

УДК 621.3.07

## АНАЛИЗ АППАРАТНЫХ И ПРОГРАММНЫХ РЕШЕНИЙ В ПРОГРАММИРУЕМЫХ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРАХ ВЕДУЩИХ МИРОВЫХ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Матул Г.А., Семёнов А.С.

*Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова,  
Политехнический институт (филиал), Мирный, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

В статье рассмотрены актуальные решения исполнения аппаратной части программируемых логических контроллеров. Приведено сравнение различных конфигураций модулей программируемых логических контроллеров. Дана оценка реализации конфигурации в продуктах различных производителей. Рассмотрены особенности реализации основных функций в программных пакетах ведущих производителей программируемых логических контроллеров. Программируемые логические контроллеры – это базовые элементы систем промышленной автоматизации. На данный момент ведущими производителями программируемых логических контроллеров являются фирмы: Siemens, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, Allen Bradley, Omron, ABB и др. Приведены примеры использования одноканального и многоканального интерфейсов программного обеспечения программируемых логических контроллеров: с параллельной шиной, с последовательной шиной и с несколькими шинами одновременно. Для демонстрации различий между производителями в качестве примера рассмотрено обращение к модулям ввода-вывода. Отмечается, что формат представления данных в различных средах разработки отличается друг от друга весьма существенно. В рамках анализа даны рекомендации по выбору программируемых логических контроллеров в различных сценариях применения, с максимальной экономической эффективностью и соразмерности решаемой задачи с функционалом конфигурации модулей программируемого логического контроллера.

**Ключевые слова:** автоматизация технологического процесса, программируемый логический контроллер, среда разработки, устройства ввода-вывода, программное обеспечение, интерфейс, шина

## ANALYSIS OF HARDWARE AND SOFTWARE SOLUTIONS IN PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLERS OF LEADING WORLD MANUFACTURERS

Matul G.A., Semenov A.S.

*North-Eastern Federal University named after M.K. Ammosov, Polytechnic Institute (branch),  
Mirny, e-mail: sash-alex@yandex.ru*

The article considers actual solutions for hardware execution of programmable logic controllers. Compares various configurations of programmable logic controllers. Estimates the implementation of the configuration in products of different manufacturers. Features of the implementation of the main functions in the software packages of the leading manufacturers of programmable logic controllers are considered. Programmable logic controllers are the basic elements of industrial automation systems. At the moment the leading manufacturers of programmable logic controllers are the companies: Siemens, Schneider Electric, Mitsubishi Electric, Allen Bradley, Omron, ABB and others. Examples of the use of single-channel and multichannel interfaces of the software. Three main most common types of hardware configuration of programmable logic controllers are described: parallel bus, serial bus and multiple buses at the same time. To demonstrate the differences between manufacturers, reference to input/output modules is considered as an example. It is noted that the format of data presentation in different development environments differs significantly from each other. Within the framework of the analysis, recommendations are given for the selection of programmable logic controllers in various application scenarios, with the maximum economic efficiency and the proportionality of the solved problem with the functional configuration of the programmable logic controller modules.

**Keywords:** process automation, programmable logic controller, development environment, input/output devices, software, interface, bus

На современном этапе развития техники остро стоит вопрос модернизации предприятий алмазодобывающего профиля с целью повышения эффективности и оптимизации работы промышленного оборудования и основных технологических процессов, в том числе снижения энергопотребления. Инструментом этого может служить комплексная автоматизация и оптимизация производства, организация сквозного обмена данными и отчетности в рамках корпоративной информационной сети производственных подразделений предприятия.

Именно автоматизация наиболее доступное, а иногда и единственное средство быстрого повышения эффективности производства, снижения себестоимости и повышения качества продукции. На основе компьютерного анализа больших потоков информации в контурах управления и отображения протекающих процессов в виде «виртуальных» мнемосхем, оптимизации управления промышленных объектов предоставляется возможность оперативного переконфигурирования производства и оптимизации технологических процессов и промышленного

оборудования в ходе его работы без остановки самого производства [1].

Для возможности повсеместного внедрения автоматизации производственных процессов необходимо на ключевых технологических участках внедрить программируемые логические контроллеры.

Программируемые логические контроллеры (ПЛК) являются базовыми элементами систем промышленной автоматизации и представляют собой микропроцессорное устройство, предназначенное для сбора, преобразования, обработки, хранения информации и выработки команд управления, имеющих конечное количество входов и выходов, подключенных к ним датчиков, ключей, исполнительных механизмов к объекту управления, и предназначенные для работы в режимах реального времени [2]. Их выпускают множеством производителей и представленные большинством из них различные линейки моделей также обширны, для многих инженеров актуальна проблема выбора наиболее подходящего решения по соотношению таких параметров, как производительность, функционал, стоимость. На данный момент ведущими производителями являются:

- Siemens – среда разработки Simatic Step 7;
- GE (бывш. GE Fanuc) – среда разработки Proficy ME;
- Schneider Electric – среда разработки Concept, Unity Pro;
- Mitsubishi Electric – среда разработки MELSOFT GX Works2;
- Beckhoff – среда разработки TwinCAT;
- Allen Bradley – среда разработки RSLogix 5000;
- ABB – среды разработки нет, использует CoDeSys;
- Omron – среда разработки CX-One;
- Koyo (ПЛК DirectLogic) – среда разработки DirectSOFT;
- ICP DAS – своей среды разработки нет, использует ISaGRAF.

Принцип работы ПЛК несколько отличается от обычных микропроцессорных устройств. Программное обеспечение универсальных контроллеров состоит из двух частей. Первая часть – это системное программное обеспечение. Проводя аналогию с компьютером, можно сказать, что это операционная система, то есть управляет работой узлов контроллера, взаимосвязи составляющих частей, внутренней диагностикой. Системное программное обеспечение ПЛК расположено в постоянной памяти центрального процессора и всегда готово к работе. По включению питания ПЛК готов взять на себя управление системой уже через несколько миллисекунд. ПЛК рабо-

тают циклически по методу периодического опроса входных данных. Рабочий цикл ПЛК включает 4 фазы: опрос входов, выполнение пользовательской программы, установку значений выходов, некоторые вспомогательные операции (диагностика, подготовка данных для отладчика, визуализации и так далее) [3].

Физически типичный ПЛК представляет собой блок, имеющий определенный набор выходов и входов для подключения датчиков и исполнительных механизмов. Логика управления описывается программно на основе микрокомпьютерного ядра. Абсолютно одинаковые ПЛК могут выполнять совершенно разные функции. Причем для изменения алгоритма работы не требуется каких-либо переделок аппаратной части. Аппаратная реализация входов и выходов ПЛК ориентирована на сопряжение с унифицированными приборами и мало подвержена изменениям [4].

#### *Аппаратное обеспечение программируемых логических контроллеров*

Характеристики основных линеек моделей у производителей ПЛК имеют небольшое отличие, поскольку используют общие типы конфигурации модулей [5–6]. Существуют три основных наиболее распространенных типа конфигурации:

1. С параллельной шиной – ПЛК с параллельной шиной, к которой подключаются модули ввода/вывода. Имеет 3 разновидности – шасси, базовую плату и крейт.

1.1. Шасси – каждый модуль оснащен двумя разъемами шины с двух сторон, позволяющими, с одной стороны, подключить его к существующей системе, и с другой – подключить еще один аналогичный модуль. У модуля ЦПУ разъем один. Примеры: VersaMax от GE Fanuc, S7-300 от Siemens, Modicon M340 от Schneider Electric, FX от Mitsubishi Electric.

1.2. Базовая плата – имеется отдельная плата с фиксированным набором посадочных мест для включения модулей, в том числе модулей блока питания и ЦПУ. Например: серия RX3i от GE Fanuc, S7-400 от Siemens, DirectLogic DL405.

1.3. Крейт – разновидность базовой платы, включающей в себя шину данных, направляющие для модулей, блоки питания и CPU. Примеры: RX7i от GE Fanuc, KAMAK, DirectLogic от DL05 до DL205, ICP DAS XP-8000.

2. С последовательной шиной – модули соединяются друг с другом и с модулем ЦПУ, например по RS-485. Это не стандартная реализация ПЛК, используется редко. Пример: ICP DAS 7000 (ADAM 4000).

3. Несколько шин одновременно – одно-платный компьютер с любым набором входов и выходов, программируемый посредством CoDeSys, ISaGRAF или аналогичной среды разработки. Примеры: формат PC-104, промышленный компьютер с платами типа PCI-1756 от Advantech, устройствами в COM-портах.

Более дорогие модели ПЛК проектируются как базовая плата или крейт, необходимо это для максимальной защиты данных.

#### *Программное обеспечение для программирования ПЛК*

Всё программное обеспечение для ПЛК работает по одному принципу – создание в целевом ЦПУ исполняемого кода. В большинстве случаев производитель не предоставляет информации о том, какая операционная система используется в модуле процессора ПЛК, но сами модули работают достаточно стабильно.

При необходимости на ПЛК реализуется резервирование, вплоть до троирования, штатными средствами аппаратных средств и среды разработки [7]. Стандарты языков программирования регламентируются IEC 61131-3 и IEC 61499. Функциональной разницы между языками IEC 61131-3 нет. Разница заключается в наглядности логических конструкций. На языках LD и FBD одинаковая логическая конструкция выглядит по-разному, при этом она может быть проще или сложнее для восприятия в зависимости от решаемой задачи. IEC 61499 –

стандарт для функциональных блоков ПЛК для поддержки параллельности и событийности выполнений блоков [8–9]. На данный момент используется не столь часто, так как особой необходимости в нем нет для большинства задач.

Функциональная наполненность у всех сред разработки в целом достаточно близка. Везде есть работа с битами, словами, математические операции, логические функции, диагностика, обмен данными, ПИД-регулирование. Соответственно, основные отличия приходится на интерфейс, наличие симулятора ПЛК, сравнение проектов и возможность разработки модулей на C++.

Интерфейс всех сред разработки можно разделить на два типа:

1. Многооконный (рис. 1), когда одна утилита служит для конфигурации аппаратуры, вторая позволяет работать с переменными, в третьей редактируется открытый блок (Step 7, ISaGRAF, CX-One).

2. Однооконный (рис. 2), с одним исполняемым файлом, поделенный на зоны, в которых отображаются в зависимости от выбранной вкладки – коды, конфигурация аппаратуры и остальные параметры (Proficy ME, CoDeSys, DirectLogic, RSLogix 5000).

Для демонстрации различий между производителями, в качестве примера рассмотрим обращение к модулям ввода вывода (таблица).

Как видно из таблицы, формат представления данных в различных средах разработки отличается весьма существенно [10–11].

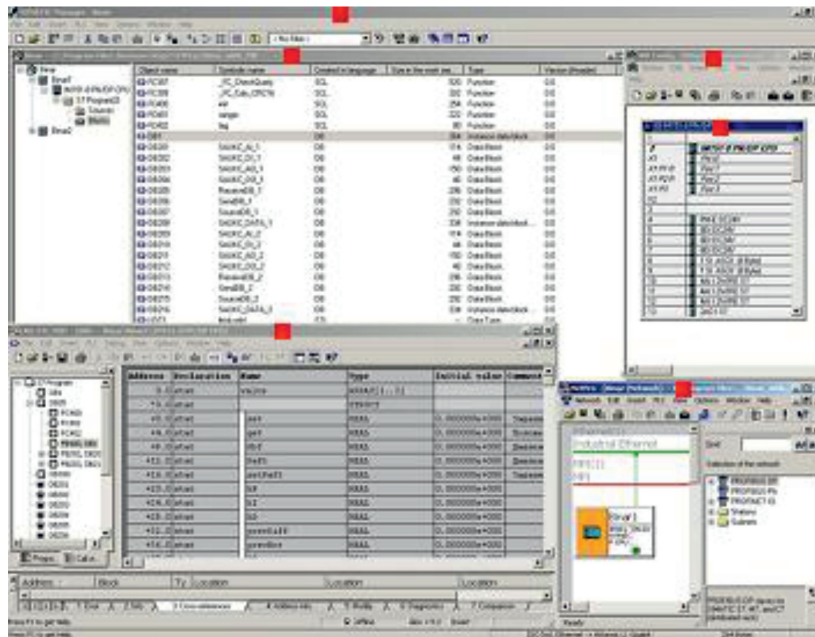


Рис. 1. Пример многооконного интерфейса

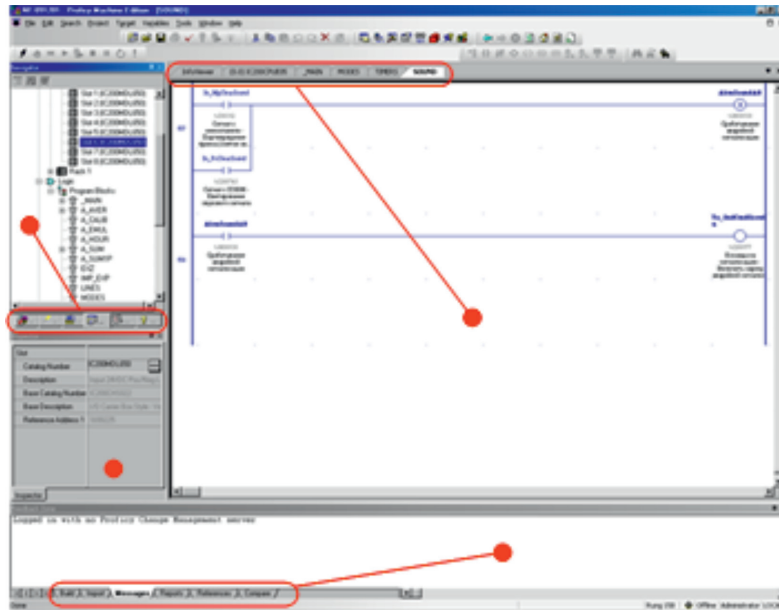


Рис. 2. Пример однооконного интерфейса

Разновидности обращений к модулям ввода-вывода по производителям

Параметр	Siemens (Step 7), CoDeSys, IsaGRAF	GE Fanuc (Proficy)	Koyo (DirectLogic)	Schneider Electric (Concept)	Mitsubishi Electric (MELSOFT GX Works2)	Omron (CX-One)	Allen Bradley (RS Logix 5000)
Дискретный ВХОД	%IX0.1	%I00001	%X1	%100001	%X1	I:0.01	1791_8AC:I.Data.0
Дискретный ВЫХОД	%QX0.1	%Q00001	%Y1	%000001	%Y1	Q:1.01	1791_8AC:O.Data.0
Аналоговый ВХОД	%IW0.1	%AI0001	%W1	%300001	%U3\G11	I:2000	1756_IF8:I.Ch0 Data
Аналоговый ВЫХОД	%QW0.1	%AQ0001	%W2	%400001	%U4\G16	Q:2010	1756_IF8:O.Ch0 Data
Память бит	–	%M00001	–	–	–	–	–
Память слов	–	%R00001	–	–	–	–	–

Программа в ПЛК выполняется постоянно в цикле. Соответственно, действие не обязательно завершать в одном цикле программы – можно перенести его в следующий цикл, например, по флагу. Значение отображающихся переменных может меняться. Например, отображается 1, но раз в секунду на один такт ПЛК (несколько миллисекунд) этой переменной присваивается 0. И единственное, чем это изменение можно уловить, это использование какого-

либо оператора, срабатывающего при условии переменная = 0.

*Анализ применения ПЛК*

Для наглядности произведем выбор программируемых логических контроллеров для комплексной автоматизации различных по количеству датчиков и исполнительных устройств объектов.

Для систем от 100 входов/выходов подойдет следующее оборудование:



1. Связка одноплатный компьютер со средой CoDeSys / ISaGRAF или иным аналогом [12].

2. ПЛК с параллельной шиной:

- GE Fanuc – VersaMax, VersaMax Micro.
- Siemens – S7-200
- Allen Bradley – MicroLogix
- Schneider Electric – Modicon M340
- Mitsubishi Electric – FX
- ABB – AC500, AC500 eCO
- Omron – CP1H Koyo
- DirectLogic – DL05, DL06

3. Для разнесенной системы (каждые 20 метров по десятку кнопок) ПЛК с последовательной шиной: можно взять ICP DAS 7000 + ISaGRAF, это позволит получить общую длину системы до 1200 метров.

Для систем от 500 до 2000 входов/выходов:

- GE Fanuc – RX3i
- Siemens – S7-300
- Allen Bradley – SLC 500, CompactLogix
- Schneider Electric – Modicon Premium
- Beckhoff – практически все
- Omron – CJ1M, CJ1G-P, CJ2M, CJ2H
- Koyo DirectLogic – DL205, DL405

Для систем от 2000 входов/выходов и выше [13–15]:

- GE Fanuc – RX7i
- Siemens – S7-400
- Allen Bradley – PLC 5, ControlLogix
- Schneider Electric – Modicon Quantum
- Mitsubishi Electric – System Q
- Omron – CS1G/H, CS1D.

### Заключение

В некоторых случаях ставить несколько ПЛК вместо одного целесообразнее с точки зрения объемов логики. Если вся логика, к примеру, на ПИД-регуляторах – даже в случае небольшого количества входных и выходных сигналов имеет смысл либо брать следующую модель, либо подумать о нескольких ПЛК, если код бьется на законченные фрагменты, с минимумом обмена между ними. Градация по числу входов/выходов, разумеется, более плавная, что позволяет подобрать ПЛК максимально точно в соответствии с необходимостью. Таким образом, внедрение программируемых логических контроллеров в рамках комплексной автоматизации предприятий алмазодобывающей отрасли может обеспечить: энергосбережение и энергоэффективность; повышение производительности технологических линий; отслеживание в реальном времени и определение эффективности технологических процессов производства.

### Список литературы

1. Матул Г.А. Комплексная автоматизация и оптимизация производства алмазодобывающих предприятий // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Мирный, 16–17 апреля 2015 г.). – М.: Издательство «Спутник+», 2015. – С. 121–127.

2. Винокуров В.С., Матул Г.А. Программируемые логические контроллеры и их функциональное проектирование // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф. (Мирный, 14–16 апреля 2016 г.). – М.: Издательство «Спутник+», 2016. – С. 151–156.

3. Винокуров В.С., Матул Г.А. Программно-логический контроллер на участке скипового подъема // Молодежь и научно-технический прогресс в современном мире: сборник докладов VI Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Мирный, 16–17 апреля 2015 г.). – М.: Издательство «Спутник+», 2015. – С. 104–106.

4. Гусев И.П. Функциональное проектирование программируемого логического контроллера / И.П. Гусев // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2015. – № 7. – С. 20–25.

5. Бродский В.В. Программируемые логические контроллеры ONI ПЛК S / В.В. Бродский // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 6. – С. 33–35.

6. Валонин К.К. Программируемые логические контроллеры ОВЕН / К.К. Валонин // Автоматизация в промышленности. – 2017. – № 6. – С. 43–44.

7. Нежметдинов Р.А. Программно-реализованный логический контроллер – инновационный продукт для автоматизации технологического оборудования / Р.А. Нежметдинов // Инновации. – 2016. – № 8 (214). – С. 99–103.

8. Гайнуллина А.А. Особенности организации передачи данных между программируемыми логическими контроллерами по протоколу MODBUS / А.А. Гайнуллина, А.Д. Байтимиров // Вестник Казанского технологического университета. – 2013. – Т. 16, № 23. – С. 230–234.

9. Рушкин Е.И. Анализ применения протокола MODBUS для управления электроприводом на горных предприятиях / Е.И. Рушкин, А.С. Семёнов, П.В. Саввинов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–12. – С. 2615–2619.

10. Краев С.Л. Идентификация ситуаций функционирования технологических процессов в программируемых логических контроллерах / С.Л. Краев, Ю.П. Кириллин // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – № 8. – С. 136–139.

11. Программируемые логические контроллеры в автоматизированных системах управления / И.Г. Минаев [и др.] // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2011. – № 7. – С. 101–102.

12. Гриченко А.В. CODESYS – программный комплекс для программируемых логических контроллеров / А.В. Гриченко // Young Science. – 2014. – № 4. – С. 7–13.

13. Егоров А.Н. Практический опыт применения преобразователей частоты POWER FLEX 7000 в горнодобывающей промышленности / А.Н. Егоров, А.С. Семёнов, О.В. Федоров // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2017. – № 4. – С. 86–93.

14. Матул Г.А. К вопросу о комплексной автоматизации открытых горных работ в алмазодобывающей промышленности / Г.А. Матул, А.С. Семёнов // Естественные и технические науки. – 2016. – № 12 (102). – С. 265–268.

15. Черенков Н.С. Модернизация и оптимизация автоматизированных конвейеров в горной промышленности / Н.С. Черенков, А.С. Семёнов // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 417–419.