

Применение программируемых контроллеров в системах управления космических стартовых комплексов

Инженерный вестник # 03, март 2014

УДК: 681.5

автор:Новожилов Б. М.

boris@disys.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана.

Космические стартовые комплексы (СК) представляют собой сложнейшие промышленные объекты, в состав которых входят функционально связанные общетехнические инженерные и специальные технологические системы, а также механические агрегаты, предназначенные для обеспечения и проведения всех видов работ в процессе предстартовой подготовки ракет и при пуске. В них в строгой последовательности выполняются различные и многочисленные технологические операции, начиная от простейших операций стыковки, захвата и перемещения ракет и их частей, кончая сложнейшими операциями заправки ракет компонентами топлива и их запуском. Различного рода блокировки в агрегатах предотвращают возникновение аварийных состояний и осуществляют защиту в критических ситуациях.

Основное оборудование технологических систем космических СК, как правило, сосредоточено в районе стартовой площадки и в технологических блоках вблизи ее, а управление им осуществляется дистанционно, с расстояний, достигающих нескольких километров. Для этого применяются автоматизированные системы управления технологическим оборудованием СК, составляющие единый комплекс управления. Их основу составляют системы логического управления, так как при управлении сложным технологическим оборудованием предстартовой подготовки логические операции преобладают над числовыми операциями.

Исторически технической базой систем логического управления в отечественных стартовых ракетных комплексах, как и в других областях промышленности, являлись различные релейно-контактные устройства, начиная от кнопок и контактных датчиков положения, кончая схемами управляющей логики. Устройства на механических контактах

обеспечивали работоспособность агрегатов и систем в экстремальных условиях эксплуатации космических СК на территории страны. Применение электромагнитных реле позволяло создавать помехоустойчивые системы управления со сравнительно несложной логикой функционирования при невысоких финансовых затратах.

Однако, с развитием ракетной техники, с повышением сложности технологических процессов предстартовой подготовки растут требования к точности и надежности автоматических систем СК, к простоте перестройки алгоритмов управления и быстрой локализации неисправностей, к повышению безопасности эксплуатации оборудования и др.

Одновременно все более острой становится необходимость представления оператору в реальном масштабе времени обширнейшей информации о прохождении контролируемого им технологического процесса, повышаются требования к обучению персонала на действующем оборудовании с полной имитацией работы технологических систем.

В этих условиях становятся очевидными недостатки релейно-контактной аппаратуры управления, принципиальные для технологических систем стартовых комплексов:

- сложность и громоздкость аппаратуры, реализующей комплексные алгоритмы;
- жесткая логика управления, значительно усложняющая наладку и обслуживание систем управления;
- большие энергетические и информационные потери на длинных линиях связи;
- отсутствие возможности автоматической регистрации и математической обработки информации, большие затраты ручного труда при построении предыстории событий и процессов;
- отсутствие средств диагностики состояния оборудования систем управления и низкая информативность средств операторского интерфейса.

Переход на электронно-релейную элементную базу позволил создать более совершенные системы управления, допускающие программирование выполняемых технологических процессов и необходимое резервирование. Примером таких систем является комплекс средств управления работой основного оборудования СК ракеты «Протон-К», который обеспечивали в дистанционном или автоматическом режиме управление отдельными агрегатами или технологическими системами объекта по осуществлению ими технологических процессов подготовки ракеты к пуску.

Только применение цифровых вычислительных машин открыло широкие возможности реализации сложных алгоритмов управления технологическими операциями на космических СК. Так в США в рамках проекта «Аполлон» для организации процесса предстартовой подготовки ракеты-носителя «Сатурн-V» и корабля «Аполлон» и последующего пуска ракетно-космической системы была применена централизованная система автоматизированного управления на основе управляющих ЭВМ. Верхний уровень системы управления (ЭВМ в центре управления пуском) выдавал команды, а второй уровень (ЭВМ на стартовой платформе) обеспечивал выполнение этих команд и выдачу информации. В зале управления для каждой ступени или отсека ракетно-космической системы имелись отдельные пульты управления и контроля, позволяющие осуществлять либо выборочную проверку отдельных систем, либо вызов из ЭВМ нижнего уровня программы полной проверки.

Следует отметить, что успешный опыт использования для управления наземным оборудованием СК отечественной вычислительной техники отсутствовал из-за ее низкой эксплуатационной надежности. Однако, развитие ракетно-космической техники немыслимо без использования цифровой вычислительной техники в системах управления СК. Это со всей очевидностью проявилось в проекте многоразовой транспортно-космической системы (МТКС) «Энергия-Буран», в рамках которого были созданы уникальные объекты наземного комплекса. Здесь разработчики отказались от традиционных релейно-контактных систем управления и использовали программируемые вычислительные устройства на основе микропроцессорных комплектов и универсальных вычислительных машин. Был создан комплекс систем и средств управления наземным оборудованием в виде автоматизированной системы управления технологическими операциями (АСУ ТО), имеющей двухуровневую иерархическую структуру.

В низший уровень АСУ ТО были включены локальные системы и средства прямого управления технологическими и техническими системами и агрегатами. При этом была использована современная элементная база с применением средств вычислительной техники, позволивших обеспечить необходимую гибкость логики управления. Высший уровень был построен на базе специализированной управляющей ЭВМ, впервые примененной для централизации и координации управления на всех этапах работ, выполняемых на СК. Это позволило обеспечить высокую степень автоматизации и повышенную надежность при подготовке МТКС к пуску и проведению ее к пуску.

Компьютеры с успехом могут применяться и на подвижных агрегатах СК. В качестве примера можно назвать разработку системы автоматизированного управления и контроля (САУК) параметров температурно-влажностного режима (ТВР) при

транспортировании космических аппаратов (КА) к месту старта. Главной задачей при ее создании стал выбор основного ядра САУК – вычислителя, удовлетворяющего требованиям системы. В результате анализа возможных вариантов был выбран *IBM PC* совместимый промышленный компьютер форм-фактора *MicroPC*, укомплектованный соответствующими модулями фирм *Octagon Systems* (США) и *Fastwel* (Россия). Такой вычислитель может работать в весьма жестких условиях эксплуатации: температурный диапазон от -40 до +85 °С, стойкость к вибрациям до 5 - 10 g, к ударам до 20 - 40 g.

Испытания опытного образца КСД подтвердили выполнение требований технического задания на САУК, в том числе высокую надёжность системы.

Следует отметить, что применение встраиваемых процессорных модулей и плат для автоматизации технологических операций связано с необходимостью привлечения профессиональных программистов для разработки программного обеспечения (ПО), которые должны не только в совершенстве владеть техникой программирования, но и хорошо разбираться в автоматизируемых технологических процессах. Если пользователь-программист плохо представляет себе работу объекта управления, это может привести к выходу из строя дорогостоящего оборудования или даже угрожать безопасности персонала. В особенности, это относится к разработке ПО для систем управления космических СК, где программное обеспечение функционирует как единое целое и определяет надежность работы как бортовой, так и наземной аппаратуры многочисленных систем управления. При этом объем ПО для космического СК может достигать многих сотен тысяч кодов (например, программное обеспечение МТКК *Space Shuttle*, включая бортовое программное обеспечение и наземное программное обеспечение автоматизированных систем управления подготовкой и пуском, содержит более 3 млн кодов). В конечном итоге стоимость программного обеспечения РКС может в несколько раз превышать стоимость аппаратных средств.

С этой точки зрения более привлекательными для автоматизации технологических операций в наземном оборудовании СК представляются программируемые логические контроллеры (ПЛК). Они представляют собой специализированные микропроцессорные устройства локального управления, адаптированные для работы в условиях промышленной среды. В основу архитектуры ПЛК заложена доступность для пользователя построения необходимой аппаратной конфигурации и программирования контроллера без привлечения профессионального программирования. Т.е. технолог, который обычно и является заказчиком автоматизации технологического процесса, в большинстве случаев может самостоятельно справиться с задачей разработки управляющей программы. Естественно, что такой технолог-программист должен обладать

достаточными знаниями в области цифровой автоматики и алгоритмизации функционирования управляющих автоматов.

Будучи установленными на технологическом (полевом) уровне иерархической системы управления ПЛК могут обеспечить выполнение основного алгоритма управления всех систем СК и их взаимодействие. При этом многообразие технологических систем наземного оборудования СК не является препятствием для создания распределенных систем управления, так как сетевые каналы связи позволяет ПЛК обмениваться информацией между собой и передавать ее на верхние уровни управления, где происходит обработка полученной информации и принятие решений. Естественно, централизация обработки информации на верхних уровнях иерархической системы управления потребует участия профессиональных программистов при разработке ПО, которое, однако, не будет связано со спецификой технологических операций предстартовой подготовки.

За почти полувековую историю ПЛК превратились из простейших логических модулей в мультипроцессорные устройства, позволяющие создавать мощные системы управления, работающие в режиме реального времени. Их схемотехника непрерывно совершенствуется, уменьшаются массогабаритные показатели и энергопотребление, увеличиваются быстродействие и надежность работы. Следуя запросам производства, ПЛК приобретают новые функциональные возможности. Например, они управляют такими специализированными исполнительными устройствами, как шаговые приводы, или служат основой интеллектуальных систем на основе fuzzy-логики.

Современные промышленные ПЛК обладают достоинствами, позволяющими применять эти устройства на самых ответственных объектах:

- Высокая отказоустойчивость, обеспечиваемая схемотехнической защитой микроэлектронных компонентов в условиях реальной промышленной среды, для которой характерны мощные электростатические разряды, скачки напряжений, которые могут быть вызваны переходными процессами, и электромагнитные помехи.
- Возможность создания резервированных систем автоматизации с безударным переключением на резервный контроллер в случае отказа основного контроллера, а также систем безопасного управления, исключающих катастрофические последствия при возникновении технологических аварийных ситуаций.
- Развитые сетевые функции, позволяющие реализовать децентрализованную стратегию управления, в которой нет необходимости в мощных ресурсах обработки информации и длинных линиях связи, а управляющие подсистемы могут размещаться вблизи датчиков и исполнительных устройств.

- Защита от неавторизованного управления системой и несанкционированного доступа к системным данным.
- Большое число каналов ввода/вывода (достигающее нескольких сотен и тысяч) с гальванической изоляцией, позволяющей работать с большими синфазными сигналами, вызванными разницей потенциалов «земли».
- Возможность работы в сложных климатических условиях: температурный диапазон от -40 до $+125$ °С и пыле- влагозащищенность до IP65.

ПЛК выпускаются различными производителями средств промышленной автоматизации, среди которых можно выделить ведущие компании: это – немецкий концерн *Siemens*, американская корпорация *Rockwell Automation/Allen-Bradley* и японская корпорация *Omron*. Среди российских производителей ПЛК следует отметить компанию *Fastwel*, выпускающую программируемые контроллеры для жестких условий эксплуатации.

ПЛК охватывают широкий диапазон применений и могут выполняться в различном конструктивном исполнении. Наиболее распространены модульные ПЛК, построенные по магистральному принципу. Они включают в себя модуль центрального процессора и дополнительные модули, обеспечивающие требуемую функциональность контроллера. На рис. 1 в качестве примера показаны две модели промышленных ПЛК, производимых компаниями *Siemens* и *Fastwel*.



а



б

Рис. 1. Промышленные программируемые логические контроллеры: а – контроллер *Siemens S7-1200*; б – контроллер *Fastwel CPM 902*.

К настоящему времени уже имеется опыт применения российских контроллеров *Fastwell* для автоматизации технологических операций предстартовой подготовки РН. В частности, с применением этих контроллеров в ЗАО «СКБ Орион» был создан информационно-управляющий комплекс (ИУК) для управления наземным технологическим оборудованием космического СК РН «Союз» в Гвианском космическом центре (ГКЦ). Комплекс, имеющий многоуровневую иерархическую структуру, позволил объединить в единое информационное пространство разнородные системы заправки жидкими компонентами и криогенными компонентами, системы хранения компонентов топлива и термостатирования, системы обеспечения сжатыми газами, системы пожаротушения и др. Кроме того, в состав управляющего комплекса была интегрирована система электроснабжения, что обеспечило необходимое распределение электроэнергии с суммарной мощностью 1 МВт, управление мощными нагрузками и формирование резервированных линий питания.

В ИУК, на уровне реализации технологических алгоритмов, каждый из контроллеров получает данные от рабочих мест оператора (АРМ) и устройства связи с объектом (УСО), обрабатывает их по заданным алгоритмам и выдаёт соответствующие данные для отображения на АРМ и для управления на УСО. Централизованная обработка данных осуществляется на верхних уровнях управления вычислительными устройствами на базе встраиваемых процессорных плат с форм-фактором *CompactPCI*.

Для создания программного обеспечения АСУ ТО использовался разработанный в ЗАО «СКБ Орион» инструментальный комплекс, который не требовал навыков профессиональных программистов и языков программирования низкого уровня. Программирование и корректировка ПО системы управления в процессе наладки осуществлялись технологами-программистами, хорошо понимающими автоматизируемый технологический процесс и владеющими знаниями основ алгоритмизации.

Автономные испытания технологических систем и комплексные испытания стартового комплекса в целом показали высокую надежность и безопасность эксплуатации АСУ ТО. Это позволяет признать успешным опыт применения ПЛК для управления технологическими операциями на стартовом комплексе РН «Союз» в ГКЦ.

Принцип программного управления позволяет изменять алгоритм работы системы управления путем изменения управляющей программы, которая выполняется в ПЛК. Поскольку ПЛК представляет собой микро-ЭВМ, его программное обеспечение имеет много общего с программным обеспечением обычных компьютеров. Их системное ПО, разрабатываемое профессиональными программистами, состоит из комплекса программ

для разработки прикладных программ (среды программирования) и среды исполнения (операционной системы), которая записывается в память контроллера при его выпуске.

Программное обеспечение разработки прикладных программ поставляется фирмой-производителем и обычно выполняется в виде программного комплекса с общим графическим пользовательским интерфейсом, открывающим доступ к функциональным модулям, например, встроенным редакторам языков программирования, коммуникациям, средствам отладки и др.

Поскольку главным требованием к ПЛК является их доступность для эксплуатации техническим персоналом, языки программирования компьютеров и встраиваемых процессорных плат плохо подходят для программирования ПЛК. Поэтому при разработке прикладных программ для ПЛК используются специализированные, проблемно-ориентированные, языки программирования, которые понятны пользователю, знакомому с основами аналоговой и цифровой автоматики, а также имеющему опыт работы в области информатики. Все языки программирования современных ПЛК предназначены специально для решения задач управления техническими объектами. Они позволяют производить числовые вычисления наравне с логическими операциями, имеют лёгкий доступ к манипулированию битами в машинных словах, в отличие от большинства высокоуровневых языков программирования современных компьютеров.

Языки программирования ПЛК стандартизованы, они перечислены в стандарте IEC 61131. Это:

- язык лестничных диаграмм (*Ladder Diagram – LD*);
- язык функциональных блочных диаграмм (*Function Block Diagram – FBD*);
- список инструкций (*Instruction List – IL*);
- структурированный текст (*Structured Text – ST*).

Первые два языка программирования (*LD* и *FBD*) являются графическими языками и могут использоваться даже пользователями со знаниями начального уровня. Программы, написанные на этих языках, напоминают релейно-контактные и структурные логические схемы, соответственно. При модернизации оборудования это позволяет специалистам упростить переход от «жесткой» аппаратной логики к программируемой логике.

Третий и четвертый языки (*IL* и *ST*) являются низкоуровневым и высокоуровневым языками, соответственно. Они предназначены для опытных пользователей.

Атрибутом АСУ ТП являются средства связи оператора с процессом – человеко-машинный интерфейс (*HMI - human-machine interface*). К ним относятся кнопочные

панели, текстовые дисплеи, панели оператора и сенсорные панели. Включение устройств HMI в проект осуществляется с помощью дополнительного ПО.

В условиях постоянного увеличения требований пользователя, требований рынка, а также требований, предъявляемых к производительности труда при необходимости сокращения общих затрат, производители ПЛК стремятся к созданию единой платформы для решения задач автоматизации во всех отраслях промышленного производства. Примером такого подхода явилась разработанная концерном *Siemens* концепция комплексной автоматизации *TIA (Totally Integrated Automation)* – основа открытого обмена данными и совместимости между множеством устройств, которая позволяет объединить их в единую систему автоматизации. Результатом является максимальная производительность на всех уровнях комплексной системы управления промышленным объектом, от полевых устройств до контроллеров и систем управления всем объектом. Программный продукт, предназначенный для комплексной проработки проекта автоматизации, включая интеграцию в проект средств *HMI*, получил название *TIA Portal*. Его применение позволяет решить все задачи автоматизации в одном программном проекте при существенном сокращении времени разработки, стоимости и объема работ.

Таким образом, современный уровень развития промышленных ПЛК и их программного обеспечения позволяют с уверенностью утверждать, что ПЛК могут с успехом применяться для автоматизации технологических операций на космических СК. Использование в построении АСУ ТО программируемых контроллеров отечественного производства показало, что они вполне могут конкурировать с ПЛК зарубежных производителей. В то же время это не должно закрывать применение в АСУ ТО отечественных СК и программируемых контроллеров зарубежного производства. Некоторым тормозом в их использовании может стать бытующее мнение, что на отечественных объектах оборонного назначения должны применяться изделия исключительно отечественной вычислительной техники. Это мнение представляется необоснованным, так как при создании вычислительных и периферийных устройств систем управления используются преимущественно зарубежные модули и электронные компоненты. В то же время, современные методы защиты информации позволяют гарантировать необходимый уровень безопасности.

Список литературы

1. Елисеев В.Г., Кудрук Ю.В. Системы управления стартовых комплексов. СУ на базе вычислительной техники / Учебн. пособие. – Рукопись, Москва, 1996. 83 с.

2. Автоматизированная система поддержания заданных условий транспортирования космических аппаратов к месту старта / Е. Песляк, Г. Творонович// СТА. 2007. №3. С. 50 – 55.
3. АСУ технологическим оборудованием стартового комплекса РН «Союз» в Гвианском космическом центре / И. Васильев, Ф. Кириленко// СТА. 2011. №4. С. 54 - 60.
4. Космодром / Под общ. ред. А.П. Вольского. – М.: Воениздат, 1977. 310 с.
5. Наземная инфраструктура / Система эксплуатации. Состояние и перспективы развития. - URL: <http://www.sovkos.ru/cosmos/information/561.html>.
6. Парр Э. Программируемые контроллеры: руководство для инженера / Э. Парр; пер. 3-го англ. изд. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007. 516 с.
7. Петров И.В. Программируемые контроллеры. Стандартные языки и приемы прикладного программирования / И. Петров; под ред. В.П. Дьяконова. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. 256 с.
8. Технологические объекты наземной инфраструктуры ракетно-космической техники / Инженерное пособие, книга 3; под ред. И.В. Бармина. – Москва, 2012. 251 с.
9. PLC History. – URL: <http://www.plcs.net/chapters/history2.htm>.
10. SIMATIC Industrial Automation Systems. – URL: <http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/en/Pages/Default.aspx>