

Система автоматизации серийных стендовых испытаний авиационных двигателей

Леонид Хаит, Руслан Хусаинов, Вадим Солдатов, Михаил Головин

В статье описана автоматизированная система для стендовых испытаний авиационных двигателей, разработанная и внедрённая сотрудниками Уфимского моторостроительного производственного объединения на собственном предприятии. Особенность системы в том, что её ядро создано на базе компонентов отечественного производства.

В статьях, опубликованных в журнале «СТА» в 1999 и 2012 годах, мы рассказывали о проектах автоматизированных информационно-измерительных систем (далее – АИИС) для стендовых испытаний авиационных двигателей.

В 2016–2017 годах был создан ряд проектов новых АИИС, базировав-

шихся на ранее отработанных и хорошо зарекомендовавших себя решениях. Традиционно в АИИС испытательных стендов Уфимского моторостроительного производственного объединения (ПАО «ОДК-УМПО») широко применяется оборудование и ПО из номенклатуры поставок компании ПРОСОФТ:

- корпуса промышленных компьютеров Advantech;
 - промышленные процессорные платы Advantech;
 - источники бесперебойного питания APC;
 - блоки питания Schroff;
 - флэш-память Innodisk;
 - контроллеры ввода-вывода FASTWEL I/O;
 - операционная система QNX.
- При построении новых АИИС (рис. 1) для серийных испытаний авиационных двигателей (АД) решались задачи:
- использовать измерительное оборудование из числа сертифицированных средств измерения;
 - при выборе оборудования в первую очередь использовать продукцию отечественного производства;
 - снизить затраты на приобретение аппаратной части АИИС;
 - применить защищённую сертифицированную операционную систему реального времени;
 - самостоятельно разработать прикладное программное обеспечение (ПО) АИИС.

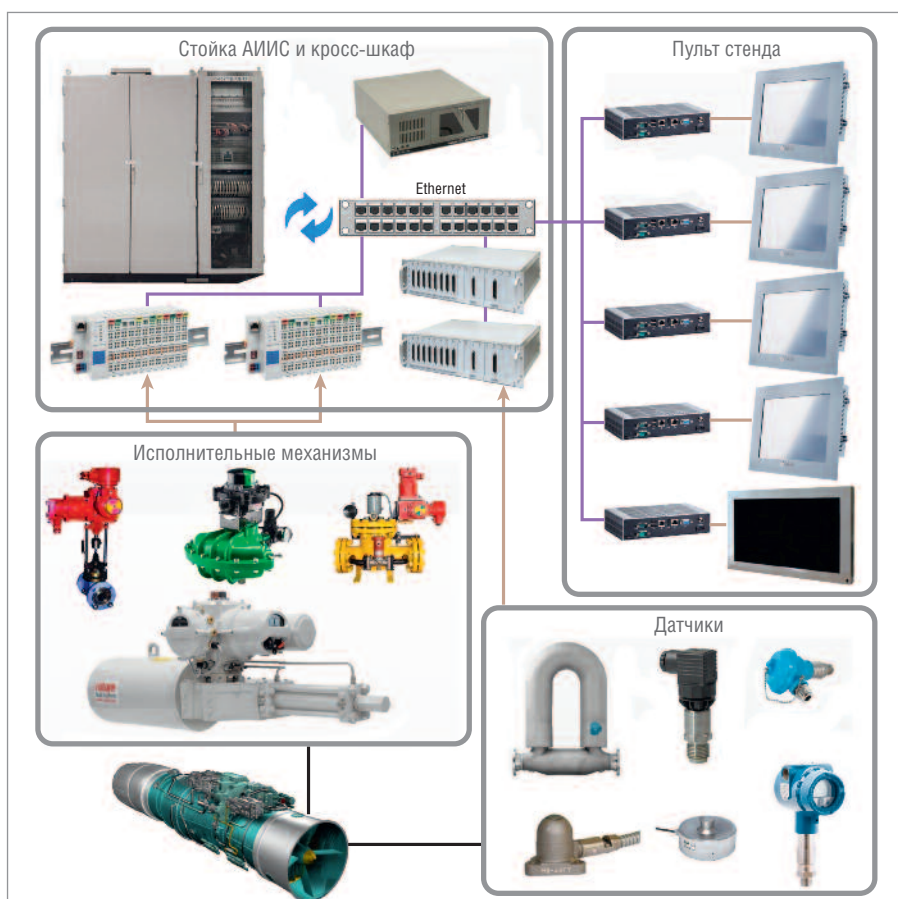


Рис. 1. Структура АИИС

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ НА БАЗЕ СЕРТИФИЦИРОВАННЫХ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ

Задача вытекает из необходимости сертифицировать АИИС в целом перед началом эксплуатации и выполнения периодических проверок каналов измерения АИИС в ходе эксплуатации.

Применение измерительного оборудования с утверждённым типом средств измерения существенно упрощает получение аттестата испытательного оборудования стенда. Оптимальным выбором по соотношению цена/качество оказалась крейтовая система измерения LTR производства ООО «Л Кард».

Крейтовая система LTR обладает широким набором модулей и обеспечивает измерения большинства сигналов, встречающихся в ходе серийных стендовых испытаний АД, с требуемой частотой и необходимой погрешностью.

В АИИС были применены следующие модули:

- LTR22 — для измерения сигналов вибрации;
- LTR27 — для измерения сигналов датчиков по току и напряжению;
- LTR51 — для измерения частотных сигналов;
- LTR212 — для измерения сигналов тензодатчика тягоизмерительной системы;
- LTR114 — для измерения сигналов потенциометрических датчиков.

Вторым решением стало применение сертифицированных датчиков и приборов, имеющих цифровой выход (Ethernet или последовательные каналы связи RS-485, RS-232). Прежде всего, это датчики давления с цифровым выходом. После опробования разных моделей наилучшими для решения наших задач оказались датчики МИДА-15 с цифровым интерфейсом RS-485 производства ПГ МИДА. Датчики могут объединяться в шину, подключаться к одному порту RS-485 и выдавать в АИИС готовые показания измеренного давления в нужных единицах измерения по протоколу Modbus-RTU. Эти датчики являются интеллектуальными: они программируются на нужные параметры последовательного порта, частоту измерения и порядка встроенного цифрового фильтра, но являются однодиапазонными.

Также используются кориолисовый расходомер MicroMotion с цифровым интерфейсом RS-485 для измерения массового расхода топлива и весовой терминал с цифровым интерфейсом производства ЗАО «Весоизмерительная компания «Тензо-М» для канала измерения эталонного усилия тяги при прямом нагружении.

Ещё один пример — интеллектуальные модули Метран-970 производства компании Метран, которые передают готовый результат измерения по сети Ethernet по протоколу Modbus TCP.

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКТУЮЩИХ АИИС ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА

Успешно применены видеомониторы промышленного исполнения, изготовленные компанией «Билтех». При рассмотрении вопроса о выборе кабельной продукции было принято решение использовать кабели отечественного производства ЗАО «СПКБ Техно». В качестве конструктивов шкафов была выбрана продукция отечественной компании Провенто.

Для ввода в АИИС сигналов датчиков ДБСКТ (дублированные синусно-косинусные трансформаторы) использована плата АЦПВТ ООО «РИВАС», для передачи информации в цифровую систему управления двигателем по протоколу ARINC (стандарт авиационной промышленности для формата и содержания файлов аэронавигационных данных) — интерфейс от АО «Электронная компания «Элкус».

Подсистема дискретного ввода-вывода АИИС состоит из двух частей:

- «быстрый» дискретный ввод, реализованный на базе платы производства ICP DAS PISO-P64U. Данный дискретный ввод используется для оценки работы двигательных агрегатов;
- «медленный» дискретный ввод и вывод, выполненный на базе двух отечественных контроллеров FASTWEL I/O. Данный вариант дискретного ввода-вывода используется для обслуживания технологических систем испытательного стенда. Программирование контроллеров проведено в среде разработки CODESYS. Обмен данными с контроллерами выполняется по интерфейсу Ethernet по протоколу Modbus TCP.

В состав каждого контроллера FASTWEL I/O входят программируемый контроллер узла сети Ethernet CPM713-01, модули дискретного ввода DIM76201 и DIM71701 и модули дискретного вывода DIM71901. Всего на базе контроллеров FASTWEL I/O организовано управление 256 каналами дискретного вывода и 256 каналами дискретного ввода.

Следует отметить ограничение по скорости ввода дискретных сигналов на контроллерах FASTWEL I/O — не более 20 Гц на канал при циклическом вычитывании этого результата по интерфейсу Ethernet, протокол Modbus TCP.

СНИЖЕНИЕ СТОИМОСТИ

Применение отечественного оборудования позволило снизить общую стоимость системы автоматизации.

В сравнении с АИИС предыдущего поколения при примерно равном числе аналоговых и дискретных каналов стоимость комплектующих аппаратной части АИИС удалось сократить примерно в два раза в денежном выражении в сопоставимых ценах.

Отдельно стоит отметить, что в АИИС используется оборудование без средств синхронизации с аппаратным источником реального времени, что также снижает его стоимость. Взамен используется «программное» реальное время.

ЗАЩИЩЁННАЯ ОС КПДА 10964-01

Программное обеспечение АИИС разработано на базе защищённой операционной системы КПДА «Нейтрино» (она же ОС реального времени QNX версии 6.5).

Защищённая операционная система реального времени (ЗОСРВ) «Нейтрино» КПДА.10964-01 поставляется компанией «СВД». Операционная система сертифицирована в МО РФ и имеет сертификаты соответствия:

- МО РФ № 3385 от 27.10.2016 (действителен до 27.10.2021);
- ФСТЭК России № 3795 от 29.08.2017 (действителен до 29.08.2020).

Данная ОС имеет высокую скорость реакции на происходящие события (несколько микросекунд на обработку прерываний и смену контекста), поддерживает несколько ядер процессора ПК и имеет встроенную сеть, которая объединяет контроллеры АИИС в единую вычислительную систему.

ОС КПДА имеет микроядерную архитектуру, при которой небольшой программный код ядра ОС выполняет основные функции диспетчеризации нитей программ и обработки прерываний, а остальные менеджеры ресурсов и прикладные программы исполняются в виде обычных процессов. Данная архитектура операционной системы значительно повышает надёжность работы всего ПО АИИС.

Применение ОС реального времени позволяет на одном ПК одновременно выполнять как задачи измерения, так и задачи предоставления данных испытательному оператору АИИС, непрерывную запись измерений на жёсткий диск, передачу данных испытаний в АСУ верхнего уровня.

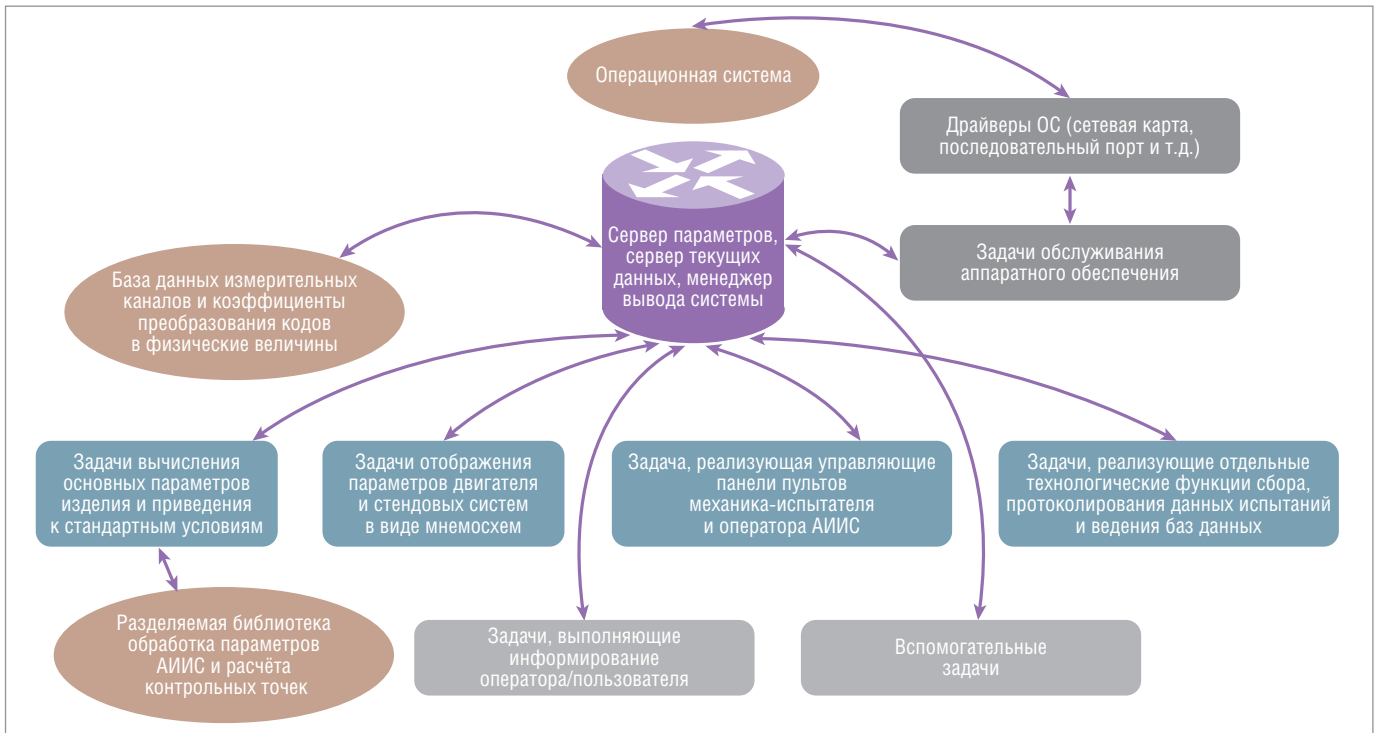


Рис. 2. Структурная схема ПО АИИС

Всего в АИИС под управлением ОС КПДА работают восемь контроллеров, которым присвоены имена А1, А2,...А8. Все контроллеры связаны между собой дублированной Ethernet-сетью. Контроллеры А1 и А2 размещены в измерительном шкафу вместе с крейтами L-Card, источником бесперебойного питания и сетевым коммутатором, в котором настраивается несколько виртуальных сетей для повышения качества работы компьютерной сети АИИС.

Контроллеры А3...А8 исполнены на базе малогабаритных безвентиляторных промышленных компьютеров производства Аxiomtek. Данные контроллеры сочетают низкую стоимость, высокую надёжность в эксплуатации за счёт отсутствия вращающихся вентиляторов охлаждения и миниатюрный размер, удобно встраиваются в пульта управления стендом.

Контроллеры А3...А8 совместно с сенсорными мониторами, клавиатурами и манипуляторами мышь образуют рабочие места операторов АИИС.

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АИИС

Обобщённая структура ПО АИИС представлена на рис. 2. Программное обеспечение для поддержки крейтовой системы LTR адаптировано для ОС КПДА инженерами ООО «Л Кард» и поставляется в виде открытого кода на языке С.

Для интерфейса цифрового обмена по ARINC также имеется готовый драйвер для ОС КПДА.

Прикладное программное обеспечение АИИС разработано силами ПАО «ОДК-УМПО» и широко использует предоставляемые ОС КПДА механизмы обмена сообщениями между процессами.

Прикладное ПО построено вокруг двух серверных программ: сервера параметров АИИС и сервера текущих измерений.

Прикладные программы разработаны в виде независимо исполняемых процессов по их назначению:

- программы обслуживания измерительных устройств АИИС;
- программа обслуживания базы данных параметров АИИС;
- программа ввода исходных данных испытаний;
- программа статических измерений и обработки параметров;
- программа измерения и обработки переходных режимов;

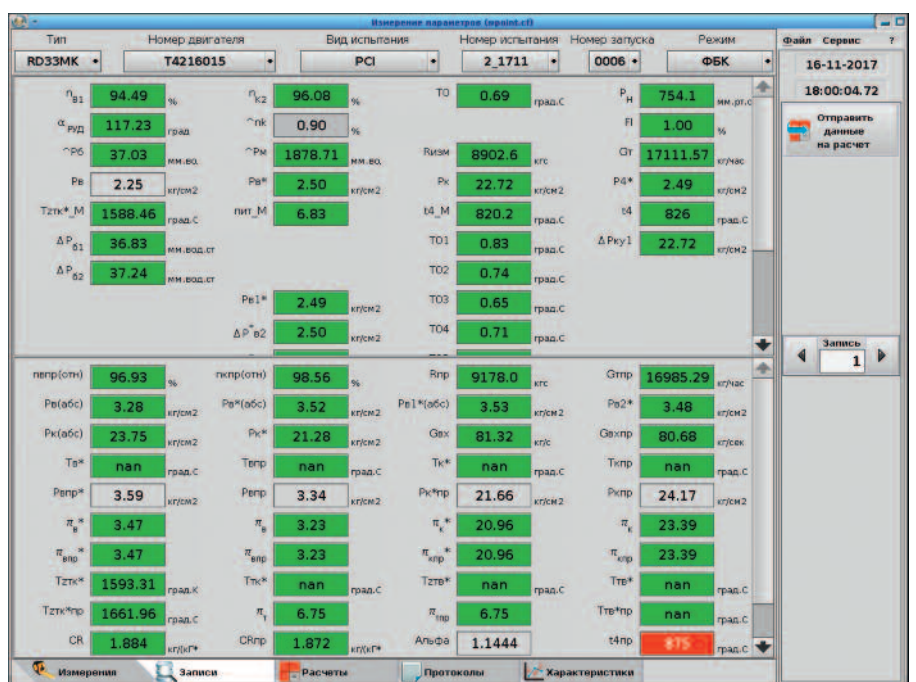
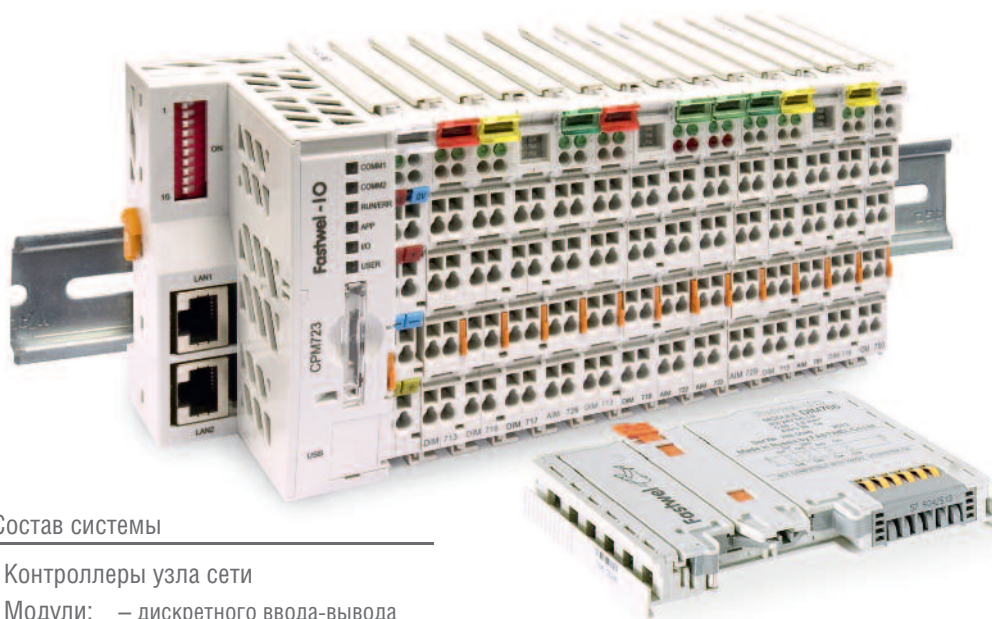


Рис. 3. Программа регистрации статических режимов работы двигателя (регистрация контрольных точек)

Распределённая система ввода-вывода **FASTWEL I/O**

МОРСКОЙ РЕГИСТР
ПОЖАРНЫЙ СЕРТИФИКАТ
СЕРТИФИКАТ СООТВЕТСТВИЯ
РЕЕСТР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

-40...+85°C



Состав системы

- Контроллеры узла сети
- Модули:
 - дискретного ввода-вывода
 - аналогового ввода-вывода
 - измерения температуры
 - сетевых интерфейсов

Модульный программируемый контроллер

- Процессоры 500/600 МГц
- Встроенный и внешний флэш-накопители объёмом до 32 Гбайт
- Энергонезависимая память 128 кбайт с линейным доступом
- Бесплатная адаптированная среда разработки приложений CODESYS
- Часы реального времени
- Сервис точного времени на базе GPS/GLONASS PPS
- Модули ввода-вывода с контролем целостности цепей



CPM711

- Протокол передачи данных CANopen
- Сетевой интерфейс CAN



CPM712

- Протокол передачи данных Modbus RTU, DNP3
- Сетевой интерфейс RS-485



CPM713

- Протокол передачи данных Modbus TCP, DNP3
- Сетевой интерфейс Ethernet



CPM723

- Протоколы передачи данных Modbus TCP/RTU
- Сетевой интерфейс 2xEthernet



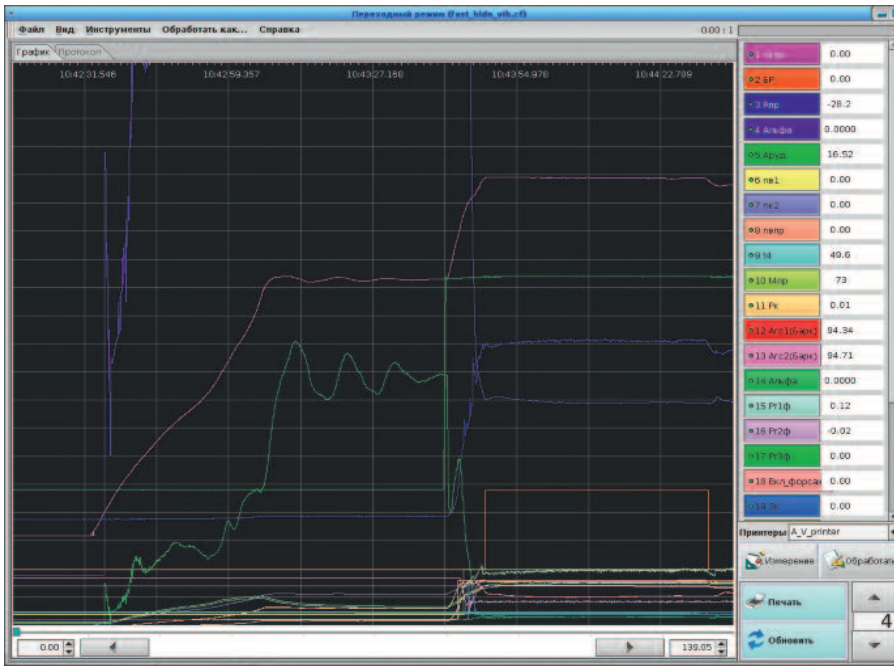


Рис. 4. Программа динамических измерений (регистрация переходных режимов работы двигателя)

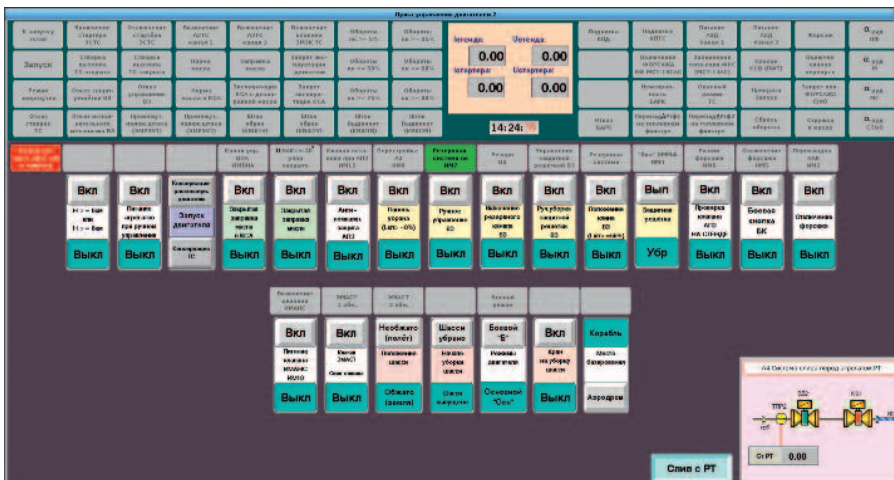


Рис. 5. Электронный пульт управления двигателем

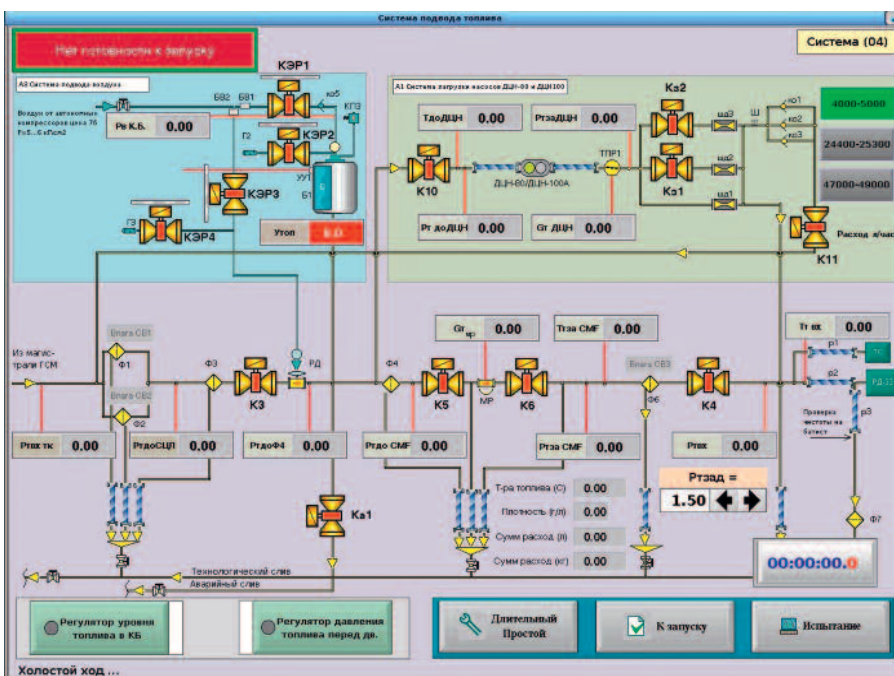


Рис. 6. Мнемосхема системы подвода топлива

- программа измерения и записи вибрации двигателя;
- программа непрерывной записи измеряемых параметров и сигналов в ходе испытаний;
- программа измерения и обработки температурных полей;
- программа оценки метрологических характеристик и вычисления градуировок ИК АИИС;
- другие программы.

На контроллере А3 запускаются программы выполнения статических и динамических измерений параметров (рис. 3, 4), программы обеспечения специальных испытаний и измерения температурных полей, программа непрерывной записи параметров в ходе испытаний. Программы работают в реальном времени в среде многозадачной ОС с использованием правил приоритетной диспетчеризации и не влияют одна на другую.

Контроллер А4 отображает панель виброизмерений, которая, кроме визуализации трендов вибрации, формы сигналов вибрации, виброспектров, ведёт непрерывную запись формы сигналов вибрации. Измерение и запись сигналов вибрации возможны в диапазоне от 3 до 52 кГц.

Контроллер А6 используется для отображения основных параметров испытуемого изделия и панели информационных, предупредительных и аварийных сообщений. Каждое срабатывание исполнительного механизма, каждое действие моториста-испытателя фиксируется в панели сообщений и на жёстком диске АИИС.

К контроллеру А7 подключён видеомонитор с большой диагональю 32", на нём отображается интеллектуальный пульт с табло и кнопками запуска и управления двигателем (рис. 5). На кнопки с большой ответственностью подключается дополнительный диалог подтверждения, заставляющий исполнителя задуматься, правильное ли действие он собирается выполнить. В соответствии с алгоритмом управления кнопки могут блокироваться на определённых режимах работы двигателя, обеспечивая защиту «от дурака».

На контроллере А8 отображается необходимое число мнемосхем технологических систем испытательного стенда (рис. 6, 7). Каждая мнемосхема исполняется как отдельный процесс – виртуальный программируемый контроллер.

В виртуальном контроллере работает основная нить отображения технологи-

Новые возможности для развития бизнеса



- ▶ Современная система диспетчерского управления и сбора данных
- ▶ Надежная передача данных по OPC UA
- ▶ Прекрасный уровень визуализации
- ▶ Интеграция с Microsoft Bing, Google Maps и ERSI
- ▶ Снижение эксплуатационных расходов на обслуживание объекта
- ▶ ПО сертифицировано для Windows 10, Windows 8, Windows Server 2012, Windows Server 2016
- ▶ Поддержка данных OPC UA, OPC DA, A&E, HDA, BACnet, SNMP



Winner
Microsoft Partner
2017 Partner of the Year
Application Development Award

Winner
Microsoft Partner
2018 Partner of the Year
Manufacturing Award



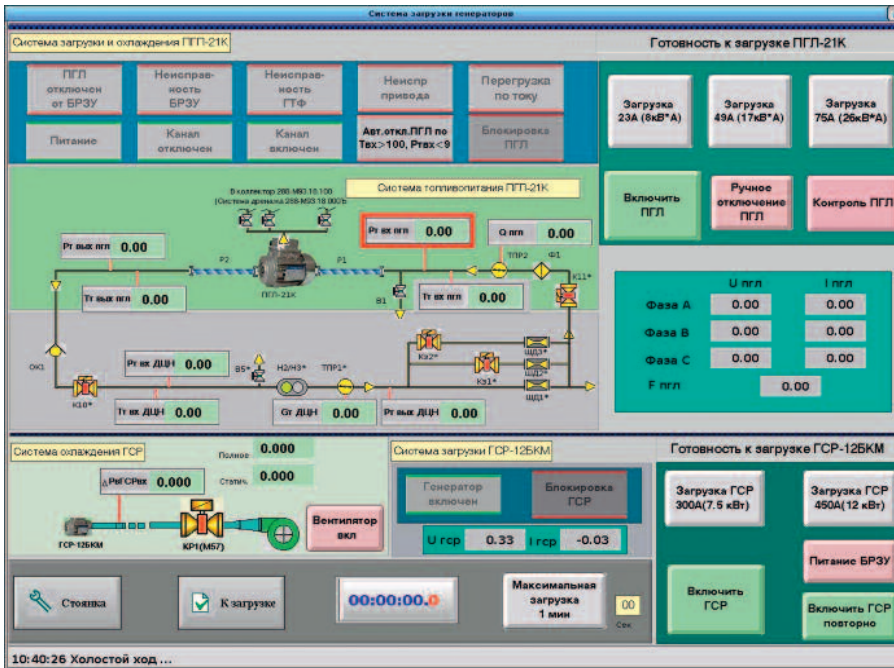


Рис. 7. Мнемосхема системы загрузки и охлаждения генераторов двигателя



Рис. 8. Общий вид АИИС в кабине наблюдения

ческой системы и несколько нитей исполнения технологических алгоритмов и защит. Языком программирования в виртуальном контроллере является встроенный интерпретатор языка C/C++ (Ch), позволяющий программировать любую технологическую систему с использованием всей мощи языка C/C++.

Оригинальное решение найдено для определения реального времени каждого измерения с помощью крейтовой системы LTR. Используется разём синхронизации крейта для получения числа синхроимпульсов. Источником синхроимпульсов является установленная в ПК плата ЦАП ISP DAS PICO-DA16U, имеющая в своём составе дискретный вывод. Выдачей синхроимпульсов управляет прикладная программа с высоким приоритетом исполнения, которая начинает генерировать первый синхроимпульс строго в начале очередной секунды и далее генерирует 200 синхроим-

пульсов в секунду по программному таймеру реального времени ОС КПКДА.

Таким образом, каждый результат измерения модуля LTRc помощью сопровождающего его суммарного числа синхроимпульсов привязывается к реальному времени с точностью $1000/200 = 5$ миллисекунд.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

АИИС испытательных стендов ПАО «ОДК-УМПО» (рис. 8) разработаны и внедрены в эксплуатацию силами инженеров одного из отделов объединения.

Внедрение АИИС собственными силами ПАО позволяет обеспечивать надёжное сопровождение в эксплуатации в режиме 24/7, даёт полную открытость исходного кода прикладных программ и позволяет развивать функции АИИС на протяжении всего жизненного цикла испытательного стенда. ●

E-mail: m-golovin@mail.ru

НОВОСТИ НОВОСТИ

ICONICS – лучший производственный партнёр года Microsoft

Winner
Microsoft Partner
2018 Partner of the Year
Manufacturing Award

Компания ICONICS признана победителем в номинации 2018 Microsoft Manufacturing Partner of the Year за превосходные программные решения и сервисы в секторе инноваций и цифровой трансформации производственных объектов по всему миру. Базируясь на технологиях Microsoft, ICONICS уже в шестой раз завоёвывает высшую награду в различных номинациях премии «Партнёр года».

– ICONICS особенно гордится наградой этого года, – прокомментировал победу президент и генеральный директор ICONICS Русс Агрус. – Будучи шестикратными обладателями этой престижной премии, мы воспринимаем её как прекрасный результат нашей совместной длительной работы с Microsoft и общих достижений, рождённых в сотрудничестве между нашими компаниями.

В этом году награды Microsoft присуждались в нескольких категориях, победители выбирались из более чем 2600 номинантов из 115 стран мира.

– Я рад узнать, что компания ICONICS стала победителем 2018 Microsoft Manufacturing Partner of the Year Award, – говорит Чальян Аркан, руководитель направления Manufacturing & Resources at Microsoft. – Миссия Microsoft – помогать нашим партнёрам и добавлять ещё большую ценность их продуктам с помощью нашего облачного решения Azurecloud и технологий AzureIoT. ICONICS имеет проверенный годами опыт для решения задач, с которыми обычно сталкиваются крупнейшие промышленные компании мира.

Премия «Производственный партнёр года Microsoft» вручается партнёрским организациям, которые преуспели в разработке инновационных и уникальных продуктов для промышленности на основе технологий Microsoft, демонстрируя лидерство в своей отрасли. Победители в этой номинации – компании с экспертными знаниями и большим опытом в отрасли, а также высококачественным, клиентоориентированным сервисом, решения которых оказывают большое влияние на рынок.

Победитель этого года ICONICS создаёт востребованные в ключевых отраслях промышленности программные решения на базе новейших технологий Microsoft. ●



EX77900

28-портовый управляемый коммутатор L3
 Промышленное исполнение
 Кольцевое резервирование с быстрым восстановлением (<15 мс)

ПРОМЫШЛЕННОЕ СЕТЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ для АСУ ТП, сетей безопасности и видеонаблюдения

- Многопортовые коммутаторы Gigabit Ethernet, в том числе PoE
- Резервирование линий связи для отказоустойчивости
- Оптимизированная передача промышленных протоколов и IP-видео
- Удлинитель Ethernet до 2,6 км (cat. 3, 5, телефонный провод)
- Преобразователи сред Ethernet
- Диапазон рабочих температур $-40...+75^{\circ}\text{C}$ для монтажа вне помещений
- Грозозащита Ethernet и VDSL



ED3575

Управляемый коммутатор
 6×Fast Ethernet + 2×1 GbE SFP
 2×VDSL-удлинитель Ethernet
 Резервирование RSTP, α-Ring



EX73900

Управляемый коммутатор L3
 12×1 GbE + 4×1 GbE SFP
 Резервирование RSTP, α-Ring
 Маршрутизация динамическая, статическая



PD3041

**Модуль искро-
и грозозащиты для VDSL**

