

Программно-реализованный логический контроллер – инновационный продукт для автоматизации технологического оборудования

В настоящее время на рынке средств автоматизации наметилась тенденция по проектированию и реализации контроллеров в виде программных решений без привлечения дополнительной аппаратуры и Программируемых Логических Контроллеров (ПЛК). В англоязычной литературе такой вариант решения логической задачи управления получил название Soft PLC или программно-реализованный контроллер. Такой подход позволяет уйти от применения импортных аппаратных средств, снизить стоимость системы управления и получить ряд преимуществ.

В статье рассмотрены требования, предъявляемые к программно-реализованным логическим контроллерам, проведен анализ функционала контроллера с построением функциональной модели. Приведенный практический пример применения Soft PLC контроллера в рамках системы ЧПУ раскрывает преимущества рассматриваемого подхода к проектированию систем управления электроавтоматикой.

Ключевые слова: программно-реализованный контроллер, Soft PLC, функциональная модель, технологическое оборудование.

Действующие в Российской Федерации программы направленные на перевооружение промышленности на сегодняшний день являются одними из ключевых для развития экономики страны (государственные программы: «Развитие авиационной промышленности», «Развития судостроения», «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности» и др.). При выполнении мероприятий этих программ предприятия сталкиваются с рядом проблем, в частности отечественные образцы технологического оборудования не всегда отвечает требованиям заказчиков. Особенно остро эти проблемы заметны в сфере автоматизации оборудования для машиностроительной промышленности. Это связано с тем, что продолжающих работать конкурентоспособных предприятий мало и выпускаемая ими номенклатура оборудования ограничена [1].

До недавнего времени нехватка отечественных средств автоматизации вынуждала предприятия закупать оборудование у западных производителей. Однако с введением санкционных мер в отношении Российской Федерации импортное технологическое оборудование зачастую не доступно для потребителей. В связи с этим, остро встает вопрос о разработке и внедрении отечественных средств автоматизации и управления. Однако на существующей базе отече-



Р. А. Нежметдинов,
к. т. н., доцент, кафедра компьютерных систем управления,
ФГБОУ ВО «МГТУ «СТАНКИН»
neramil@gmail.com

ственных радиоэлектронных компонент разработка передовых систем управления не всегда представляется возможной. Также стоит отметить, что многие отечественные разработчики средств автоматизации проектируют контроллеры и системы управления на базе импортных радиоэлектронных компонент и производят готовую продукцию за рубежом [2, 3].

Однако, анализ рынка промышленных контроллеров и средств автоматизации показывает, что наметились тенденции по проектированию и реализации контроллеров в виде программных решений без привлечения дополнительной аппаратуры и Программируемых Логических Контроллеров (ПЛК). В англоязычной литературе такой вариант решения логической задачи управления получил название Soft PLC или программно-реализованный контроллер. Такой подход позволяет уйти от применения импортных аппаратных средств, снизить стоимость системы управления и получить ряд преимуществ, в том числе: добавление новых функциональных возможностей и модернизация контроллера в короткие сроки; создание кроссплатформенного приложения, зависящего от решаемой технологической задачи; возможность сокращения времени запуска в эксплуатацию; сохранение вложенных инвестиций в программное обеспечение и др. [4, 5].

Формирование требований к программно-реализованному контроллеру

Развитие компьютерных технологий позволило высвободить вычислительные ресурсы с управления в реальном времени и предоставить конечному пользователю дополнительные возможности (сервисы) в области диагностики оборудования, визуализации объекта, управления электроавтоматикой и др. Особенность реализации и применения данного подхода заключается в следующих положениях [6]:

1. Кроссплатформенность реализации Soft PLC. Программно-реализованный контроллер должен быть ориентирован на работу в рамках различных операционных систем реального времени (Windows RTX, Windows CE, Linux и т. д.). Данный подход предполагает установку ядра Soft PLC на микроконтроллеры, поддерживающие работу операционной системы, что позволяет не привязываться к конкретному типу микроконтроллера.
2. Встроенный и автономный варианты реализации Soft PLC. Возможность установки Soft PLC как на базе персонального компьютера, например, для встраиваемого в систему Числового Программного Управления (ЧПУ) решения, так и на аппаратной базе однокристальных микропроцессоров для автономного решения.
3. Открытость контроллера на уровне модулей ввода/вывода. Поддержка стандартных промышленных протоколов обмена данными (CANbus, ModBus, Profibus, Sercos и т.д.) позволит подключать гото-

вые модули ввода/вывода по стандартным физическим каналам связи: RS-232, RS-485, Ethernet и т. д.

4. Сохранение инвестиций, вложенных в проект. Т. к. ядро Soft PLC – это программой продукт, то его развитие и модернизация происходит постоянно и не требует серьезных капиталовложений, в отличие от аппаратного решения. Применение Soft PLC так же позволяет сократить конечную стоимость системы управления, за счет замены дорогостоящей аппаратной составляющей, на программное решение.
5. Уменьшение времени пуско-наладочных работ. Время установки и пуско-наладочных работ программно-реализованного контроллера на технологическом оборудовании уменьшается, за счет применения программных решений, требующих лишь инсталляции и настройки.

Функциональная модель программно-реализованного контроллера

Проектирование, разработка и анализ работы программно-реализованного логического контроллера, решающего широкий круг производственно-технических задач, требует применения специализированных средств описания и анализа. В качестве инструментария первоначального исследования функционала и структуры контроллера предлагается использовать методологию IDEF0. IDEF – англоязычная аббревиатура от ICAM Definition (Integrated

Таблица 1

Систематизация функций, реализуемых системой логического управления

Функция	Входные данные	Выходы	Специализированные данные	Модуль СУ реализующий функцию
Разработка программы логического управления	Начальные условия	Программа логического управления; конфигурация аппаратных входов/выходов	Техническое задание; принципиальная электрическая схема	Среда разработки программ логического управления
Разработка пользовательской подпрограммы	Описание пользовательского объекта	Пользовательская подпрограмма	–	Среда разработки программ логического управления
Разработка конфигурации аппаратных входов/выходов	Таблица привязки входов/выходов	Конфигурация аппаратных входов/выходов	–	Модуль конфигурации аппаратных входов/выходов
Отладка программы логического управления	Программа логического управления	Ошибка	Методика тестирования	Среда разработки программ логического управления
Выполнение программы логического управления	Программа логического управления; конфигурация аппаратных входов/выходов; данные с аппаратных входов/выходов; ошибка	Ошибка в работе программы; данные о работе системы; данные на аппаратные входы; программа логического управления	–	Модуль реализации цикла логического управления
Сохранение программы в файловой системе	Программа логического управления	Программа логического управления	–	Файловая система
Визуализация работы системы	Данные о работе системы	Ошибка	–	Система диспетчерского управления
Обмен с системой управления верхнего уровня	Данные о работе системы	Ошибка	–	Система управления верхнего уровня
Удаленная диагностика	Данные о работе системы	Ошибка	–	Система удаленной диагностики и настройки
Обмен с аппаратными входами/выходами	Данные на аппаратные входы	Данные с аппаратных выходов; ошибка	–	Аппаратные входы/выходы

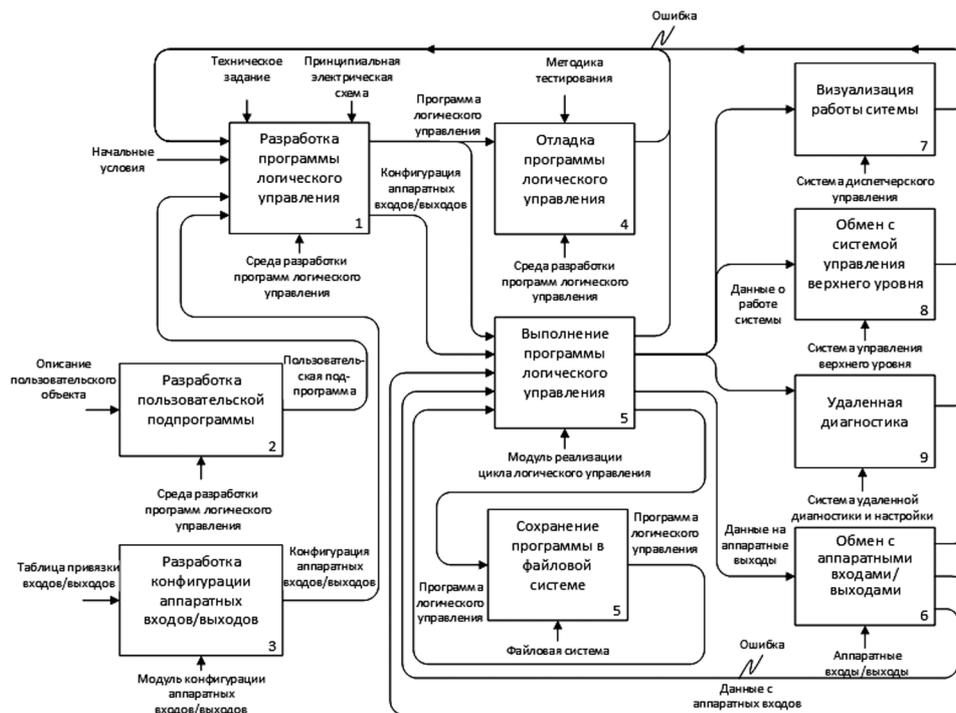


Рис. 1. Функциональная модель систем логического управления в нотации IDEF0

Computer Aided Manufacturing – интегрированное автоматизированное производство). Выбранная методология позволяет произвести моделирование функционала системы управления с представлением модели в графической нотации. Ориентированность IDEF0 на соподчиненность объектов позволяет рассматривать логические отношения между функциями системы, без учета их последовательности во времени.

Для построения функциональной модели работы Soft PLC контроллера необходимо систематизировать и описать полный набор реализуемых функций (табл. 1). Для этого необходимо выделить: входные и специализированные данные получаемые функцией; результат работы функции в виде выходных данных; модуль программно-реализованного контроллера, который будет реализовывать функцию.

В результате проведенного анализа функционала системы логического управления была разработана функциональная модель системы в нотации IDEF0 (рис. 1). Система логического управления представлена как набор функций, связанных между собой связями. Каждая функция приставляет собой «черный ящик» с указанием входов, выходов, специализированных данных и модуля системы логического управления, отвечающего за реализацию функции. Стрелки входов приходят в левую кромку активности функции, стрелки с указанием специализированных данных — в верхнюю кромку, стрелка с указанием модуля системы — в нижнюю кромку, стрелки выхода — в правую кромку.

Функциональное моделирование позволило: выделить основные функции программно-реализованного контроллера; привязать функции к отдельным компонентам программно-реализованного контроллера.

По результатам моделирования можно отметить, следующие особенности:

- для разработки программы логического управления необходимо иметь техническое задание и принципиальную электрическую схему технологического оборудования, а также определиться с начальными условиями работы системы;
- разработанная программа логического управления должна содержать пользовательские подпрограммы и конфигурацию аппаратных входов/выходов;
- конфигурация аппаратных входов/выходов создается на базе таблицы привязки входов/выходов технологического оборудования ко входам/выходам системы управления;
- отладка программы логического управления производится по методике тестирования;
- выполнение программы логического управления производится в модуле реализации цикла логического управления;
- визуализация работы программно-реализованного контроллера осуществляется в системе диспетчерского управления (в англоязычной литературе SCADA - Supervisory Control And Data Acquisition, диспетчерское управление и сбор данных);
- в качестве системы управления верхнего уровня для программно-реализованного контроллера может выступать система ЧПУ;
- для удаленной диагностики и настройки используется специализированное приложение, не входящее в основной пакет программно-реализованного контроллера;
- все основные модули программно-реализованного контроллера замкнуты обратной связью по ошибке.

Общая архитектура программно-реализованного контроллера SoftPLC

В архитектуре программно-реализованного контроллера (рис. 2), управляющего электроавтоматикой можно выделить четыре составляющих: среда программирования (работает под ОС Windows), ядро Soft PLC (работает под ОС реального времени), протоколы взаимодействия с внешними устройствами и физические устройства ввода/вывода. [7]

Среда программирования позволяет проектировать и отлаживать программы управление электроавтоматикой на языке FBD (functional block diagram) стандарта МЭК 611-31 [8, 9].

Средство конфигурирования модулей ввода/вывода позволяет: сформировать иерархию устройств в дереве проекта; настроить параметры устройств; привязать переменные к каналам ввода/вывода. Готовая конфигурация упаковывается в специальную структуру и передается в ядро программно-реализованного контроллера с загрузкой прикладных программ.

При отладке оператор просматривает в модуле конфигурации актуальные значения параметров, контролирует текущие значения каналов ввода/вывода, получает диагностическую информацию, сканирует доступные устройства. Модули удаленного ввода/вывода – это пассивные устройства, функционирующие по одному из двух наиболее скоростных и перспективных сетевых протоколов на базе витой пары: SERCOS III и EtherCAT.

Связь между средой программирования и ядром Soft PLC целесообразно организовать на основе стека протоколов TCP/IP, со специализированной надстройкой, позволяющей разделить потоки основных данных системы управления и потоки данных логической задачи [10, 11].

Платформонезависимое ядро подразумевает портируемость программного обеспечения контроллера на разные платформы. Это может быть, например, персональный компьютер промышленного исполнения с операционной системой реального времени Linux или Windows с расширением RTX, или же одноплатный компьютер с процессором ARM и операционной системой Windows CE. Кроссплатформенность достигается путем вынесения платформозависимого кода в отдельные библиотеки и создание для него функций обертки, используемых в платформонезависимом коде.

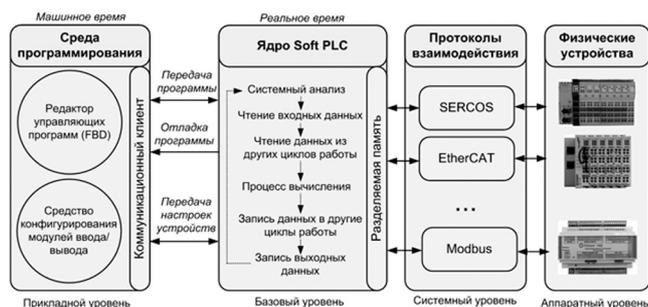


Рис. 2. Общая архитектура программно-реализованного контроллера SoftPLC

Практический пример применения программно-реализованного контроллера

На современном этапе развития информационных технологий, когда мощность и ресурсы вычислительного ядра системы ЧПУ не имеют сильных ограничений, существует возможность замены традиционного ПЛК, как аппаратно-программного устройства, программно-реализованным контроллером. При этом конфигурация Soft PLC рассматривается как часть общего программно-математического обеспечения системы ЧПУ [13]. В качестве примера рассмотрим систему ЧПУ обрабатывающим центром наклонной компоновки [12].

В состав сетевой архитектуры указанной системы ЧПУ входят: машина реального времени с ядром системы управления и интегрированным в нее программно-реализованным контроллером электроавтоматики типа Soft PLC; терминал оператора (состоящий из панели оператора на платформе .NET, стандартной станочной панели с опциональным подключением к ней маховичка и специализированной станочной панелью), подключенный к ядру по протоколу TCP/IP; модули расширения входов/выходов для подключения электроавтоматики и линейных измерительных устройств; привода главного движения и подача; контроллеры шпинделя и противощинделя [14, 15].

Сбор и обмен данными в сети между вычислительными устройствами осуществляется на базе открытого высокоскоростного протокола EtherCAT. Программно-реализованный логический контроллер отвечает за управление дополнительным технологическим оборудованием обрабатывающего центра, таким как: система автоматической смены инструмента, гидростанция, пневмостанция, подвод охлаждающей жидкости, смазка узлов и направляющих и т. д. Большое количество подключаемого к системе управления электрооборудования в проекте потребовало использования трех головных модулей ввода/вывода, что позволило распределить электрическую нагрузку между

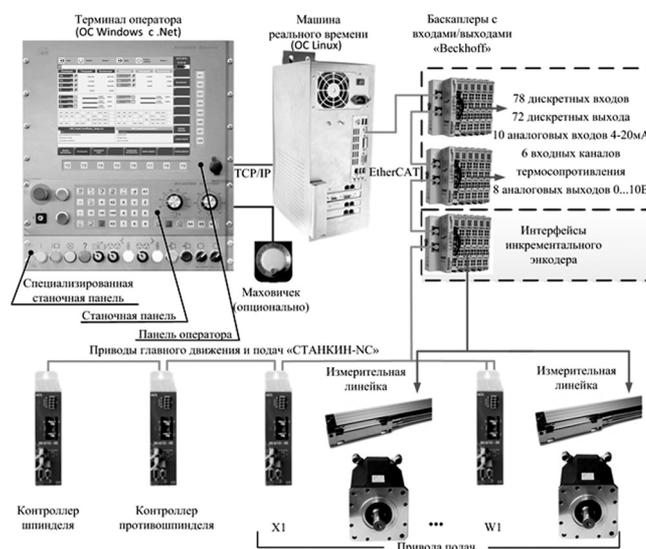


Рис. 3. Сетевая архитектура системы числового программного управления

отдельными устройствами. Головные модули ввода/вывода также называют баскаплерами, от английского buscoupler [16, 17].

Баскаплеры расширены пассивными электронными модулями ввода/вывода данных: 120 дискретных входов (пятнадцать восьми канальных модулей), 48 дискретных выходов (шесть восьми канальных модулей), 10 аналоговых входов (два четырех канальных модуля и один двух канальный модуль, 4...20 мА), 6 входных терминалов термосопротивлений (три двух канальных модуля), 9 аналоговых выходов (два четырехканальных и один одноканальный, 0...10 В), 6 модулей интерфейса инкрементального энкодера.

Заключение

В статье изложен подход к построению программно-реализованных контроллеров как средств автоматизации технологического оборудования машиностроительных производств. Сформированы требования к программно-реализованному контроллеру и построена функциональная модель системы управления на базе Soft PLC контроллера.

Предложенный подход позволяет автоматизировать технологическое оборудование без использования дорогостоящих аппаратных средств. Наибольшие преимущества применения программно-реализованного контроллера дает в системах управления в составе которых изначально закладывался промышленный компьютер (например, системы ЧПУ), в этом случае Soft PLC контроллер встраивается в программно-математическое обеспечение системы управления.

Список использованных источников

1. Расширение функциональных возможностей систем ЧПУ для управления механо-лазерной обработкой, Нежметдинов Р. А., Соколов С. В., Обухов А. И., Григорьев А. С., Автоматизация в промышленности. 2011. № 5. С. 49-53.
2. Мартинов Г. М., Мартинова Л. И. Формирование базовой вычислительной платформы ЧПУ для построения специализированных систем управления//Вестник МГТУ «Станкин», № 1 (24), 2014, с. 92-97.
3. Построение специализированной системы ЧПУ для многокоординатных токарно-фрезерных обрабатывающих центров, Нежметдинов Р. А., Пушков Р. Л., Евстафиева С. В., Мартинова Л. И., Автоматизация в промышленности. 2014. № 6. С. 25-28.
4. Способ построения инструментария систем мониторинга и настройки параметров мехатронного технологического оборудования на основе специализированных программных средств, Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Соколов С. В., Мехатроника, автоматизация, управление. 2012. № 7. С. 45-50.
5. Применение программно-реализованных логических контроллеров в системах автоматизации упаковочного оборудования, Козак Н. В., Нежметдинов Р. А. Автоматизация в промышленности. 2012. № 11. С. 23-28.
6. Extending the functional capabilities of NC systems for control over mechano-laser processing, Nezhmetdinov R. A., Sokolov S. V., Obukhov A. I., Grigor'ev A. S., Automation and Remote Control. 2014. T. 75. № 5. С. 945-952.
7. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Емельянов А. С. Принципы построения кроссплатформенного программно реализованного контроллера электроавтоматики систем ЧПУ высокотехнологичными производственными комплексами//Вестник МГТУ Станкин. 2013. № 1 (24). С. 42-51.
8. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Никишечкин П. А. Специфика построения редактора управляющих программ электроавтоматики стандарта МЭК 61131//Вестник МГТУ Станкин. 2014. № 4 (31). С. 127-132.
9. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А., Никишечкин П. А. Разработка средств визуализации и отладки управляющих программ для электроавтоматики, интегрированных в систему ЧПУ//Вестник МГТУ Станкин. 2012. № 4 (23). С. 134-138.
10. Повышение качества архитектурных решений систем ЧПУ на основе программно реализованного контроллера типа Soft PLC, Нежметдинов Р. А., Шемелин В. К., Автоматизация. Современные технологии. 2008. № 6. С. 33-36.
11. Применение технологии «клиент-сервер» при проектировании контроллера типа Soft PLC для решения логической задачи в рамках систем ЧПУ, Шемелин В. К., Нежметдинов Р. А. Автоматизация. Современные технологии. 2010. № 3. С. 20-24.
12. Мартинов Г. М., Нежметдинов Р. А. Модульный подход к построению специализированной системы ЧПУ для обрабатывающих центров наклонной компоновки//СТИН. 2014. Т. 11. С. 28-33.
13. Управление электроавтоматикой токарных и токарно-фрезерных станков на базе Soft PLC, Нежметдинов Р. А., Кулиев А. У., Николушкин А. Ю., Червонова Н. Ю., Автоматизация в промышленности. 2014. № 4. С. 49-51.
14. Чеканин В. А., Чеканин А. В. Эвристический алгоритм оптимизации решений задачи прямоугольного раскроя//Вестник МГТУ «Станкин». № 4. 2014. С. 210-213.
15. Чеканин В. А., Чеканин А. В. Структура данных для задачи трехмерной ортогональной упаковки объектов//Вестник МГТУ «Станкин». № 1. 2015. С. 112-116.
16. Абдуллаев Р. А. Практические аспекты реализации управления разнородным технологическим оборудованием электроавтоматикой в системах ЧПУ//Вестник МГТУ «Станкин», № 1 (24), 2013, с. 52-55.
17. Специфика построение панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов, Мартинов Г. М., Козак Н. В., Нежметдинов Р. А., Автоматизация. Современные технологии. 2010. № 7. С. 34-40.

Software implemented logic controller - innovative product for technological equipment automatization

R. A. Nezhmetdinov, PhD of technical sciences, Docent, docent of Control system department, MSTU «STANKIN»

Currently on the market of means of automation there is a tendency for the design and implementation of the controllers in the form of software solutions without additional hardware and programmable logic controllers (PLC). In English literature the following solution of the logical control tasks is called Soft PLC or software-based controller. This approach allows getting away from the use of imported hardware, reduce the cost of control system and get a number of benefits.

The article describes the requirements for Soft PLC, analyzed the function of controller with the building of a functional model. A practical example of using Soft PLC controller in the framework of CNC system reveals the advantages of considered approach to design automatic control systems.

Keywords: software implemented logic controller, Soft PLC, functional model, technological equipment.