

Л.И. МАРТИНОВА, канд. техн. наук, доцент.  
Н.В. КОЗАК, канд. техн. наук.  
Р.А. НЕЖМЕТДИНОВ, канд. техн. наук.  
Р.Л. ПУШКОВ  
(Московский Государственный Технологический  
Университет “Станкин”)

L.I. MARTINOVA,  
N.V. KOZAK,  
R.A. NEZHMETDINOV,  
R.L. PUSHKOV  
(Moscow State Technological  
University “Stankin”)

## Реализация открытости управления электроавтоматикой станков в системе ЧПУ класса PCNC

Сформулированы требования к системе управления электроавтоматикой станка. Исследована архитектура системы ЧПУ класса PCNC, использующей программно-реализованный или внешний контроллер электроавтоматики. Предложен способ реализации открытости, позволяющий станкостроителю, при закрытой реализации ядра системы управления, свободно конфигурировать систему ЧПУ под специфику станка.

**Ключевые слова:** система ЧПУ, открытая архитектура системы управления, ядро системы ЧПУ, программируемый логический контроллер, электроавтоматика станка, коммуникационная среда, гетерогенная структура, панель оператора, XML-файл.

Различают открытость систем управления со стороны производителей, станкостроителей и конечных пользователей [1]. Подключение электроавтоматики станка в большей части находится в ведении станкостроителя, поэтому требования, предъявляемые с их стороны, весьма важны. Для реализации этих возможностей станкостроителю должно быть доступно подключение своих свободно программируемых клавиш на панели оператора и на станочной панели, вывод информации на экран оператора, подключение специфичных для конкретного станка периферийных устройств, программирование и перепрограммирование контроллеров электроавтоматики, а также предоставление конечному пользователю возможности реализовывать собственные “know-how” [2]. Открытость ядра системы числового программного управления (ЧПУ) – понятие, не имеющее достаточно четкого определения, и часто носит лишь декларативный характер. Производители систем ЧПУ охотнее оставляют открытым для станкостроителей доступ для интеграции своих алгоритмов адаптивного управления через программируемый логический контроллер (ПЛК), чем через ядро системы. Для этого ПЛК-цикл вызывается в основном также интерполяции и предоставляется доступ к системным переменным.

### Требования, предъявляемые к системе электроавтоматики станка

Управление электроавтоматикой станка с ЧПУ осуществляется при помощи программируемых логических контроллеров, исполняющих роль серверов [3]. Помимо общих требований, регламентируемых стандартами МЭК 61131, ГОСТ Р МЭК 60950-2002 и ГОСТ 4254, к контроллерам предъявляется ряд требований в

## Realization of machine electroautomatics' control openness in PCNC systems

Requests for machine electroautomatics' control system was formed. Researched PCNC system architecture with external PLC or soft-PLC for machine electroautomatics. Offered a method of openness realization, which can help to machine developer to make a machine-dependent configuration of CNC systems with closed kernel realization.

**Key words:** CNC system, open control system architecture, control system kernel, programmable logical controller, electroautomatics, communication environment, heterogeneous structure, operator panel, XML-file.

соответствии с их местом в архитектуре системы ЧПУ и возлагаемыми на них задачами. Остановимся на них подробно.

Для организации управления разнообразным оборудованием и электроавтоматикой и контроля над ними станкостроитель должен располагать возможностью подключения специализированных датчиков и исполнительных устройств. Специализированные средства сбора и обработки данных подключаются посредством стандартных интерфейсов к контроллеру электроавтоматики, который, в свою очередь, использует их в своих программных алгоритмах или передает данные системе ЧПУ для дальнейшей обработки.

Возможность вывода информации на экран оператора позволяет оператору отслеживать все изменения в системе управления. Решение обеспечивается в рамках терминальной задачи, как, например, это делается через *Status Bar* интерфейса системы ЧПУ – в нем отображается информация, поступившая с ПЛК в ходе обработки им алгоритма управляющей программы, заданного станкостроителем.

Для того, чтобы организовать возможность управления циклами электроавтоматики непосредственно с терминала системы ЧПУ станкостроителю должна быть предоставлена возможность подключения дополнительных циклов электроавтоматики посредством M-клавиш. Это достигается посредством передачи сигналов управления с терминальных M-клавиш на ПЛК электроавтоматики, который, в свою очередь, активизирует необходимый цикл управления. Данный механизм более подробно будет описан ниже.

Визуализация информации о состоянии технологического процесса или о состоянии самого оборудования (например, для своевременного сервисного

обслуживания в случае сбоев в агрегатах станках, работающих под управлением электроавтоматики) реализуема, если станкостроителю открыта возможность предоставления диагностической информации в терминальную часть.

### Архитектура системы ЧПУ с программно реализованным или внешним контроллером электроавтоматики

Архитектуру системы ЧПУ обобщенно можно представить посредством ее функциональной декомпозиции в соответствии с задачами управления (рис. 1). В число таких задач входят: геометрическая, логическая, терминальная и задача удаленного контроля [1]. Первые две входят в состав подсистемы числового управления (NC), т.е. ядра системы управления. Выполнение процессов в NC-подсистеме критичны ко времени, поскольку здесь выполняются алгоритмы управления оборудованием: управление приводами движения станка и электроавтоматикой технологического оборудования. Задачи удаленного контроля и терминальная реализуемые подсистемой PC также предъявляют требования к быстродействию выполнения операций, но они не критичны к реальному времени.

Задача логического управления в подсистеме NC реализуется с помощью внешнего или программного (SoftPLC) контроллера. В том и другом случаях взаимодействие с аппаратными средствами электроавтоматики

(контроллерами, датчиками, исполнительными устройствами и т.п.) осуществляется на основе стандартизированных технологий и аппаратных решений, таких как CANbus, Profibus и др. [3]. Компоненты ядра, реализующие логическую задачу посредством коммуникационных сред, взаимодействуют с другими задачами системы управления.

Коммуникационная среда строится на базе программных и сетевых технологий взаимодействия между компонентами. Она обеспечивает обмен данными между модулями подсистем, взаимодействие PC и NC подсистем, поддержку технологий и стандартов промышленной автоматизации (OPC). Коммуникационная среда современного промышленного оборудования строится с использованием технологий полевых шин [4].

Поддержка стандартных протоколов обмена данными с аппаратными средствами станка и вспомогательным технологическим оборудованием увеличивает спектр использования программного обеспечения системы ЧПУ [5]. Благодаря применению различных конфигураций программного обеспечения ЧПУ расширяется ряд возможных конечных решений, реализуемых на базе оборудования (токарных, фрезерных, многоцелевых станков, обрабатывающих центров) различных производителей.

Реализация управления электроавтоматикой в составе автоматических линий и гибких производственных ячеек с применением робототехнических комплексов и т.п. предполагает гетерогенную структуру

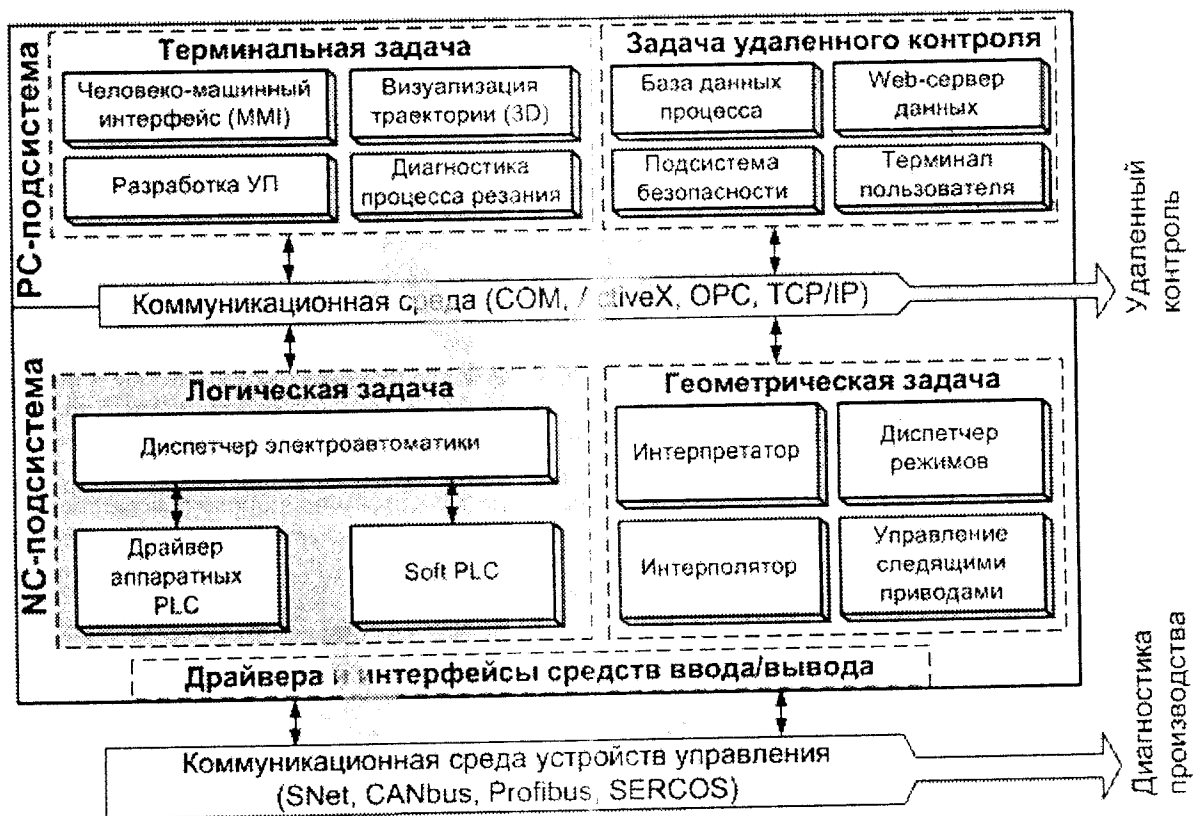


Рис. 1. Обобщенная архитектура системы ЧПУ и место задачи управления электроавтоматикой

коммуникационной среды. Например, если на станке нужно использовать набор датчиков, поддерживающих протокол *CANOpen*, тогда как контроллер электроавтоматики работает по протоколу *ProfibusDP*, то задача решается посредством применения преобразователя интерфейса *CAN* (рис. 2). Здесь компьютер ядра системы управления имеет программную реализацию контроллера электроавтоматики. Для работы с внешними устройствами используется плата ввода-вывода со стандартным интерфейсом *Profibus*. Для связи датчиков с исполнительными устройствами станка применяется преобразователь интерфейсов *CAN/Profibus*.

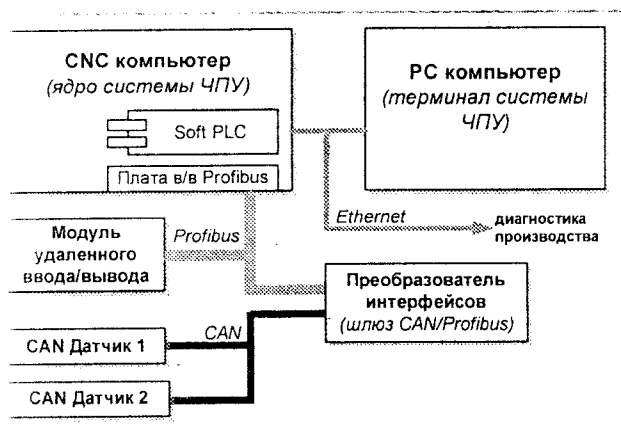


Рис. 2. Пример использования преобразователей промышленных интерфейсов в коммуникационной среде системы управления

### Механизм программирования и работы машинных клавиш (М-клавиш) панели оператора

Машинные клавиши (М-клавиши) панели оператора предназначены для управления функциями электроавтоматики, как, например, принудительное включение охлаждающей жидкости, отвод стружки или другие задачи связанные с ПЛК. Логика их шин, обеспечивающих стандартизованный доступ к функциям управления устройствами работы, реализуется станкостроителем. Разработчики систем ЧПУ предоставляют лишь механизм программирования М-клавиш.

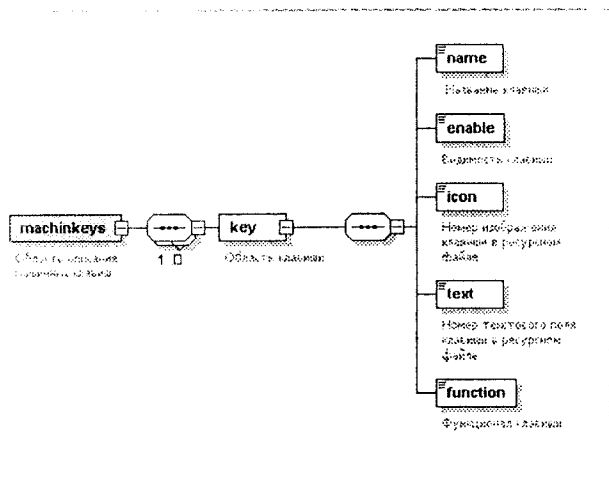


Рис. 3. ASD-схема, описывающая функциональные клавиши

Все запрограммированные параметры хранятся в *XML*-файлах настройки. Эти файлы формируются станкостроителями на основе представленных *XSD*-схем (рис. 3). По сформированному *XML*-файлу модуль программного обеспечения системы ЧПУ, отвечающий за настройку параметров М-клавиш, осуществляет визуализацию параметров на экране оператора. В качестве параметров в *XML*-документе указываются регистры ПЛК. Из этих регистров считываются данные, необходимые для формирования визуальной составляющей настраиваемых элементов панели оператора. Данные в эти регистры вносятся на основе работы программы, предварительно сформированной и загруженной в ПЛК.

На рис. 4 представлена схема взаимодействия панели оператора, системы ЧПУ и ПЛК. Сигнал о нажатии одной из М-клавиш поступает в ядро реального времени системы ЧПУ, далее перенаправляется в ПЛК. Контроллер по заложенному в него алгоритму выдает на выходные регистры данные, которые далее используются для визуализации на панели оператора.

Схема отображает интерфейс системы ЧПУ *AxiOma Ctrl*, адаптированный для работы с токарными станками серии 16A20. В поле статус бара отображается работа системы безопасности. Поле имеет два состояния: “обработка запрещена” (например, при незакрытом ограждении станка) - при этом работа системы ЧПУ заблокирована сигналом от ПЛК и “обработка разрешена”. Так же в поле статус бара отображается ситуация принудительной подачи смазки оператором на направляющие.

В поле М-клавиш выведены 4 стандартных М-цикла: “подвод” и “отвод” пиноли – опция необходима при обработке крупногабаритных изделий; “принудительная подача смазки на направляющие” – процесс отображается в статус-баре; “смена инструмента” в инструментальном магазине.

### Реализация взаимодействия контроллера электроавтоматики с ядром системы ЧПУ

Открытость современных систем ЧПУ позволяет контроллеру электроавтоматики взаимодействовать с ядром системы как на уровне команд, так и на уровне данных. Взаимодействие на уровне данных построено на том, что в ПЛК существует область памяти, в которую контроллер может записывать данные, а ядро системы ЧПУ – эти данные считывать. Обратное также верно. Необходимость в этом возникает, когда ядру системы нужно передать какие-либо данные для настройки работы электроавтоматики (например, реализовать адаптивное управление процессом резания, путем изменения режимов резания в зависимости от износа инструмента) или считывать данные о текущем состоянии (например, получить реальное текущее значение положения оси).

Характер данных и их размещение в памяти контроллера определяются станкостроителем при разработке управляющей программы.

Возможности управляющих программ, разработанных на языке *ISO-7bit*, достаточно ограничены, если диалект версии языка не был адаптирован для этого.

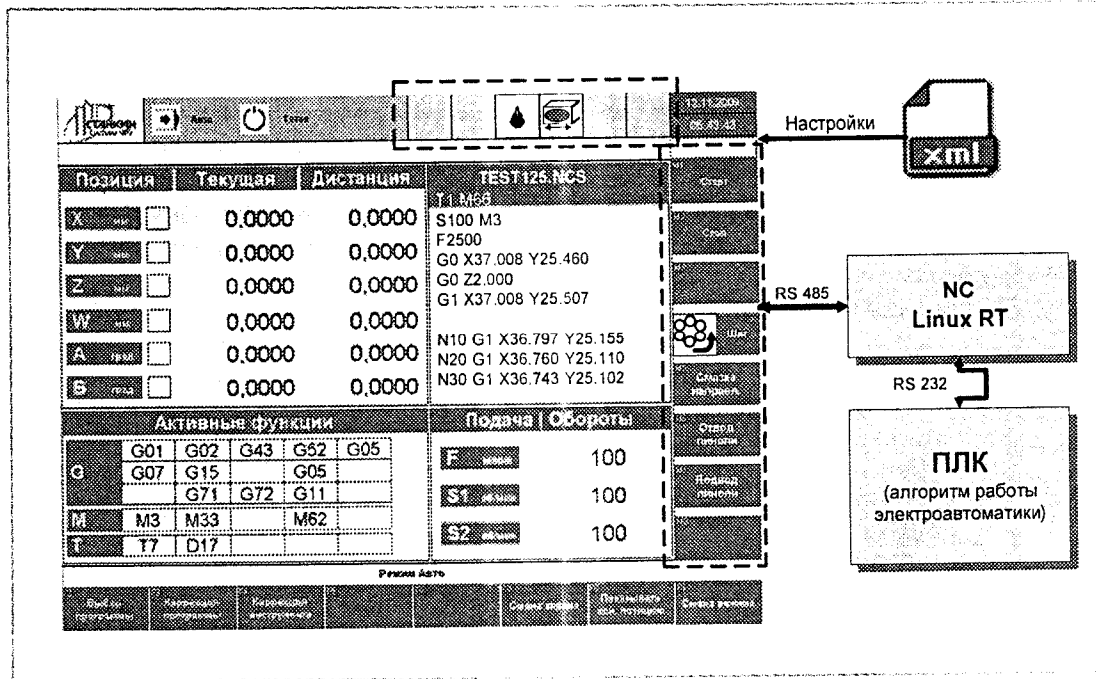


Рис. 4. Схема взаимодействия панели оператора, системы ЧПУ и ПЛК электроавтоматики станка

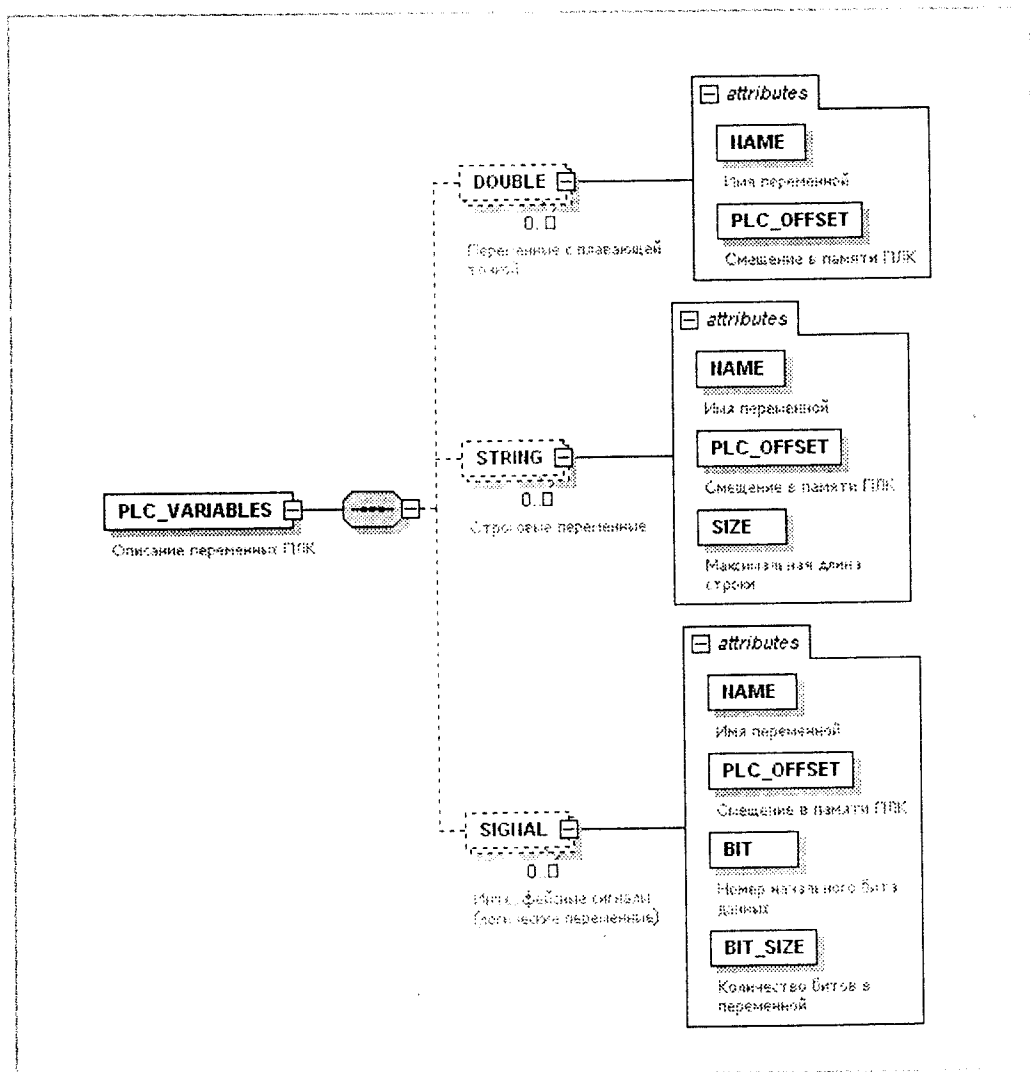


Рис. 5. XSD-схема представления данных ПЛК-переменных в конфигурационном файле

Взаимодействие с ПЛК предполагает использование языка высокого уровня для разработки управляющих программ [6, 7].

Интерпретатор воспринимает из памяти ПЛК данные, представленные в виде системных переменных (так называемых ПЛК-переменных). Их количество, размерность, имена и соответствие участкам памяти ПЛК устанавливаются станкостроителем. Но опыт показывает, что применение конфигурационного XML-файла для задания ПЛК-переменных обеспечивает максимальную гибкость системы ЧПУ [8].

Структура подобного файла изображена на XSD-схеме (рис. 5).

В XSD-схеме все ПЛК-переменные разбиты на три вида: *DOUBLE*, *STRING* и *SIGNAL*. Переменные *DOUBLE*, занимающие в памяти 8 байт, содержат вещественные числа с плавающей запятой и используются для задания текущего положения оси, текущего значения скорости и т.д. Переменные *STRING*, содержащие символы строку, используются для вывода сообщений оператору ПЛК. Переменные *SIGNAL* (сигналы) занимают от одного до нескольких бит, используются, например, для определения о достижении инструментом критического уровня износа, срабатывание какого-либо датчика и т.д.

Каждая ПЛК-переменная имеет набор атрибутов.

1. *NAME* – имя переменной, как она будет представляться интерпретатору;
2. *PLC\_OFFSET* – смещение до переменной в байтах относительно начала области переменных в памяти ПЛК;
3. *SIZE* – максимальная длина строковой переменной в байтах;
4. *BIT* – номер бита, отвечающего за переменную-сигнал;
5. *BIT\_SIZE* – количество битов в переменной-сигнале (обычно 1, но возможно существование сигналов, которые могут иметь дополнительные состояния).

На рис. 6 приведен пример конфигурационного XML-файла, который определяет набор ПЛК-переменных для получения текущей координаты оси X, получения сигнала об износе инструмента от подсистемы диагностики и передачи оператору сообщения от ПЛК.

Набор переменных, прочитанных ядром системы ЧПУ из конфигурационного XML-файла, анализируется при разборе управляющей программы интерпретатором. В случае если в программе встречается переменная, производится ее поиск среди системных переменных (в том числе и переменных ПЛК) и, если такова найдена, то используется обращение к определенной области памяти ПЛК.

XML	
= version	1.0
= encoding	UTF-8
PLC_VARIABLES	
= xsi:noNamespaceURI	PLC_VARIABLES.xsd
= xmlns:xsi	http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance
DOUBLE	
= NAME	PLC_XPOS
= PLC_OFFSET	0
STRING	
= NAME	PLC_MSG
= PLC_OFFSET	8
= SIZE	64
SIGNAL	
= NAME	PLC_TOOLBROKEN
= PLC_OFFSET	72
= BIT	0
= BIT_SIZE	1

Рис. 6. Пример конфигурационного XML-файла для формирования ПЛК-переменных

```

start:
// фрезерование очередной детали
mill_part();
// проверка состояния сигнала от системы диагностики если бит выставлен в
// единицу, износ инструмента достиг критического уровня
if (PLC_TOOLBROKEN == 1)
{
// вывод сообщения от PLC
print(PLC_MSG);
// останов управляющей программы
M0
}
// переход к фрезерованию следующей детали
goto start;

```

Рис. 7. Пример управляющей программы с использованием ПЛК-переменных

Далее представлен фрагмент управляющей программы (рис. 7), которая будет производить обработку деталей, проверяя каждый раз по окончании обработки очередной детали состояние инструмента. При получении от системы диагностики сигнала о необходимости замены инструмента выполнение программы остановится и будет выдано сообщение, полученное из памяти ПЛК.

#### Заключение

Открытость управления электроавтоматикой станка в системе ЧПУ в большей степени реализуется станкостроителем, но обеспечение ее закладывается на стадии проектирования архитектуры системы ЧПУ.

Применение технологий полевых шин позволяет реализовать гетерогенную структуру системы управления и значительно расширить открытость системы управления. Открытость современных систем ЧПУ позволяет контроллеру электроавтоматики взаимодействовать с ядром системы, как на уровне команд, так и на уровне данных. Характер данных и их размещение в памяти контроллера определяются станкостроителем при разработке управляющей программы электроавтоматики.

Для включения реализованных функциональностей станкостроителю предоставляется возможность и механизм программирования "свободных" M-клавиш. На основе представленных XSD-схем станкостроитель формирует XML-файл, а модуль программного обеспечения системы ЧПУ, отвечающий за настройку параметров M-клавиш, осуществляет визуализацию параметров на экране оператора.

*Работа выполнена в МГТУ "Станкин" по Госконтрактам № П978 и № П858 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009-2013 годы.*

*E-mail: lili@ncsystems.ru, neramil@ncsystems.ru  
kozak@ncsystems.ru, pushkov@ncsystems.ru*

#### Список литературы

1. Сосонкин В. Л., Мартинов Г.М. Современное представление об архитектуре систем ЧПУ типа PCNC // Автоматизация проектирования. 1998. №3.
2. Мартинов Г.М., Козак Н.В., Нежметдинов Р.А., Любимов А.Б. Специфика построения панелей управления систем ЧПУ по типу универсальных программно-аппаратных компонентов // Автоматизация и современные технологии. 2010. №7.
3. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л., Евстафьева С.В. Основы построения однокомпьютерной системы ЧПУ с программно реализованным ядром и открытой модульной архитектурой // Вестник МГТУ "Станкин". 2008. №4.
4. Мартинов Г. М. Современные тенденции развития компьютерных систем управления технологического оборудования // Вестник МГТУ "Станкин". 2010. №1.
5. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Спецвыпуск T-Comm, июль 2009.
6. Мартинов Г.М., Пушков Р.Л. Построение инструментария отладки управляющих программ систем ЧПУ на языках высокого уровня // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2008. №11.
7. Мартинов Г.М., Обухов А. И., Пушков Р.Л. Принципы построения универсального интерпретатора языка программирования высокого уровня для систем ЧПУ // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. №6.
8. Холзнер С. XML. Энциклопедия. 2-е изд. СПб.: Питер. 2004.

Ежемесячный научный журнал  
**"ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И ПРИБОРЫ"**  
№ 1 за 2011 год

*опубликовал статью, которая может заинтересовать специалистов работающих в области приборо- и системостроения.*

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ ДЛЯ ОЦЕНКИ  
ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УГРОЗ И ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ  
ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ И КАТАСТРОФ**

**Л.Б. Волкомирская  
А.Е. Резников**

Показана эффективность применения самых мощных современных георадаров "Трот" для оценки экологических угроз, связанных с разрушением сибиреязвенных скотомогильников в окрестностях Ивановского водохранилища, принятия решений по ликвидации последствий схода ледника Сколка в Кармадонском ущелье и определения зон загрязнения нефтепродуктами.