

Электронный научный журнал "Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках" <http://mathmod.esrae.ru/>

URL статьи: mathmod.esrae.ru/56-238

Ссылка для цитирования этой статьи:

Тюлюкин В.А. Базовая концепция автономного пульта управления для отладки и обслуживания промышленных изделий // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. 2026. №

УДК 681.518.5

DOI:10.24412/2541-9269-2026-2-32-38

БАЗОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ АВТОНОМНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ДЛЯ ОТЛАДКИ И ОБСЛУЖИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ

В.А. Тюлюкин

Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю.А.,
Россия, Саратов, tulukinvaleriy@gmail.com

BASIC CONCEPT OF A STANDALONE CONTROL PANEL FOR DEBUGGING AND MAINTENANCE OF INDUSTRIAL PRODUCTS

V.A. Tyulyukin

Yuri Gagarin State Technical University of Saratov,
Russia, Saratov, tulukinvaleriy@gmail.com

Аннотация. В работе рассматривается концепция универсального автономного пульта управления, предназначенного для отладки, настройки и технического обслуживания программной составляющей промышленных изделий. Анализируется целесообразность оснащения пульта собственными органами управления и набором типовых интерфейсов передачи данных. Приведена систематизация целевых интерфейсов на основе примеров сопрягаемых изделий, рассмотрены два варианта аппаратной архитектуры пульта и обоснован выбор программной платформы. Результаты работы могут быть использованы при проектировании унифицированного контрольно-проверочного оборудования.

Ключевые слова: универсальный пульт управления, автономное устройство, ПЛИС, микроконтроллер, интерфейсы передачи данных, контрольно-проверочная аппаратура.

Abstract. This paper discusses the concept of a universal standalone control device intended for debugging, configuration, and maintenance of the software component of industrial products. The feasibility of equipping the device with its own control elements and a set of standard data transmission interfaces is analyzed. A systematization of target interfaces is provided based on examples of interfaced products; two hardware architecture options for the panel are considered, and the

choice of software platform is substantiated. The results can be used in the design of unified test and checkout equipment.

Keywords: universal control device, standalone device, FPGA, microcontroller, data transmission interfaces, test and checkout equipment.

Современное приборостроительное производство характеризуется широкой номенклатурой выпускаемых изделий, каждое из которых на этапах отладки, настройки и технического обслуживания требует применения специализированного контрольно-проверочного оборудования. Традиционно такие операции выполняются с использованием персонального компьютера, оснащённого соответствующими интерфейсными платами и специализированным программным обеспечением. Подобный подход особенно характерен для работы с аппаратурой, использующей как стандартные, так и специализированные интерфейсы обмена, в том числе МКИО, Ethernet, CAN, PCI Express и LVDS [2–6]. Такой подход обладает рядом недостатков: он требует наличия исправного персонального компьютера на каждом рабочем месте, увеличивает совокупную стоимость рабочего места и снижает мобильность процесса обслуживания.

Целью настоящей работы является описание технической концепции универсального автономного пульта управления, позволяющего проводить отладку, настройку и техническое обслуживание изделий вне зависимости от наличия персонального компьютера. Разработка подобного изделия позволит устранить пробелы, выявленные в ходе изучения предметной области в [1]. Автономность достигается за счёт интеграции в пульт собственных средств отображения информации и органов управления, а универсальность — за счёт оснащения устройства набором типовых интерфейсов и слотов расширения, рассчитанных на установку переходных плат-конвертеров.

Разработка универсального пульта управления требует решения следующих основных задач:

1. систематизация сведений о целевых интерфейсах сопрягаемых изделий и формирование требований к составу портов пульта;
2. выработка конкретного решения по физической архитектуре изделия и компонентной базе;
3. разработка математического (алгоритмического) аппарата, обеспечивающего корректное взаимодействие с изделиями, работающими в различных тактовых режимах;
4. подготовка эскиза внешнего вида, габаритных размеров и размещения выводов устройства.

Ключевым требованием к пультам является сочетание автономности и универсальности. Автономность подразумевает способность устройства функционировать без подключения к персональному компьютеру, что обеспечивается применением сенсорного дисплея и встроенной вычислительной

платформы. Универсальность предполагает возможность подключения к пультам разнородных изделий, использующих различные физические и логические интерфейсы, включая CAN, SPI, МКИО, Ethernet, шины параллельных кодов, LVDS и другие [2–6].

Для формирования обоснованных требований к составу портов универсального пульта была проведена систематизация сведений об интерфейсах изделий, выпускаемых предприятием. Для каждого изделия определены тип тактового импульса (ТИ), состав входных и выходных сигналов с учетом их привязки к такту работы, а также используемые интерфейсы передачи данных. Результаты систематизации приведены в таблице 1.

Изделие	ТИ	Входы, изменяемые раз в такт	Входы, изменяемые внутри такта	Входы без привязки к такту	Выходы, изм-е раз в такт	Выходы, изменяемые внутри такта	Выходы без привязки к такту	Интерфейс с привязкой к ТИ	С привязкой к импульсам внутри такта	Без привязки к импульсам
Изделие-1	4LVDS	----	2LVDS	----	6TTL	13TTL	----	МКИО	----	Ethernet
Изделие-2	2TTL	32TTL	6TTL, 1LVDS	6TTL	9TTL	----	----	Ethernet, МКИО	----	Ethernet
Изделие-3	3TTL	1LVDS+ 4TTL	----	2LVDS	1LVDS+ 7LVDS	1TTL	2LVDS	----	SPI	----

Таблица 1 - примеры списков интерфейсов устройств

Анализ представленных данных позволяет сделать ряд выводов, определяющих требования к архитектуре пульта.

Во-первых, наиболее распространёнными физическими уровнями сигналов являются TTL и LVDS, что обуславливает необходимость их аппаратной поддержки в составе встроенных интерфейсов, в том числе на уровне согласования и помехоустойчивой передачи дифференциальных сигналов [6]. Во-вторых, среди стандартных интерфейсов передачи данных наиболее часто встречаются МКИО, SPI, Ethernet, CAN и PCIe, которые целесообразно реализовать либо как встроенные, либо как реализуемые посредством переходных плат [2–5]. В-третьих, существенная часть сигналов имеет жёсткую привязку к тактовому импульсу изделия, как «раз в такт», так и «внутри такта», что предъявляет повышенные требования к детерминированности и временным характеристикам обработки сигналов и определяет необходимость применения программируемой логики [7].

Таким образом, состав сопрягаемых изделий подтверждает требование универсальности: устройство должно одновременно поддерживать как

высокоскоростные стандартные интерфейсы, так и большое число параллельных сигнальных линий с точной временной привязкой.

На основании проведенного анализа предлагается структурно разделить пульт на три основные функциональные составляющие:

1. дисплей и плата управления дисплеем, обеспечивающие отображение информации и взаимодействие с оператором;
2. микроконтроллер, обеспечивающий работу встроенных интерфейсов передачи данных;
3. программируемая логическая интегральная схема (ПЛИС), обеспечивающая работу портов расширения и обработку сигналов с жёсткой привязкой к тактовым импульсам [7].

Для обеспечения автономности пульт предлагается оснастить сенсорным дисплеем с диагональю экрана не менее 7 дюймов. Такой выбор обеспечивает читаемость текста и подписей к виртуальным элементам управления и позволяет отказаться от механических органов управления, что повышает надёжность и упрощает конструкцию.

Универсальность достигается оснащением пульта типовыми интерфейсами, определёнными по результатам анализа, а также несколькими универсальными слотами расширения. Слоты предназначены для установки переходных плат, выступающих в роли конвертеров интерфейсов и обеспечивающих подключение устройств с различными физическими и логическими интерфейсами, включая CAN, SPI и шины параллельных кодов [3–5].

В качестве платы управления дисплеем предлагается использовать вычислительный модуль, поддерживающий операционную систему Android [10]. Применение Android позволяет упростить разработку графической оболочки управления за счёт её унификации с оболочкой, функционирующей на персональном компьютере.

Унификация между персональными компьютерами и разрабатываемой системой достигается за счёт использования программного пакета .NET MAUI, предоставляющего возможность разработки кроссплатформенных приложений, предназначенных для запуска на различных аппаратных платформах [11]. Это снижает трудоёмкость сопровождения программного обеспечения и обеспечивает единообразие пользовательского интерфейса.

Для реализации встроенных интерфейсов и портов расширения рассматриваются два альтернативных варианта построения вычислительного ядра.

Первый вариант предполагает применение отдельной микросхемы ПЛИС совместно с двухъядерным микроконтроллером, например STM32H7 [8]. Такое решение позволяет в параллельном режиме обрабатывать данные ПЛИС и обслуживать встроенные интерфейсы передачи данных.

Второй вариант основан на применении системы на кристалле семейства Zynq, вмещающей в одном корпусе процессорное ядро архитектуры ARM и ПЛИС [9]. Это решение обеспечивает более тесную интеграцию вычислительной

и логической частей и упрощает проектирование печатной платы.

Сравнительная оценка вариантов показывает, что решение на базе STM32H7 и отдельной ПЛИС обладает большей гибкостью при выборе компонентной базы и потенциально меньшей стоимостью при умеренных объёмах задач, тогда как решение на базе Zynq предпочтительно при необходимости высокой степени интеграции и упрощения межкомпонентного обмена [8, 9]. Окончательный выбор должен быть сделан на этапе детального проектирования с учётом требований по производительности, энергопотреблению и стоимости.

В работе предложена концепция универсального автономного пульта управления, обеспечивающего отладку, настройку и техническое обслуживание изделий предприятия без применения персонального компьютера. Проведённая систематизация интерфейсов сопрягаемых изделий подтвердила необходимость одновременной поддержки распространённых физических уровней сигналов, прежде всего TTL и LVDS [6], и стандартных интерфейсов, таких как МКИО, Ethernet, CAN и PCIe [2–5], а также большого числа параллельных сигнальных линий с точной временной привязкой. Предложено трёхкомпонентное структурное построение пульта и рассмотрены два варианта аппаратной архитектуры — на базе STM32H7 с отдельной ПЛИС [8] и на базе системы на кристалле Zynq [9]. Обоснован выбор программной платформы на основе Android [10] и пакета .NET MAUI [11], обеспечивающий унификацию программного обеспечения. Полученные результаты создают основу для последующего детального проектирования устройства. В рамках дальнейшего развития проекта предполагается решение следующих задач:

1. Окончательная систематизация сведений о целевых интерфейсах и формализация требований к составу портов расширения;
2. Выработка конкретного решения по физической архитектуре изделия и компонентной базе на основе сравнительного анализа вариантов, представленных в разделе 4.3;
3. Разработка математической модели взаимодействия пульта с сопрягаемыми изделиями, учитывающей различные режимы тактирования сигналов, с целью обеспечения детерминированной обработки данных [7].

Литература

1. Тюлюкин В.А. Обзор литературных источников, описывающих различные аспекты разработки автономных устройств для настройки и проверки работоспособности промышленных электронных изделий // Математическое моделирование, компьютерный и натурный эксперимент в естественных науках. — 2026. — № 1; URL: <http://mathmod.esrae.ru/55-237> (дата обращения: 14.06.2026).
2. IEEE Std 802.3-2022. IEEE Standard for Ethernet. — New York : IEEE, 2022.

3. ISO 11898-1:2015. Road vehicles — Controller area network (CAN) — Part 1: Data link layer and physical signalling. — Geneva : International Organization for Standardization, 2015.
4. PCI Express Base Specification Revision 5.0. — Beaverton : PCI Special Interest Group, 2019.
5. ANSI/TIA/EIA-644-A-2001. Electrical Characteristics of Low-Voltage Differential Signaling (LVDS) Interface Circuits. — Arlington : Telecommunications Industry Association, 2001.
6. Maxfield C. The Design Warrior's Guide to FPGAs: Devices, Tools and Flows. — Amsterdam ; Boston : Newnes, 2004. — 542 p.
7. STMicroelectronics. RM0433 Reference manual: STM32H742, STM32H743/753 and STM32H750 Value line advanced Arm-based 32-bit MCUs [Электронный ресурс]. — URL: https://www.st.com/resource/en/reference_manual/rm0433-stm32h742-stm32h743753-and-stm32h750-value-line-advanced-armbased-32bit-mcus-stmicroelectronics.pdf (дата обращения: 21.06.2026).
8. AMD. Zynq-7000 SoC Technical Reference Manual (UG585) [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.amd.com/r/en-US/ug585-Zynq-7000-TRM> (дата обращения: 21.06.2026).
9. Android Developers. Android Developers Documentation [Электронный ресурс]. — URL: <https://developer.android.com/> (дата обращения: 21.06.2026).
10. Microsoft Learn. .NET Multi-platform App UI (.NET MAUI) Documentation [Электронный ресурс]. — URL: <https://learn.microsoft.com/dotnet/maui/> (дата обращения: 21.06.2026).