно-независимым контроллером и предоставляя его как приложение Industrial Edge. Компания также подчёркивает совместимость с TIA Portal и централизованное управление экземплярами Virtual PLC.

Контейнеризация же отвечает совсем за другое: каким способом программный компонент упаковывается, изолируется и разворачивается. PLC runtime может находиться внутри контейнера вместе с необходимыми для работы и специально протестированными на совместимость библиотеками и конфигурациями. Это упрощает воспроизводимое развёртывание, обновление, управление версиями и перенос приложения между совместимыми средами. Поэтому контейнеризированный PLC не является отдельной от Virtual PLC сущностью.

На практике все эти подходы вполне могут сочетаться. Например: на Industrial PC под Linux в контейнере работает PLC runtime. Или: на Industrial Edge в виртуальной среде работает Virtual PLC + HMI + аналитика. Или: на Industrial PC размещено несколько контейнеров, а в них несколько PLC runtime + vision + AI.

Кстати, Beckhoff уже предлагает именно такую комбинацию: TwinCAT Runtime for Linux поддерживает контейнерные технологии Docker, Podman и LXC, а несколько TwinCAT Runtime могут выполняться на одном промышленном компьютере. Компания связывает это с аппаратной консолидацией и более эффективным использованием вычислительной мощности.

Контейнер и детерминированность

Термин «контейнеризированный PLC» легко создаёт ложное ощущение промышленной надёжности – такая самодостаточная программная коробочка, однако контейнер не является гаран-

Таблица 1. Сравнение контейнеризации с VM

Критерий	Контейнер	Виртуальная машина
Основной уровень абстракции	Пользовательское пространство ОС	Виртуализированная аппаратная среда
Собственное ядро ОС	Как правило, нет	Да
Накладные расходы	Обычно ниже	Обычно выше
Скорость запуска	Обычно высокая	Обычно ниже
Изоляция	Зависит от конфигурации ядра и runtime	Обычно более выраженная на уровне V
Управление ресурсами	Средствами ОС и container runtime	Гипервизором и гостевой ОС
Реальное время	Не гарантируется самим контейнером	Не гарантируется самой VM
Типичное преимущество	Модульность и быстрое развёртывание	Изоляция и независимость программной среды

тией реального времени, поскольку он использует ядро хостовой операционной системы, а его временные характеристики зависят от всей системы: планировщика, конфигурации CPU, драйверов, механизмов изоляции ресурсов, сетевого стека, самого PLC runtime и аппаратной платформы. Но из этого и не следует, что контейнер и real-time несовместимы. Beckhoff, например, использует собственный дистрибутив Linux с real-time kernel для TwinCAT Runtime for Linux и заявляет стабильное real-time управление, одновременно поддерживая Docker, Podman и LXC. Иными словами, детерминизм обеспечивается не самим контейнером, а специальной комбинацией runtime, ядра, аппаратуры и настроек системы.

Виртуальная машина создаёт виртуализированную аппаратную среду, в которой может работать собственная гостевая операционная система. Контейнер же изолирует приложение и его пользовательское пространство, при этом используя ядро хостовой ОС (табл. 1).

Но для промышленной автоматизации вопрос выбора нельзя свести к простому сравнению в пользу контейнера или VM, так как возможна и комбинированная архитектура, когда контейнер разворачивается внутри виртуальной машины. Такой подход позволяет разделить различные классы приложений, но одновременно добавляет новые программные уровни. Следовательно, задача инженера заключается в поиске такой комбинации механизмов изоляции, которая обеспечивает требуемые предсказуемость, отказоустойчивость, безопасность и удобство эксплуатации.

Доменная архитектура

Вполне возможно, что наиболее интересная архитектура будущего промышленного компьютера будет выглядеть как модель нескольких изолированных вычислительных доменов (рис. 3).

Фактическая реализация будет зависеть от конкретной платформы: это могут быть отдельные runtime, контейнеры, виртуальные машины, привязка процессов к процессорным ядрам, специализированные ядра realtime и другие механизмы. Суть архитектуры заключается в другом. Разные типы вычислительных задач должны получать разные ресурсы и гарантии: PLC нужен предсказуемый runtime, AI нужна вычислительная мощность, Vision может требовать GPU, Historian нужен стабильный доступ к накопителю, OPC UA и другие коммуникационные сервисы требуют сетевых ресурсов, Cybersecurity требует изоляции и контроля доступа. И всё это может использовать одну физическую вычислительную платформу. Следовательно, промышленный компьютер перестаёт быть просто местом для запуска PLC. Он становится вычислительной системой управления.

И снова о времени

Предположим, PLC должен выполнять технологическую задачу каждые 10 мс. В традиционном контроллере производитель «держит в руках» практически всю вычислительную цепочку: PLC task → runtime → CPU → I/O. В Virtual PLC она может выглядеть значительно сложнее: PLC task → runtime → scheduler → → virtual CPU → ОС/гипервизор → physical CPU. А если I/O находятся удалённо, сюда добавляется: runtime → network stack →

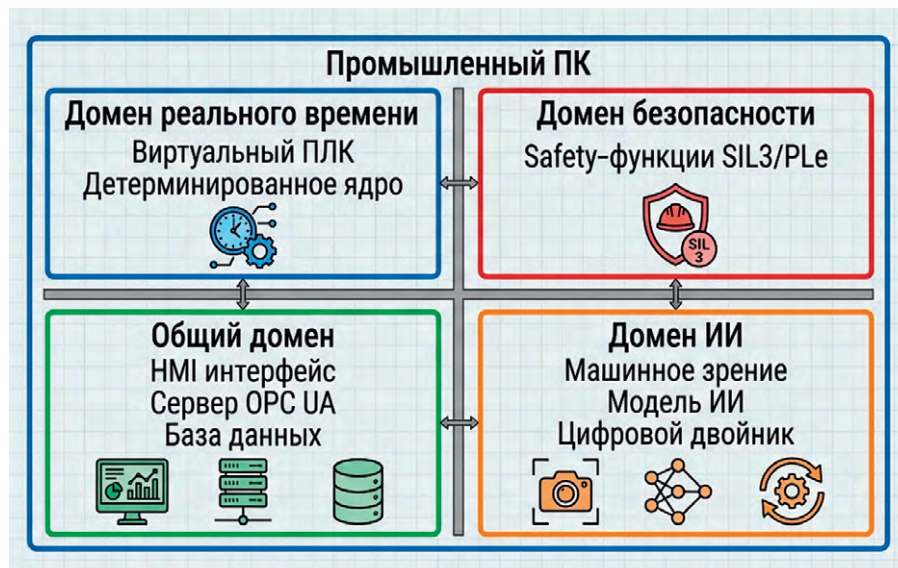


Рис. 3. Многодоменная архитектура вычислительной платформы

→ industrial network → remote I/O → physical process.

И теперь задержку формирует далеко не один контроллер. У системы появляются как минимум три разных характеристики, которые нельзя путать: производительность – сколько вычислений может выполнить система в единицу времени; задержка – сколько времени проходит от события до реакции; детерминизм – насколько предсказуемым является это время. Поэтому компьютер с очень мощным процессором может выполнять огромное количество вычислений в секунду и одновременно быть неподходящим для определённого контура управления, если максимальная задержка (worst-case latency) или джиттер (jitter) выходят за допустимые пределы.

В связи с этим для Virtual PLC необходимо оценивать не только производительность CPU и объём памяти, но и worst-case latency, jitter, политику планирования, распределение ядер CPU, доступ к памяти и I/O, сетевые задержки, поведение системы при перегрузке и способность к восстановлению после отказа.

И вот яркий пример. В собственных технических материалах Siemens для S7-1500V указывает real-time capability на базе механизмов стандартного Linux, поддержку нескольких экземпляров PLC на одном устройстве и PROFINET RT с циклом 1 мс. Одновременно документация Siemens перечисляет ряд отличий от аппаратного S7-1500, в том числе отсутствие I/O send clock ниже 1 мс и поддержку IRT (Isochronous Real-Time – режим обмена данными через интерфейс PROFINET) не в том же объёме, что у аппаратных CPU. Поэтому даже внутри

одного семейства слова «реальное время» не должны рассматриваться как универсальная гарантия для любой задачи.

В классическом PLC промышленная сеть часто воспринимается прежде всего как отдельно стоящее средство обмена данными. В Virtual PLC эта концепция меняется. Если порты I/O физически отделены от вычислительной платформы, сеть становится частью временного контура. При этом сам переход на Ethernet не означает автоматического появления детерминизма. Даже специализированная промышленная сеть работает в составе конкретной инфраструктуры, где важны конечные устройства, коммутаторы, конфигурация трафика, синхронизация и механизмы восстановления. Интересно в этом отношении развитие OPC UA FX. OPC Foundation уже завершила этап Controller-to-Controller, а в 2026 году продолжает работу над Controller-to-Device (C2D), включая интеграцию remote I/O, приводов, датчиков и исполнительных устройств. В сентябре 2026 года на PlugFest OPC UA FX несколько производителей продемонстрировали взаимодействие контроллеров и прототипов I/O и приводов, в том числе с использованием TSN. При этом отдельные элементы C2D-архитектуры всё ещё проходят практическую отработку.

Промышленная сеть движется к более унифицированной коммуникационной архитектуре, но инженер всё равно должен анализировать временные характеристики всей системы, а не одного протокола.

А что с надёжностью?

Здесь, пожалуй, главное слабое место этой концепции. Если пять физических

устройств заменить одним Industrial PC, мы действительно уменьшаем количество аппаратных компонентов, но одновременно усугубляем последствия отказа единой платформы. Если один сервер выполняет функции PLC № 1, PLC № 2, HMI, vision, OPC UA и historian, то при отказе сервера мы потенциально лишаемся всех этих функций одновременно. В терминах архитектуры высокой доступности увеличивается так называемый blast radius (буквально «зона поражения»), или масштаб последствий одного отказа. Поэтому возникает логичный вопрос, ответ на который скорее всего никому не понравится и заставит задуматься о резервировании Industrial PC: какая часть технологического процесса будет парализована при отказе одного вычислительного узла? Но и резервирование ещё не гарантирует безопасности, так как необходимо понимать, можно ли восстановить состояние процесса после сбоя. Восстановить выполнение программного образа сравнительно легко, а вот физическую модель объекта в текущем моменте восстановить значительно сложнее. Если сервер перезапустился, он должен откуда-то получить актуальное состояние клапанов, двигателей, изделий на конвейере, накопителей, рецептов, последовательностей технологического цикла и всех остальных физических параметров, имеющих значение для процесса. Поэтому необходимо разделять три разные задачи: восстановление программного компонента, восстановление доступности системы управления и восстановление безопасного состояния технологического процесса.

Virtual PLC предоставляет новые механизмы резервирования и восстановления, но не отменяет инженерную разработку отказоустойчивой архитектуры.

Естественно было бы предположить, что критические функции безопасности будут продолжать выполняться только отдельным Safety PLC, а Virtual PLC останется исключительно инструментом стандартного управления.

Но современная практика показывает, что эта граница уже начала смещаться. Тот же Siemens предлагает SIMATIC S7-1500V F – fail-safe-вариант виртуального PLC. Компания сообщает о TÜV-сертификации решения и его использовании в производственной системе Audi. В актуальном каталоге Siemens для CPU 1517VF также указываются функциональные уровни безопасности SIL 3 по IEC 61508 и PL e по ISO 13849. Это

принципиально важный факт, показывающий, что виртуализация сама по себе не исключает выполнение safety-функций. Но из этого совершенно не следует, что любой Virtual PLC автоматически может стать Safety PLC: ведь функциональная безопасность является свойством конкретной сертифицированной архитектуры.

Здесь необходимо учитывать:

- аппаратную платформу;
- software stack;
- runtime;
- средства диагностики;
- сетевые соединения;
- safety I/O;
- механизмы обнаружения отказов;
- процедуры разработки;
- верификацию;
- валидацию.

Siemens подчёркивает, что при создании S7-1500V F рассматривался не только виртуальный CPU, но и вся система, включая взаимодействие с failsafe-периферией и механизмы обнаружения и компенсации отказов.

Это позволяет сформулировать важный принцип: виртуализация не отменяет safety engineering (инженерию безопасности), а переносит её на другой архитектурный уровень.

Кибербезопасность

Здесь важно не смешивать два направления. Functional Safety защищает человека, оборудование и технологический процесс от опасных отказов системы. Cybersecurity наоборот защищает систему от несанкционированного доступа и намеренного воздействия человека. В Virtual PLC они переплетены теснее, нежели в классическом PLC, у которого аппаратная граница между управляющей системой и IT-инфраструктурой часто достаточно очевидна. В Virtual PLC эта граница становится лишь программной. И если на одной вычислительной платформе одновременно находятся PLC runtime, HMI, AI, историческая база данных и сетевые сервисы, каждая из этих функций становится потенциальной частью общего фронта атаки. Защищать приходится уже не только PLC-программу, необходимо контролировать:

- операционную систему;
- hypervisor или container runtime;
- сетевые интерфейсы;
- учётные записи;
- сертификаты;
- образы приложений;
- механизмы обновления;

- резервные копии;
- каналы удалённого доступа.

При этом виртуализация может улучшить кибербезопасность, так как AI-приложение можно изолировать от PLC, разным функциям можно назначить разные права, ограничить сетевые связи, запретить аналитическому приложению прямой доступ к критическим каналам управления. Но успех не предопределён и будет зависеть уже не от самого факта виртуализации, а от продуманности архитектуры системы в целом.

Бок о бок с AI

Виртуализация становится особенно интересна с появлением промышленного искусственного интеллекта. Если PLC отделён от конкретного hardware и превращён в программную функцию, рядом с ним значительно проще разместить вычислительные компоненты AI. PLC и AI тогда выполняют разные функции: PLC реализует детерминированную логику управления и ограничения, AI может обнаруживать закономерности, прогнозировать состояние оборудования, классифицировать объекты, выявлять аномалии или рассчитывать оптимизационные рекомендации.

Например, AI-модель может определить повышение вероятности отказа узла и предложить изменение режима эксплуатации. PLC при этом может принять решение только после проверки рекомендации по заданному диапазону. Такой алгоритм значительно реалистичнее полной передачи управления нейронной сети. И проблема заключается даже не в том, что AI обязательно работает недетерминированно в техническом смысле, а в том, что поведение сложной модели гораздо труднее формально предсказать и ограничить относительно всех возможных недопустимых состояний технологического процесса.

Разумеется, в дальнейшем, по мере совершенствования моделей AI, граница этого разделения может и поменяться.

Виртуализация даёт ещё одно огромное преимущество, выходящее за рамки обычной эксплуатации. Если PLC является программным объектом, его значительно проще связать с цифровой моделью оборудования. Архитектура может выглядеть так:

Digital Twin → Virtual PLC → виртуальные I/O → модель технологического процесса.

Это позволяет перейти к Software-in-the-Loop (тестированию и валидации программного обеспечения в смоделированной виртуальной среде).

PLC-программа выполняется в виртуальной среде и взаимодействует не с реальным оборудованием, а с его моделью. Следующий шаг – Hardware-in-the-Loop. Здесь реальная вычислительная платформа PLC взаимодействует с моделью технологического процесса, работающей в режиме реального времени. Получается последовательность:

Digital Twin → SIL → HIL → Virtual PLC → физическое производство.

Такой подход может существенно упростить пусконаладку поскольку часть программных ошибок можно найти до подключения оборудования. Сценарии аварий в нём можно воспроизводить многократно, можно проверять взаимодействие нескольких машин, исследовать редкие комбинации событий, которые трудно специально создать на работающем объекте. Для сложного производства это становится не просто удобным инструментом разработки, а способом радикально уменьшить стоимость физических испытаний.

Жизненный цикл

У классического PLC жизненный цикл выглядит примерно так:

купить → установить → запрограммировать → запустить → обслуживать → заменить.

Для Virtual PLC последовательность меняется:

разработать → смоделировать → протестировать → собрать программный образ → развернуть → настроить → мониторить → обновлять → управлять версиями.

Это очень похоже на управление программным продуктом, тем не менее напрямую переносить DevOps из IT в промышленную автоматизацию нельзя. В корпоративном ПО, например, обновление приложения может быть выполнено ночью практически незаметно для пользователя. На непрерывном производстве такой фокус не пройдёт так как обновление PLC runtime потребует остановки непрерывного процесса, проверки технологического состояния и формальной процедуры допуска. Поэтому правильнее говорить не о DevOps «в лоб», а об адаптации принципов управления программным жизненным циклом к требованиям ОТ. При этом Virtual PLC действительно увеличивает значимость контроля версий и конфигураций. Под контролем должны находиться уже не только исходные PLC-программы. Необходимо управлять также версией ОС,

драйверами, сетевой конфигурацией, сертификатами, учётными данными, конфигурацией ресурсов, резервными копиями. Это одновременно преимущество и новая сложность: Virtual PLC делает контроллер легче переносимым, но увеличивает количество программных зависимостей, которые необходимо контролировать.

В традиционном PLC изменение firmware или программы относится к конкретному физическому устройству, но в Virtual PLC обновление может стать централизованной операцией. И это уже используется в Industrial Edge: Siemens подчёркивает возможность централизованного управления виртуальными контроллерами и программными обновлениями. На первый взгляд, это очевидное преимущество, но возникает обратная сторона: если одна ошибка обновления затронет сто виртуальных PLC, проблема распространится сразу на сто производственных участков. Поэтому масштабируемость Software-Defined Automation одновременно является её сильной и слабой стороной. Чем проще развернуть изменение, тем важнее контроль того, что именно будет раз-

вёрнуто. Другими словами, промышленная автоматизация начинает перенимать не только преимущества IT, но и его проблемы.

Ещё одна особенность программного PLC заключается в изменении самой модели владения. Имея дело с классическим контроллером, инженер в первую очередь думает о цене аппаратуры. В виртуальной архитектуре появляется существенная составляющая в виде набора лицензий на различные программные функциональные блоки, например лицензия PLC runtime, лицензия Industrial Edge, лицензия HMI, лицензия AI и т.п.

Программная модель позволяет масштабировать количество экземпляров в зависимости от потребностей, и Siemens, например, прямо подчёркивает возможность изменять количество используемых Virtual PLC и управлять ими централизованно. Но при расчёте TCO (Total Cost of Ownership – совокупная стоимость владения) необходимо учитывать не только аппаратную экономию, но и весь жизненный цикл лицензий. В промышленной автоматизации, где оборудование может эксплуатироваться

десятилетиями, это становится особенно важным. Нужно заранее понимать, что произойдёт при окончании подписки, как работает резервирование, можно ли восстановить систему через десять лет, как осуществляется миграция на новую платформу. Для IT это привычные вопросы, но для промышленного предприятия с 20-летним жизненным циклом оборудования они приобретают принципиально иное значение.

От «железа» к VIRTUAL PLC

Полный одномоментный отказ от традиционных контроллеров на всём предприятии является максимально неразумной стратегией. Гораздо реалистичнее поэтапная миграция. Первый шаг – не переносить наиболее критический контур. Для пилота лучше выбрать участок, где консолидация действительно может дать пользу, но отказ вычислительной платформы не приведёт к тяжёлым последствиям. Второй шаг – перенести на Industrial Edge или IPC второстепенные функции, не связанные напрямую с управлением.

Например HMI, историзацию, OPC UA, диагностику, аналитику. На этом этапе

МЕДИАПЛАТФОРМА

для продвижения технологий электроники
и промышленной автоматизации

ВАШ РЫНОК – НАША АУДИТОРИЯ

25+ ЛЕТ
на рынке

500 000+
пользователей
cta.ru ежегодно

45 000+
профильных читателей
ежемесячно

ЕДИНАЯ МЕДИАСРЕДА — МАКСИМАЛЬНЫЙ ОХВАТ

ПОРТАЛ
cta.ru

ЖУРНАЛЫ

СОЦСЕТИ

ВИДЕО

EMAIL

КОНФЕРЕНЦИИ
ПТА

**НОВЫЕ
КЛИЕНТЫ**

**УЗНАВАЕМОСТЬ
И ДОВЕРИЕ**

**ЭКСПЕРТНЫЙ
ИМИДЖ**

**РОСТ ПРОДАЖ
И ИНТЕРЕСА**

**РАЗМЕСТИТЕ РЕКЛАМУ
НА СЭТА – И О ВАС УЗНАЮТ
ТЕ, КОМУ ВЫ НУЖНЫ!**

+7 (968) 567-3006
 antipov.n@cta.ru
 cta.ru

**МЕДИАГРУППА
«СТА-ПРЕСС»**
НА РЫНКЕ С 1996 ГОДА

предприятие начнёт получать опыт эксплуатации общей IT/OT-платформы без изменения основного контура управления. Третий шаг – установить Soft PLC или Virtual PLC рядом с действующей системой в качестве дублёра. На этом этапе можно сравнить различные параметры работы двух параллельных систем. Четвёртый шаг – перенести remote I/O и проверить реальную работу распределённого контура. Пятый – организовать резервирование вычислительной платформы. Шестой – провести SIL/HIL-тестирование новых программных конфигураций. И только после этого имеет смысл начинать консолидацию нескольких PLC на одном физическом узле.

В разговоре о software-defined automation легко забыть, что нижний уровень промышленной системы остаётся физическим. Это датчики, приводы, двигатели, роботы, I/O и т.д. Ни контейнер, ни виртуальная машина, ни AI не отменяют эти элементы. Поэтому внедрение Virtual PLC нельзя рассматривать как превращение АСУ ТП в обычный дата-центр. Верхние уровни действительно становятся всё более программными, но нижний уровень продолжает подчиняться законам физического мира. Именно здесь проходит одна из главных границ архитектуры будущего.

Теперь вернёмся к исходному вопросу: закончилась ли эпоха промышленного компьютера? И ответ будет: скорее наоборот. Промышленный компьютер становится ещё важнее, поскольку его роль меняется. Раньше IPC часто рассматривался как специализированный компьютер для конкретной задачи. В новой архитектуре он превращается в универсальную вычислительную платформу, на которой одновременно могут находиться и Virtual PLC, и несколько PLC runtime, и HMI, и OPC UA, и AI. То есть Virtual PLC не вытесняет промышленный компьютер, а делает его центральным физическим элементом программно-определяемой автоматизации.

Но чем более виртуальным становится PLC, тем важнее становится физическая платформа, на которой он работает. Чем больше функций консолидируется на одном IPC, тем серьёзнее становятся требования к резервированию. Чем больше программных компонентов появляется, тем важнее управление версиями и кибербезопасность. Чем дальше PLC находится от I/O, тем важнее характеристики (в частности, детерминированность) сети. Чем ближе AI сливается с контуром управления, тем важнее изоляция его функций от детерминированной логики.

Таблица 2. Преимущества Virtual PLC в различных сценариях применения

Сценарий	Потенциальное преимущество	Что необходимо проверить
Машиностроение и сборочные линии	Тиражирование программных конфигураций	Цикл управления, motion и I/O
Роботизированные ячейки	PLC, vision и AI на одной платформе	GPU, latency и safety
Модульное производство	Быстрое создание одинаковых экземпляров	Изоляция и управление версиями
Конвейерные системы	Централизованное управление распределёнными участками	Задержки и отказ сети
Тестовые стенды	Быстрая реконфигурация и воспроизводимость	Реальные I/O и HIL
Цифровые двойники	Связь модели и управляющего ПО	Корректность модели
Большое количество однотипных машин	Консолидация и централизованное управление	Blast radius отказа
Системы с интенсивной аналитикой	AI, vision и PLC на одном IPC	Изоляция ресурсов
Простая автономная машина	Не всегда очевидны преимущества	TCO и сложность эксплуатации
Жёсткие safety-контуры	Возможна виртуализация сертифицированных функций	Соответствие конкретной safety-архитектуре

Получается своеобразная смена точки сложности, перемещающая её с уровня отдельного устройства на уровень архитектуры.

Ради чего такие сложности?

Почему промышленному предприятию вообще может понадобиться Virtual PLC? Уж точно не потому, что виртуальность сама по себе является преимуществом. Главный практический аргумент – возможность объединить вычислительные функции, которые раньше выполнялись на нескольких отдельных устройствах.

Предположим, на одном производственном участке имеются:

- PLC;
- HMI;
- OPC UA server;
- historian;
- машинное зрение;
- AI inference;
- сервис диагностики;
- цифровой двойник.

Традиционно это набор отдельных компьютеров и контроллеров. При Software-Defined Automation значительная часть этих функций может выполняться на одной производительной Industrial Edge-платформе.

Здесь и появляется экономический эффект, благодаря которому потенциально может уменьшиться количество физических устройств, упроститься тиражирование программных конфигураций, появится возможность эффективнее использовать CPU, облегчается центра-

лизованное управление программными версиями, упрощается масштабирование одинаковых машин и производственных модулей. Но оговорка «потенциально» здесь принципиально важна – Virtual PLC не гарантирует автоматическое приобретение системой всех названных преимуществ. А кроме этого, к вычислительной платформе добавляются требования к резервированию, сетевой инфраструктуре, кибербезопасности, лицензированию и квалификации персонала. Поэтому реальная экономическая модель должна рассматриваться через TCO, а не только через цену PLC CPU.

В традиционной системе значительная часть расходов приходится на аппаратную инфраструктуру:

- PLC;
- модули I/O;
- сетевое оборудование;
- IPC;
- шкафное оборудование;
- резервные устройства.

У Virtual PLC часть расходов перемещается из hardware в software и инфраструктуру. То есть появляются другие статьи:

- Industrial PC или сервер;
- гипервизор или Edge runtime;
- лицензии PLC;
- лицензии HMI;
- резервная вычислительная платформа;
- системы хранения и резервного копирования;
- средства кибербезопасности;
- обслуживание ОС и программного стека.

Поэтому в первую очередь надо определить, позволяет ли консолидация на конкретном производственном участке уменьшить совокупную стоимость владения при сохранении необходимых характеристик надёжности и управления. И здесь результат будет зависеть от задачи. Для простой автономной машины с одним контроллером традиционный PLC будет оставаться совершенно рациональным решением. Для производства с большим количеством однотипных машин и многочисленными вычислительными сервисами преимущества консолидации могут оказаться гораздо заметнее. Но особенно привлекательна модель там, где один вычислительный узел способен одновременно выполнять несколько реально востребованных функций. Универсального ответа для всех объектов здесь нет. В таблице 2 отражены потенциальные преимущества применения Virtual PLC в различных ситуациях. Особенно интересны системы, где вычислительных функций много, а физических машин большое количество. Но если объект представляет собой одну простую установку с несколькими I/O и одним PLC, Virtual PLC может создать больше архитектурной сложности, чем решить проблем.

В этом нет противоречия, ведь новая технология не обязана заменять старую везде. Она становится ценной там, где её архитектурные свойства максимально соответствуют задаче. Не надо рассматривать виртуализацию как универсальное лекарство от проблем современной автоматизации. Virtual PLC сам по себе не решает проблему детерминизма, он не устраняет задержки сети, не создаёт функциональную безопасность автоматически, не защищает систему от кибератак одним фактом того, что PLC работает в виртуальной среде, не устраняет единую точку отказа при консолидации, не заменяет плохую архитектуру I/O, не делает AI предсказуемым, не избавляет предприятие от необходимости иметь квалифицированный ОТ-персонал. И наконец, выбор Virtual PLC не означает, что весь промышленный процесс можно перенести в серверную или облако: нижний уровень АСУ ТП всё равно остаётся физическим, и это принципиальное ограничение всей концепции.

Заключение. Контроллер больше не коробка

В классической АСУ ТП слово «контроллер» обозначало вполне конкретный физический объект. Его можно было

взять в руки, установить в шкаф и заменить. В программно-определяемой системе контроллер всё больше становится логической функцией вычислительной платформы. Преимущество этого подхода заключается не в том, что программное обеспечение принципиально лучше аппаратуры. Его преимущество – в гибкости: можно создать новый экземпляр устройства, изменить распределение вычислительных ресурсов, перенести функцию на другую совместимую платформу, централизованно управлять версиями, рядом с PLC разместить AI, vision, historian и цифровой двойник, создать виртуальную копию системы для тестирования. Но за эту гибкость приходится платить новыми механизмами изоляции, новыми процедурами резервирования, жёсткими требованиями к кибербезопасности, новыми подходами к лицензированию, наконец – новыми компетенциями на стыке ОТ и ИТ.

Эпоха PLC не заканчивается. Заканчивается, возможно, другая эпоха – эпоха, в которой функция промышленного управления обязательно была привязана к отдельному специализированному физическому контроллеру. PLC становится программной функцией, но это не означает, что промышленная автоматизация превращается в обычную ИТ-инфраструктуру. В промышленности по-прежнему существуют worst-case latency, безопасное состояние, функциональная безопасность, физические I/O, электромагнитные помехи, реальные двигатели и реальные люди. Именно поэтому Virtual PLC нельзя воспринимать как простую замену «железной» коробки коробкой программной – это изменение архитектурной философии.

Литература

1. IEC 61131-1:2003. Programmable controllers – Part 1: General information. IEC, 2003.
2. IEC 61131-3:2025. Programmable controllers – Part 3: Programming languages. IEC, 2025.
3. IEC 61508-1:2010. Functional safety of electrical/electronic/programmable electronic safety-related systems – Part 1: General requirements. IEC, 2010.
4. IEC 62443-3-3:2013. Industrial communication networks – Network and system security – Part 3-3: System security requirements and security levels. IEC, 2013.
5. IEC 62443-4-2:2019. Security for industrial automation and control systems – Part 4-2: Technical security requirements for IACS components. IEC, 2019.
6. How Real (Time) Are Virtual PLCs? // 2022 IEEE 27th International Conference on Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA). DOI: 10.1109/ETFA52439.2022.9921545.
7. Characterizing the Real-Time Communication Performance of Virtual PLC in Industrial Edge Platform. IEEE, 2025.
8. Siemens. SIMATIC S7-1500V Virtual PLC – Software PLC.
9. Siemens. S7-1500 Virtual Controller CPU 1517V(F). Function Manual. V2.0.1, 01/2025.
10. Beckhoff. TwinCAT Runtime for Linux. Technical documentation and product materials.
11. Linux Kernel Documentation. Real-time preemption (PREEMPT_RT).
12. OPC Foundation. OPC Unified Architecture – Part 80: UA FX Overview and Concepts.
13. OPC Foundation. OPC Unified Architecture – Part 81: UA FX Connecting Devices and Information Model.
14. A Digital Twin Framework for Programmable Logic Controllers in Industrial Automation Systems. Procedia CIRP, vol. 139, 2026, pp. 446–452. DOI: 10.1016/j.procir.2025.08.193.

НОВОСТИ реклама НОВОСТИ реклама

Новая серия панельных компьютеров AdvantiX PPC-EA

Компания AdvantiX представляет новую серию панельных компьютеров PPC-EA, которая является логическим развитием серии PPC-ES. Все модели PPC-EA поставляются с резистивными сенсорными экранами диагональю 15–21", опционально доступны к заказу модели и с ёмкостными сенсорными экранами. А также можно заказать устройства с экраном повышенной яркости и контрастности. Модели серии защищены от



попадания воды и пыли по стандарту IP66 по передней панели и могут эксплуатироваться при температурах от +5°C до +40°C. Данная серия построена на высокопроизводительном современном процессоре Intel Core i3-1215U (6 ядер, 1,2 ГГц/4,4 ГГц в турбо-режиме) с возможностью опционально установить более производительный Intel Core i5-1235U (10 ядер, 1,3 ГГц/4,4 ГГц в турбо-режиме).

Все модели PPC-EA уже по умолчанию комплектуются производительной оперативной памятью уровня DDR5. На задней панели доступен широкий набор портов ввода/вывода: 2 порта USB 3.2 type A, 2 порта USB 2.0 type A, 2 сетевых порта RJ45, два последовательных порта RS-232/422/485 и один RS-232. Также, уже в базовой версии, идут три COM-порта. ●



Встраиваемый Edge AI-контроллер ACS-330 для промышленной автоматизации

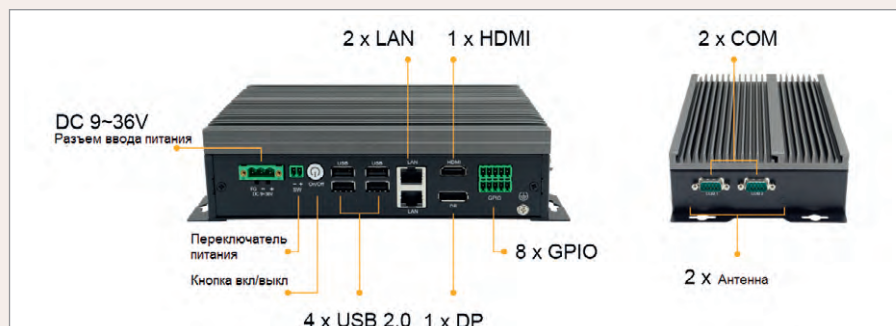
Компания APLEX Technology Inc., ведущий производитель решений в области промышленного вычислительного оборудования, рада объявить о выпуске встраиваемого Edge AI-контроллера ACS-330, разработанного для задач промышленной автоматизации и вычислений на периферии (edge computing). По мере развития умных фабрик на базе искусственного интеллекта промышленного Интернета вещей (IIoT) используемые решения предъявляют всё более высокие требования к обработке данных в реальном времени и стабильности управления. В отличие от традиционных централизованных систем обработки, современные ИИ-решения смещают вычисления ближе к конечным устройствам. Это позволяет сократить время отклика системы и минимизировать задержки при передаче данных. В рамках этого тренда возможности граничных вычислений на уровне устройств становятся фундаментом для построения инфраструктуры IIoT.

Стабильные вычисления и гибкая интеграция

Контроллер APLEX ACS-330 предлагает широкие возможности интеграции и расширения, сочетая защищённое исполнение с эффективными вычислительными мощностями для обеспечения бесперебойной работы оборудования в режиме 24/7.

Устройство построено на базе процессора Intel® Processor N97 и поддерживает до 32 Гбайт оперативной памяти DDR5. Такая конфигурация обеспечивает надёжную производительность при низком энергопотреблении. ACS-330 разработан специально для реализации сценариев Edge AI на умном производстве, включая мониторинг состояния оборудования, контроль технологических процессов и локальную обработку данных. Обработка информации непосредственно на устройстве помогает снизить нагрузку на облачные каналы связи и уменьшить сетевые задержки.

Для построения надёжных сетей с минимальными задержками контроллер оснащён



Модель	ACS-330
Процессор	Intel N97
Память	1× DDR5 SO-DIMM Non-ECC 4800MT/s до 32 Гбайт
Накопитель	1× M.2 B+M-Key 2242 SATA
Порты ввода/вывода	4× USB 2.0 Type-A 2× 2.5G BASE-T LAN RJ-45 2× RS-232/422/485, настройка в BIOS 1× DP 1.4 1× HDMI 2.0b
Слоты расширения	1× Mini PCIe 3027/3051 (Wi-Fi модуль) 1× M.2 B-Key 3042/3052 (4G/5G модуль)
Питание	Резервированное, 2× CRPS 550 Вт (общая 1100 Вт) 90...264 В переменного тока
Рабочая температура	20–60°C
Вес/габариты (Ш×В×Г)	10 кг / 258 × 166 × 368,3 мм
ПО	Windows 10/11, Linux Ubuntu 20.04/22.04

двумя портами Ethernet 2.5GbE с поддержкой технологии TSN (Time-Sensitive Networking), а также последовательными интерфейсами RS-232/422/485 и GPIO. Решение легко интегрируется с существующим промышленным оборудованием и датчиками для сбора данных и задач управления. Гибкие возможности расширения реализованы через слоты Mini PCIe и M.2, которые поддерживают установку модулей Wi-Fi, 5G и дополнительных накопителей под различные сценарии развёртывания на автоматизированных производствах.

Надёжная конструкция для эксплуатации в суровых условиях

Безвентиляторное исполнение ACS-330 оптимизирует отвод тепла, что делает его идеальным решением для непрерывной долгосрочной эксплуатации в цехах. Контроллер рассчитан

на работу в расширенном диапазоне температур от –20°C до +60°C, а также адаптирован под рабочее входное напряжение 9...36 В пост. тока, обеспечивая стабильную работу при колебаниях питания и изменениях температуры. Аппаратно-программный модуль безопасности TPM 2.0 предоставляет базовый уровень защиты системы и данных, помогая предотвратить несанкционированный доступ и утечку информации. По мере того как концепция «умного производства» продолжает развиваться, промышленные системы требуют всё большей скорости обработки данных и стабильности управляющих алгоритмов. Чтобы соответствовать этим требованиям, ACS-330 спроектирован для поддержки широкого спектра промышленных решений, включая промышленную автоматизацию, мониторинг оборудования и решения для автономных мобильных роботов (AMR). Благодаря стабильной производительности, возможностям гибкой интеграции и защищённому исполнению, контроллер повышает эффективность использования оборудования и упрощает управление системами, способствуя внедрению технологий Edge AI и позволяя бизнесу выстраивать более производительные и отказоустойчивые производственные процессы. Подробные характеристики представлены в таблице.



Новые защищенные планшеты на ОС Android от **Getac**



Мощные универсальные защищенные решения на базе ОС Android для самых сложных задач



Поставка любой конфигурации от 1 шт.



Гарантия от 3 до 5 лет, сервисный центр в РФ



Широкий набор аксессуаров: ремешки, зарядные устройства, док-станции, сумки, автомобильные крепления



ZX80

- Дисплей 8", яркость 1000 нит, 1920×1200
- Процессор Qualcomm® Snapdragon™ QCS6490, 8 ядер, 1,9 ГГц
- Аккумулятор: 4060 мА·ч, опционально 9470 мА·ч
- Интерфейсы связи: Wi-Fi, Bluetooth, опционально GPS и 4G
- Считыватели: опционально сканер штрих-кодов, NFC
- Сертифицирован в соответствии с MIL-STD-810H и IP67, эксплуатация от -29°C до +63°C



ZX10

- Дисплей 10", яркость 800 нит, 1920x1200
- Процессор Qualcomm® Snapdragon™ 660, 8 ядер, 1,95 ГГц
- Интерфейсы связи: Wi-Fi, Bluetooth, GPS, опционально 4G, разъем подключения антенн для GPS и WWAN
- Считыватели: опционально RFID/NFC, смарт-карт, сканер штрих-кодов
- Аккумулятор: 2680 мА·ч, опционально 9980 мА·ч
- Сертифицирован в соответствии с MIL-STD-810H и IP66, эксплуатация от -29°C до +63°C



**ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ
ДОВЕРЕННЫЕ
НАДЁЖНЫЕ**

ПОЛНЫЙ СПЕКТР РЕШЕНИЙ

Модульные встраиваемые компьютеры серии МК900



МК906

Процессор K1892BM21Я (ЭЛВИС)
2×GbE, DisplayPort, 2×USB, 2×CAN, 2×COM
Степень защиты IP30



МК907

Процессор Эльбрус-2C3 (МЦСТ)
2×GbE, VGA, 4×USB, 4×COM
Степень защиты IP67



МК910

Процессор K1892BM21Я (ЭЛВИС)
2×GbE, DisplayPort, 3×USB, 3×COM
Степень защиты IP65



МК911

Процессор Эльбрус-2C3 (МЦСТ)
2×GbE, 2×DisplayPort, 2×USB, 1×CAN, 2×COM
Степень защиты IP30



МК912

Процессор AMD Ryzen Embedded
2×2.5GbE, 2×DisplayPort, 2×USB, 1×COM
Степень защиты IP30



МК920

Процессор Baikal-T1
2×GbE, VGA, 2×USB, 2×CAN, 4×COM
Степень защиты IP30

