

Архитектура типовой системы автоматизации технологических процессов на базе отечественных СВТ и ПО

М. С. Аристов¹, А. И. Грюнталь², Я. А. Зотов³, Я. А. Шаповалов⁴,
Д. В. Яриков⁵

¹НИИСИ РАН, Москва, Россия, aristov@niisi.ras.ru;

²НИИСИ РАН, Москва, Россия, grntl@niisi.ras.ru;

³НИИСИ РАН, Москва, Россия, zotov@niisi.ras.ru;

⁴НИИСИ РАН, Москва, Россия, shapovalov@niisi.ras.ru;

⁵НИИСИ РАН, Москва, Россия, yarikov@niisi.ras.ru;

Аннотация. В свете высоких рисков использования зарубежных решений для автоматизации технологических процессов критической инфраструктуры стали особенно актуальны решения на базе отечественной технологической базы. В статье описана архитектура типовой АСУ ТП на базе разработанных в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН программируемых логических контроллеров, операционной системы, средств разработки и другого ПО. Представленные решения поддерживают отраслевые стандарты обмена данными между АСУ ТП и устройствами управления.

Ключевые слова: программируемые логические контроллеры, операционная система, отечественное производство, автоматизированные системы управления, технологические процессы, scada, разработка ПО

1. Введение

Разработка автоматизированных систем управления технологическими процессами требует решения ряда научно-технических проблем, которые раньше решались методом заимствования и использования зарубежных компонентов СВТ и ПО.

Одними из отрицательных итогов применения зарубежных технических и технологических решений стала потеря компетенции в самостоятельной разработке отечественных обеспечивающих технологий, необходимых для реализации законченных приложений.

Использование свободно распространяемого программного обеспечения в ключевых местах элементов законченных систем привело к зависимости от технических решений, внедренных в свободно распространяемое ПО и не контролируемых РФ.

Применение свободно распространяемого ПО сдерживается отсутствием уверенности в его надежности, невозможностью гарантировать отсутствие закладных элементов, избыточной сложностью ПО, отсутствием процедур сопровождения.

Кроме того, применение зарубежного ПО сдерживается его избыточной сложностью, что, в свою очередь, является следствием универса-

лизации программного обеспечения в соответствии с требованиями рынка.

Поэтому использование свободного программного обеспечения в ключевых элементах в системах критической информационной инфраструктуры (КИИ), а системы АСУ ТП зачастую относятся именно к этому классу систем, не представляется возможным.

Особенно жесткие требования предъявляются к операционным системам реального времени, корректное функционирование которых является основой надежности всей системы.

Соответствующие проблемы относятся и к электронной компонентной базе (ЭКБ), в первую очередь к микропроцессорам.

В связи с этим возникает задача разработки типовой структуры технологических средств для создания АСУ ТП, основанных в своих ключевых элементах на отечественном ПО и СВТ.

2. Обобщенная структура АСУ ТП

Обобщенная структура АСУ ТП приведена далее. С точки зрения функциональных элементов автоматизированная система управления технологическими процессами состоит из следующих элементов:

- программируемых логических контроллеров (ПЛК),

- автоматизированных рабочих мест оператора (АРМ оператора),
- сервера ввода-вывода.

Количество ПЛК и АРМ оператора в рамках одной системы может варьироваться и достигать десятков и сотен.

Далее описаны основные элементы, входящие в состав АСУ ТП. Более подробное описание приведено в последующих разделах. Описание структуры и назначения сервера ввода-вывода приведено в [1].

ПЛК предназначен для сбора данных, поступающих от датчиков, выработки на основе поступивших данных управляющих воздействий, направляемых к устройствам управления технологическим процессом (УУ), отправки управляющих воздействий устройствам управления (УУ). Взаимодействие ПЛК с внешними устройствами осуществляется с использованием промышленных протоколов, дискретных и аналоговых сигналов.

Кроме того, ПЛК должен обеспечивать дополнительные функции:

- протоколирование и ведение журналов системных событий,
- протоколирование и ведение журналов прикладных событий,
- протоколирование и ведение журналов событий безопасности,
- самодиагностику,
- синхронизацию времени, др.

В состав ПЛК входят процессорные модули, а также модули ввода-вывода и коммуникационные модули.

Взаимодействие между процессорными модулями и модулями ввода-вывода осуществляется по скоростной шине. Один из возможных вариантов – шина EtherCat [5].

Взаимодействие между модулями ввода-вывода и внешними устройствами (датчиками и устройствами управления) происходит по дискретным или аналоговым сигналам, а также с использованием специализированных промышленных протоколов. В настоящее время, в рамках проектов ПЛК-1 и ПЛК-2 реализованы промышленные протоколы Modbus TCP, Modbus RTU, МЭК 101, МЭК 104, OPC UA.

ПЛК должен обеспечивать связь с АРМ оператора. Основное назначение АРМ оператора – оперативное отслеживание параметров технологического процесса, контроль за изменением технологических параметров, внесение изменений в технологический процесс, регистрация истории функционирования объекта управления, запись и хранение журналов событий, аварийных ситуаций.

Функционирование АРМ оператора обеспечивается программой Диспетчерского Управления и Сбора Данных (ДУиСД). Программа ДУиСД должна обеспечивать вывод параметров функционирования объекта управления, оповещение об аварийных ситуациях, интерактивный ввод и передачу на ПЛК значений параметров, управляющих состоянием и функционированием ПЛК.

Взаимодействие между программируемыми логическими контроллерами и автоматизированными рабочими местами оператора происходит с использованием сервера ввода-вывода (СВВ). Сервер ввода-вывода представляет собой промежуточное звено сбора, хранения и распространения данных, получаемых от ПЛК направляемых в АРМ оператора. Взаимодействие между ПЛК и сервером ввода-вывода (СВВ) и между АРМ оператора и сервером ввода-вывода осуществляется по проприетарному протоколу MLCP, разработанному в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН [11].

Ниже приведены подробные описание назначения и программной архитектуры основных элементов АСУ ТП: ПЛК, ДУиСД, сервера ввода-вывода. Описание и назначение сервера ввода-вывода приведено в [1]. Сервер ввода-вывода базируется на оригинальных кодах, без зарубежных заимствований.

3. Состав и назначение программы диспетчерского управления и сбора данных

Программа диспетчерского управления и сбора данных (программа ДУиСД) принадлежит к семейству SCADA-программ. Программа предназначена для автоматизации работы оператора технологического процесса и обеспечивает визуализацию состояния технологического процесса в виде мнемосхем, графиков, окон со значениями параметров технологического процесса объекта управления, а также передачу команд оператора одному или нескольким программируемым логическим контроллерам, которые непосредственно управляют технологическим процессом. Информационное взаимодействие между программой ДУиСД и программируемыми логическими контроллерами осуществляется по разработанному в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН проприетарному протоколу MLCP. Программа ДУиСД функционирует под управлением операционной системы Linux на компьютерах с архитектурой x86 и MIPS.

Программа ДУиСД включает набор технологических средств для создания мнемосхем, диалога с пользователем, автоматического накопления и хранения данных о технологическом процессе. В программе ДУиСД реализована работа

с проектами. Проекты хранятся в виде текстовых файлов в JSON-формате [12]. Программа ДУиСД функционирует в штатном и технологическом режимах.

В штатном режиме программа ДУиСД обеспечивает сбор, визуализацию и хранение значений поступающих от объекта управления параметров технологического процесса, передачу в режиме реального времени в программируемый логический контроллер команд оператора по управлению технологическим процессом, определение недопустимых отклонений значений параметров технологического процесса от штатных значений, оповещение о нештатных режимах работы объектов управления, протоколирование поступающих данных и действий оператора.

Технологический режим работы предназначен для разработки и редактирования мнемосхем объектов управления в графическом интерфейсе пользователя. В технологическом режиме обеспечивается создание и редактирование иерархической структуры объектов управления, размещение индикаторов (графиков, табло, стрелочных индикаторов и т. п.) и управляющих примитивов (кнопок, переключателей, радиокнопок и т. п.), а также настройка получаемых и отправляемых параметров технологического процесса.

Программа ДУиСД разработана в ФГУ НЦ НИИСИ РАН, основана на оригинальном программном коде, без зарубежных заимствований, и использует в своей работе штатные средства, входящие в дистрибутив ОС Linux.

4. Среда разработки и отладки прикладного ПО

Разработка прикладного программного обеспечения осуществляется с использованием специализированных языков программирования, описанных в стандарте ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 [13] (далее, языки МЭК). Стандарт описывает следующие языки программирования:

- LD (Ladder Diagram): применяется для реализации простых логических операций и контроля.
- FBD (Function Block Diagram): представляет собой графический язык блок-схем, где каждый блок выполняет определенную функцию.
- SFC (Sequential Function Chart): представляет собой графический язык диаграмм, которые используются для моделирования последовательных процессов, предоставляя четкую визуализацию различных этапов выполнения.
- ST (Structured Text) и IL (Instruction List): текстовые языки программирования

больше похожи на традиционные языки программирования такие как Pascal и Си.

Основным достоинством этих языков является их относительная простота, практическая направленность на решение типовых задач в части АСУ ТП, стандартизованность. Несмотря на универсальность этих языков программирования, простые управляющие программы, могут написаны на них лицами, не имеющими специального программистского образования.

Основным средством программирования являются языки ST и FBD. Для разработки и отладки программ на языках программирования МЭК используется технологическая программа Среда Разработки и Отладки (СРиО). Программа СРиО исполняется в среде операционной системы Linux и позволяет создавать, отлаживать, модифицировать проекты, написанные на языках МЭК. Кроме того, среда СРиО обеспечивает применение представленных промышленных протоколов.

Среда СРиО исполняется на ЭВМ с микропроцессорной архитектурой Intel, функционирующей под управлением инструментальной операционной системы Linux.

5. Особенности реализации

Прикладное программное обеспечение (ППО) разрабатывается с использованием кросс-технологии. Процесс разработки ведется на инструментальной ЭВМ. Полученный в результате разработки исполняемый файл, называемый исполняемый образ, записывается на ПЛК, где затем и исполняется. В штатном режиме эксплуатации исполняемый образ записывается в энергонезависимую память ПЛК, откуда при старте он переписывается в ОЗУ и исполняется. Инструментальная ЭВМ при штатной эксплуатации не требуется.

Исполняемый образ содержит модули операционной системы реального времени, необходимые для функционирования ППО. В качестве операционной системы используется ОС РВ Багет 2.7, разработанная в ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН. Также в исполняемый образ включаются средства поддержки промышленных протоколов, средства журналирования, средства разграничения доступа, другие программные компоненты, выполняемые для эксплуатации ППО.

6. Заключение

В ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН разработан полнофункциональный программно-аппаратный комплект, предназначенный для разработки и эксплуатации автоматизированных систем управления технологическими процессами ши-

рокой номенклатуры. Комплект позволяет разрабатывать АСУ ТП без использования (заимствования) программного обеспечения других разработчиков. Комплект является типовым в том смысле, что с его помощью возможна разработка различных систем автоматизации, относящихся

к разным отраслям промышленности и имеющим различное прикладное назначение.

Все ключевые элементы комплекта разработаны в РФ. Производство оборудования также находится в РФ.

Планируется работа по расширению функциональных возможностей проекта.

Architecture of a General Automated Process Control System Based on Locally Produced Computer Solutions

M. Aristov, A. Griuntal, Y. Shapovalov, D. Yarikov, Y. Zotov

Abstract. Due to high risks of using foreign-made industry automation solutions in critical infrastructure, importance of locally produced solutions can't be overestimated. The article describes a generic architecture of an automated process control system based on programmable logic controller, operating system, developer tools and other software developed by NIISI. Proposed solutions are based on international industry standards.

Keywords: programmable logic controllers, operating system, automated control system, technological process, scada, software development

Литература

1. А.Н. Онин. Программа Сервер ввода-вывода. Труды НИИСИ РАН, 2023, Т. 13, № 3, 5–12
2. Багет-ПЛК1. Доступна по адресу: <https://niisi.ru/ПЛК-БАГЕТ-ПЛК1.pdf>
3. Багет-ПЛК2. Доступна по адресу: <https://niisi.ru/ПЛК-БАГЕТ-ПЛК2.pdf>
4. Операционная система реального времени Багет 2.7: Государственная регистрация программы для ЭВМ №2023612040; заявитель и правообладатель: ФГУ ФНЦ НИИСИ РАН; заявл. 30.12.2022, опубл. 27.01.2023.
5. Industrial communication networks - Fieldbus specifications - Part 2: Physical layer specification and service definition. Доступно по адресу: <https://webstore.iec.ch/publication/66933>
6. Modbus Messaging on TCP/IP Implementation Guide. Доступно по адресу: https://www.modbus.org/docs/Modbus_Messaging_Implementation_Guide_V1_0b.pdf
7. Modbus over Serial Line Specification & Implementation guide. Доступно по адресу: https://modbus.org/docs/Modbus_over_serial_line_V1_02.pdf
8. ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 «Обобщающий стандарт по основным функциям телемеханики». Доступен по адресу: <https://docs.cntd.ru/document/1200044527>
9. ГОСТ Р МЭК 60870-5-101 «Доступ к сети для ГОСТ Р МЭК 870-5-101 с использованием стандартных транспортных профилей». Доступен по адресу: <https://docs.cntd.ru/document/1200036299>
10. Open Platform Communications, Unified Architecture. Доступно по адресу: <https://webstore.iec.ch/searchform&q=iec%2062541>
11. А. И. Грюнталь, К. Г. Нархов. Методы удаленной отладки ПЛК в среде ТСАГ СПО. Труды НИИСИ РАН, 2020, Т.10, № 5, 120–126.
12. ECMA-404. The JSON data interchange syntax. Доступно по адресу: <https://ecma-international.org/publications-and-standards/standards/ecma-404/>
13. ГОСТ Р МЭК 61131-3-2016 «Контроллеры программируемые. Часть 3: Языки программирования». Доступен по адресу: <https://docs.cntd.ru/document/1200135008>