

УДК 681.326

# АППАРАТНО-ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЛАБОРАТОРИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ МИКРОПРОЦЕССОРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

**В.Н. Елизаров**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*  
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67  
E-mail: [elizarvlad@yandex.ru](mailto:elizarvlad@yandex.ru)

**А.Н. Долидзе**

*Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения*  
Россия, 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67  
E-mail: [aleksd89@mail.ru](mailto:aleksd89@mail.ru)

**Ключевые слова:** промышленная автоматизация, лаборатория, цифровые системы управления, программируемые логические контроллеры, интеллектуальные устройства ввода/вывода.

**Аннотация:** Рассматриваются проблемы выбора оборудования и программного обеспечения для учебной лаборатории промышленных микропроцессорных технологий; организация работы студентов с интеллектуальными программными комплексами; формирование индивидуальных заданий, приближенных к задачам производства; предлагается методика проектирования программ для ПЛК, которая упрощает отладку и тестирование на этапах проектирования и внедрения систем управления.

## 1. Новые технологии в автоматизации производственных процессов

В настоящее время при проектировании автоматизированных систем управления с точки зрения применений микропроцессорных устройств условно можно выделить несколько направлений, в том числе встраиваемые контроллеры, промышленные компьютеры и программируемые логические контроллеры (ПЛК; англ. programmable logic controller – PLC).

В данной статье мы будем рассматривать только проблемы изучения и применения ПЛК для синтеза автоматизированных систем управления технологических процессов (АСУ ТП).

В промышленной электронике при создании АСУ ТП доминируют цифровые промышленные сети (ЦПС) на базе программируемых логических контроллеров (ПЛК), интеллектуальных устройств ввода/вывода и сенсорных панелей оператора [1-3]. Сенсорные панели оператора являются своеобразной альтернативой SCADA систем [4, 5], которые обеспечивают легкую навигацию по экранам проекта, более мобильны с точки зрения размещения в пространстве, не «привязаны» к компьютеру, оснащены более простым программным обеспечением.

Только с появлением ПЛК хорошо развитая теория по проектированию АСУ ТП получила настоящее практическое внедрение, так как в корне поменялась технология организации обмена данными. За счет низкой цены микропроцессорных элементов произошел переход от централизованной структуры обмена данными к системам с распределенным характером «интеллекта» и цифровым способом обмена данными между узлами сети [6].

Растущее число проблем со стороны современного инструментария программирования и самих программистов способствовали росту популярности альтернативных путей написания программ – в частности, развитию идей программирования, которые основаны на теориях цифровых автоматов и релейно-контактных схем. Эти идеи привели к появлению графических языков программирования FBD и RLL (LD, LAD) и международного стандарта IEC 61131-3 на программное обеспечение ПЛК. К достоинствам графических схем при их использовании в качестве языка алгоритмизации следует отнести однозначность описания последовательных и параллельных процессов, что теряется при переходе к текстам программ, сокращение сроков разработки и внедрение систем. При этом изменились подходы к методам поддержки работающих систем, где на практике заказчики самостоятельно обеспечивают работоспособность систем и не привлекают к этим работам разработчиков.

## **2. Создание лабораторной базы для изучения ПЛК**

Учебная лаборатория промышленных микропроцессорных технологий (ПМТ) в СПбГУАП создавалась для изучения новых промышленных микропроцессорных технологий и для обеспечения практических занятий по дисциплинам «ЦПС» и «Цифровые системы автоматизации и управления» на кафедре вычислительных систем и сетей. Развитие этих дисциплин было продиктовано практическими разработками сотрудников университета на предприятиях СПб.

В 1998 г. на хлебозаводе ОАО «Заря» мы модернизировали систему управления роботом, которая была реализована на интегральных микросхемах 155 серии. Новая система была построена на 8-ми разрядном AVR микропроцессоре Atmel AT90S8515 с RISC архитектурой. Несмотря на успешные результаты внедрения и современное решение, стало понятно, что разработка уникальных и не серийных АСУ ТП на микропроцессорах экономически не оправдана, затратная по времени и проблематична с точки зрения поддержки работоспособности.

Главными проблемами при построении ЦПС является выбор аппаратуры (производителя), системы программирования и разработка программы для ПЛК. При выборе ПЛК необходимо учитывать и сравнивать следующие параметры. Максимальное число I/O для ПЛК, напряжение питания и тип выходов ПЛК (транзисторный/релейный), число встроенных коммутационных портов, каркасное или модульное исполнение для связи модулей I/O с ПЛК, стоимость и другие параметры.

Понять всю прелесть новых технологий на базе ПЛК помогла практическая работа по проектированию АСУ ТП на серии I-7000 фирмы ICP DAS (Тайвань) на хлебозаводе ОАО «Заря» и научно-техническое сотрудничество в СПб с ООО «Прикладные исследования и разработки» (генеральный директор А.В. Бонч-Бруевич), регионального представителя ООО «ПЛКСистемы» (Москва).

Разбросанное по четырем зданиям с расстоянием до 1200 м технологическое оборудование было объединено промышленными ПЛК I-7188 и интеллектуальными распределенными модулями I/O серии I-7000 двухпроводной промышленной сетью с

интерфейсом RS485. Интерфейс RS485 наиболее распространен в промышленной автоматизации. Его используют промышленные сети Modbus, Profibus DP, ARCNET, Bitbus, WorldFip, LON Interbus и множество нестандартных сетей [7]. Отметим его преимущества:

- большая длина линии связи, по стандарту 1200 м и с ресивером 2400 м;
- двусторонний обмен данными по витой паре проводов;
- возможность организации сети и работа с 256-ю трансиверами (для серии I-7000), которые подключены к витой паре проводов;
- скорость передачи данных до 115200 бод.

По результатам сотрудничества с ООО «Прикладные исследования и разработки» в лабораторию для учебного процесса были переданы ПЛК японской фирмы Kooyo DL-05, DL-06 DL-205, модули I/O, программное обеспечение DirectSoft и текстовые терминалы.

Первые рабочие места студентов были оборудованы серией I-7000 и ПЛК семейства Kooyo. На базе серии I-7000 в лаборатории проектируем ПМС без ПЛК и сети с ПЛК. В сетях без ПЛК программа управления технологическим оборудованием создается на универсальных языках программирования и хранится на персональном компьютере. Другой альтернативой создания сети без ПЛК является использование графической среды и платформы LabVIEW – среды разработки виртуальных приборов компании National Instruments (США).

В настоящее время в лаборатории студенты выполняют проекты на ПЛК MicroLogix 1200 компании Rockwell Automation США и семействах ПЛК фирм Siemens, Kooyo и Mitsubishi Electric. Например, ПЛК фирмы Siemens модульного исполнения представлены LOGO!, S7-200 и S7-1200 с различными процессорами и модулями I/O, а S7-300 с коммутационными модулями и модулями I/O. Семейство ПЛК фирмы Kooyo – каркасного исполнения представлены ПЛК DL-05, DL-06 и DL-205.

Каждое рабочее место студента оборудовано двумя-тремя ПЛК различных производителей, цветными фирменными сенсорными панелями или панелями оператора фирмы Weintek, которые программируются по сети Ethernet или с помощью кабелей, подключенные к COM портам компьютеров. Для задания входных сигналов к ПЛК подключено небольшое количество кнопок, тумблеров, датчиков. Отдельные выходы ПЛК подключены к катушкам реле, магнитным пускателям, частотным преобразователям, электродвигателям и пневматическому оборудованию.

В лаборатории ПЛК и модули I/O размещены на DIN-рейках, провода уложены в пластиковые короба, так как это делается в промышленных шкафах размещения оборудования. Такое решение было продиктовано опытом разработки и отладки в лаборатории шкафов с ПЛК и внедрением АСУ ТП на предприятиях СПб [8, 9]. Работы по монтажу и стендов имитации реальных сигналов технологического оборудования выполнены в лаборатории своими силами. К ПЛК подключены промышленные технологические устройства, в том числе пневматические элементы: бесшумный компрессор, устройство подготовки воздуха, пневмо-остров, пневмо-мускул, пневмо-краны и пневмо-цилиндры. Эти устройства фирмы Festo (Германия). Студенты используют в своих проектах эти устройства и демонстрируют их работу под управлением ПЛК.

На рис. 1 показан пример размещения оборудования на рабочем месте студента. В лаборатории демонстрируется работающий стенд многокомпонентного дозирования жидких компонентов на базе ПЛК Kooyo DL-05 [8], а результаты внедрения проектов представлены на сайте [10].



Рис. 1. Размещение ПЛК, модулей I/O в лаборатории.

### 3. Проектирование коммутационной схемы

В системах программирования ПЛК можно выделить два класса: специализированные и инструментальные графические среды программирования. К последним относятся CoDeSys и ISaGraf.

Лаборатория ориентирована на работу со специализированными программными пакетами от Siemens – LogoSoftComfort, STEP7-MicroWIN/Basic, TIA portal; от Koyo – Directsoft6 – PC-DS100; от Mitsubishi Electric – MELSOFT; от Weintek – EasyBuilder 8000/Pro.

Рассмотрим методику синтеза программ для графических языков программирования ПЛК.

В соответствии с международным стандартом на языки программирования IEC 61131-3 в ПЛК реализованы языки графического программирования FBD и LAD, где программа представляется в виде коммутационной схемы, которая состоит из соединительных элементов, функциональных блоков и электрических связей [3]. При этом целесообразно учитывать специфику ПЛК. В ПЛК при синтезе программы управления технологическим оборудованием используется большое разнообразие различных функциональных блоков с множеством состояний, в том числе счетчики, задержки, таймеры, регистры, генераторы и т.д., использование которых ускоряет процесс программирования ПЛК.

Эти блоки реализованы на программном уровне и поэтому у разработчика программы для ПЛК практически нет ограничений на число используемых в программе функциональных блоков и число состояний автомата, нет острой необходимости в теории и задачах минимизации аппаратных схем. В АСУ ТП при обработке алгоритма ПЛК должен переходить к выполнению следующего действия только при подтверждении выполнения/завершения предыдущего сигнала управления. Реальные технологические процессы включают последовательную и параллельную отработку сигналов, для которых характерно большое число состояний. В этих условиях не удастся применить формальные процедуры синтеза конечного автомата для всей системы управления.

Из практического опыта разработки и отладки рабочих программ предлагается следующая методика проектирования программы - коммутационной схемы.

Проводим предварительный анализ моментов включения/выключения выходов ПЛК и выделяем две группы: выходы с однократным включением; выходы, которые меняют свои состояния в процессе выполнения алгоритма управления. Для первой группы выходов предлагается применять модель комбинационной схемы автомата. Для второй группы необходимо реализовать модель автомата с памятью, но только не для всей группы, а последовательно для каждого выхода из группы. Последовательно строим цепочку из блоков, двигаясь, справа налево, начиная от соединительного элемента-выхода к входам ПЛК. Для второй группы выходов собираем последовательную цепочку из следующих блоков: триггер/ячейка памяти, формирователь импульса, логический элемент «ИЛИ», к входам которого параллельно подключаем логические элементы «И». Число элементов «И», это число включений данного выхода в алгоритме управления. На входах каждого «И» набор условий/сигналов, при которых должен включиться сигнал на выходе ПЛК. Аналогичную цепочку из блоков строим для сброса триггера/ячейки памяти, выключения выхода ПЛК. Для активизации условий запуска следующего управляющего выхода после выключения предыдущего выхода фиксируем переход триггера/ ячейки памяти из «1» в «0» и инвертируем сигнал. Например, в программе LogoSoftComfort для фиксации перехода триггера и инвертирования сигнала используем базовый логический элемент «Не-И по фронту».

Более подробно методика построения коммутационных схем–программ ПЛК с примерами представлена в работе [11]. Предлагаемая методика проектирования коммутационных схем-программ сокращает время разработки программ для ПЛК, упрощает процесс поиска ошибок при тестировании и отладке. Это методика апробирована на многих группах студентов при создании рабочих проектов.

## Список литературы

1. Джеймс А. Рег, Глеин Дж. Сартори. Промышленная электроника, ДМК Пресс, 2016, 1136 с.
2. Ицкович Э.Л. Тенденции развития промышленных контроллеров и их перспективные свойства // Автоматизация в промышленности. 2017. № 6. С. 3-7.
3. Hugh J. Automating Manufacturing Systems with PLCs. 2010, 644 p. <http://freecomputerbooks.com/Automating-Manufacturing-Systems-with-PLCs.html>
4. Елизаров В.Н., Маршалов А.А. Опыт применения сенсорных панелей WEINTEK в проектировании систем управления // Теплоэнергоэффективные технологии. 2010. № 1-2. С. 56-57.
5. <http://en-res.ru/stati/scada.html>.
6. Кругляк К. Промышленные сети: цели и средства // Современные технологии автоматизации. 2002. № 4. С. 6-10.
7. <https://ru.wikipedia.org/wiki/RS-485>
8. Егорова И.С., Елизаров В.Н., Маршалов А.А. Автоматизация загрузки и выгрузки расстойного шкафа // Автоматизация в промышленности. 2012. № 2. С. 26-30.
9. Елизаров В.Н., Маршалов А.А. Многокомпонентная система дозирования: решения по модернизации с использованием виртуальных инструментов // Автоматизация в промышленности. 2014. № 2. С. 45-48.
10. [http://guap.ru/guap/lab\\_pmt/krat\\_main.shtml](http://guap.ru/guap/lab_pmt/krat_main.shtml).
11. Елизаров В.Н. Опыт организации практикумов по современным технологиям автоматизации // Сборник материалов III Поволжской НПК «Приборостроение и автоматизированный электропривод в топливно-энергетическом и жилищно-коммунальном хозяйстве». Казань: КГЭУ. 2017. Т. 2. С. 297-303.