

# Тенденции развития архитектуры и математического обеспечения систем ЧПУ

В статье рассматриваются вопросы архитектуры и задачи управления систем ЧПУ типа PCNC, а также теоретические аспекты построения программного обеспечения ЧПУ

## 1. Тенденции развития архитектуры систем ЧПУ.

Архитектурные модели. Наиболее сложные открытые системы ЧПУ выполняют согласно двухкомпьютерной архитектурной модели (см. рис. 1а). Модель означает размещение PC-подсистемы на одном компьютере, а NC-подсистемы на другом. В PC-подсистеме используют операционную систему Windows, а в NC-подсистеме – ОС PB, например, UNIX. Обе системы поддерживают протоколы TCP/IP, и это позволяет построить общую коммуникационную среду. Включение в эту среду прикладного уровня с функциями доступа к интерфейсам модулей (а общее число таких функций может достигать нескольких сот) создает виртуальную шину, оказывающую низкоуровневые услуги доступа.

По мере роста вычислительной мощности компьютеров все более привлекает однокompьютерный вариант (см. рис. 1б).

развития на основе оригинальных разработок или путем встраивания покупных систем; клиент серверная организация взаимодействия подсистем; стандартизация интерфейсов и транзакций.

**Архитектура открытой системы ЧПУ.** Основными признаками открытой системы ЧПУ являются: интеграция SoftCNC, SoftPLC, MMI и базы данных БД в единой системе; многопоточное управление, использующее копии основного МО; публикация API-функций интерфейса пользователя и подсистемы PB; поддержка SERCOS-интерфейса, Profibus, DeviceNet и др.; единые ОС и Intel-архитектура процессора, стандартная PC-платформа; поддержка языков электроавтоматики согласно стандарту IEC-61131-3. Пример архитектуры открытой системы ЧПУ OpenCNC показан на рис. 2.

Функции API открывают доступ к библиотекам и инструментальным средствам, которые позволяют расширить существующую систему.

Существует возможность интегрировать в систему пакеты MES, строить собственный интерфейс пользователя и разрабатывать свои приложения в составе МО. Открытая БД PB показывает текущее состояние планировщика программ и значения системных переменных. Интерфейс программ позволяет читать, использовать, менять переменные. Они могут быть адресованы со стороны SoftPLC и процессов OpenCNC. Функции API организованы в виде двух динамических библиотек (dlls).

Пакет API «Уровень1» используют для разработки приложений машинного масштаба времени: приложения интерфейса пользователя, инструменты управляющих программ. С помощью API этого уровня возможно: наблюдать за значениями переменных в БД; создавать такие пользовательские окна в интерфейсе пользователя, которые поддерживают функции, не предусмотренные стандартным интер-

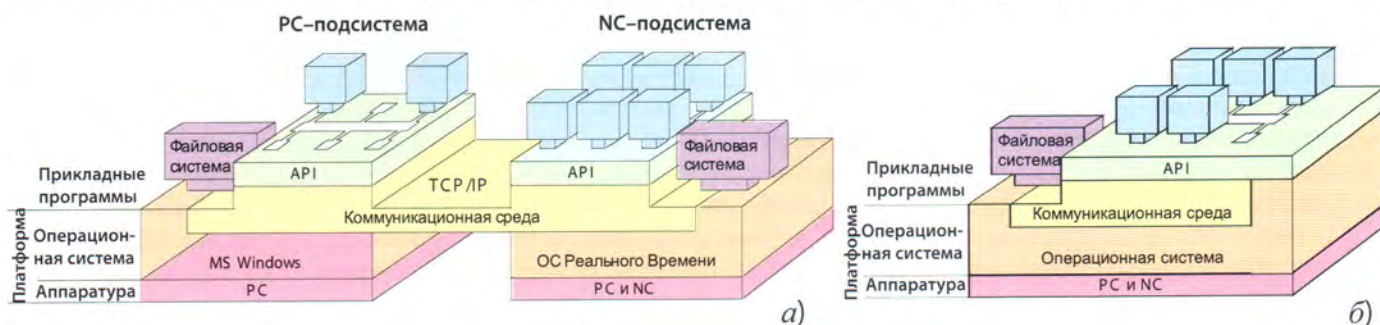


Рис. 1. Архитектурные варианты систем ЧПУ

В качестве ОС может быть использована система Windows NT, которая требует расширения реального времени PB; например, в виде RTX фирмы VentureCom. Обе модели предполагают использование дополнительных контроллеров связи с объектами управления. В их числе: контроллер следящих приводов, программируемый контроллер PLC, специальные устройства для управления технологическими процессами. Архитектурные варианты отражают некоторые общие принципы: разграничение системных, прикладных и коммуникационных компонентов; возможность независимого их

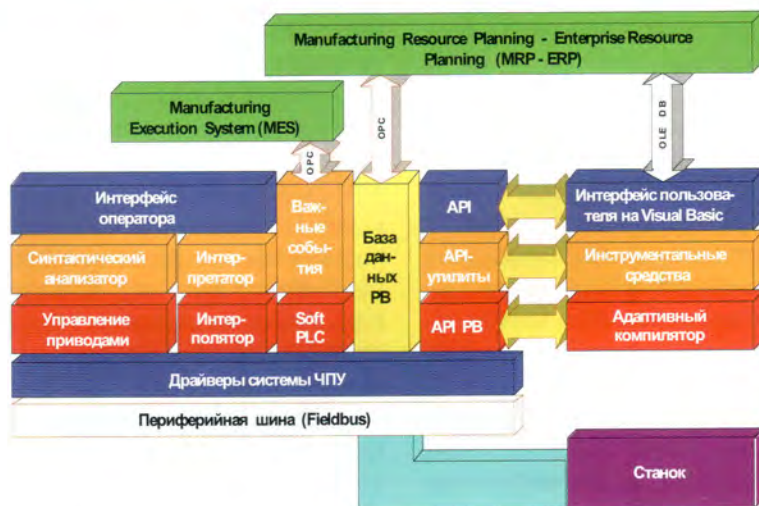


Рис. 2. Пример архитектуры открытой системы ЧПУ OpenCNC



Рис. 3. Подсистема Motion Control

фейсом; создавать специальный интерфейс программирования топологически однотипных деталей для параметрического программирования управляющей программы.

Пакет API «Уровень 2» позволяет профессиональным программистам создавать программы жесткого РВ с использованием Visual C/C++. Этот пакет дает возможность: повысить точность обработки путем создания приложений РВ, ориентированных на компенсацию различного рода погрешностей и деформаций на станке; создавать программы, которые будут работать циклически с выбранной частотой.

**Открытое ядро ЧПУ.** Ядро ЧПУ называют по-разному: геометрической задачей, подсистемой формообразования, SoftCNC, SoftMotion, Motion Control.

Ранее подсистему формообразования строили, путем установки на шину компьютера платы с проблемно-ориентированным процессором, с отдельной ОС и соответствующим прикладным МО. Такое решение для подсистемы было полностью закрытым.

Сегодня наиболее привлекательны открытые системы ЧПУ, подсистемы которой (включая интерфейс оператора, Motion Control и контроллер электроавтоматики SoftPLC) полностью программно реализованы на единой компьютерной Windows-платформе. Преимущества программной реализации подсистемы формообразования объединились с достоинствами цифровых приводов подачи. Подсистема Motion Control (см. рис. 3) допускает неограниченное расширение, поддержанное мощной инструментальной системой. Она позволяет создавать новые функции и новые приложения для Motion Control, а также и интерфейс оператора. Инструментальная система имеет

свой текстовый мультизадачный объектно-ориентированный язык.

**Системы ЧПУ с Web-доступом.** Язык XML, OMAC-схемы (Open Modular Architecture for Controllers) и протокол SOAP (Simple Object Access Protocol) используют для унифицированного доступа к станкам с ЧПУ, имеющих Web-доступ. При этом реализуется концепция взаимодействия оборудования в рамках жизненного цикла производства изделий от их проектирования через весь технологический процесс.

Несколько лет назад фирма Boeing предприняла инициативу "design anywhere, build anywhere" (проектирование и производство в любом месте). Соответственно этому принципу с использованием OMAC API, XML и SOAP разработана архитектура системы ЧПУ типа GNC (Generative Numerical Control, интеллектуальная система ЧПУ, другое название – "feature-based") для ОС Windows. Прагматичная альтернатива состоит в том, что технологии OMAC API и XML встроены в традиционную закрытую систему ЧПУ

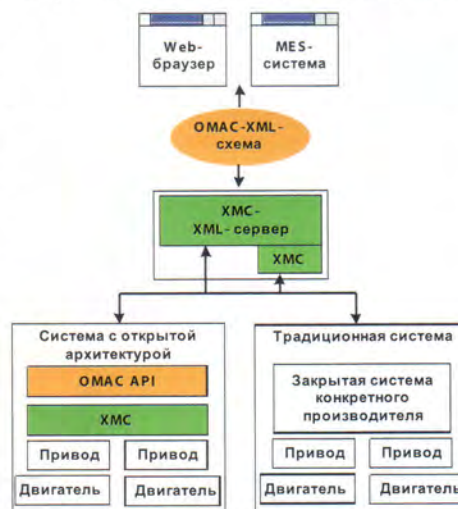


Рис. 4. Система ЧПУ с WEB-доступом

для интеграции в производственное информационное пространство (см. рис. 4).

Сегодня разрабатывают концепцию, согласно которой станок с ЧПУ становится узлом корпоративной Web-сети. Наибольшую эффективность OMAC API имеет в Web-доме коллективно используемых станков с ЧПУ. Функции OMAC API конвертируются в язык Internet путем использования XML-схем для конкретного MMI. Центральным элементом в этой архитектуре служит Windows-расширение XMC (eXtension for Motion Control) для конкретного станка с ЧПУ. Следовательно, XMC размещается между OMAC API и станком с ЧПУ. XMC-XML система использует OMAC XML схемы и SOAP протокол, чтобы создать гомогенную информационную структуру над системами ЧПУ разных производителей.

Многочисленные пользователи устанавливают дополнительное оборудование, чтобы сделать традиционные системы ЧПУ открытыми. В самом деле, большое число станков с ЧПУ имеют возраст более 30 лет. Однако в радикальных изменениях нет нужды, а существенные улучшения могут быть достигнуты путем дооснащения станков с ЧПУ внешним одноплатным компьютером MTIB (Machine Tool Interface Board). Цель состоит в превращении системы ЧПУ в узел корпоративной сети, использующий OMAC XML-схемы как стандартный универсальный язык ЧПУ. Система ЧПУ становится Web-сервером, который получает, разделяет и распространяет информацию по всему предприятию и за его пределами.

**Система понятий ISO 14649.** Другая тенденция в развитии современных систем ЧПУ состоит в создании STEP-NC интерфейса. В рамках этой тенденции разрабатывают систему ЧПУ типа STEP-NC (STEP-NC-CNC), которая получает STEP-NC данные, распознает их и не нуждается в дополнительных инструкциях для выполнения задания. Стандарт ISO 14649 предоставляет системе ЧПУ информацию в виде четырех разделов: описание задач управления, технологическая информация, описание инструмента, геометрическое описание. Раздел задач – это последовательность исполняемых блоков и типов данных. Детали каждого шага операции описаны в разделе технологической информации; причем они связаны отношениями с описанием инструмента и геометрическим описанием. Важнейшим элементом технологического процесса служат типовые формы «features», которые определяют области удаляемого

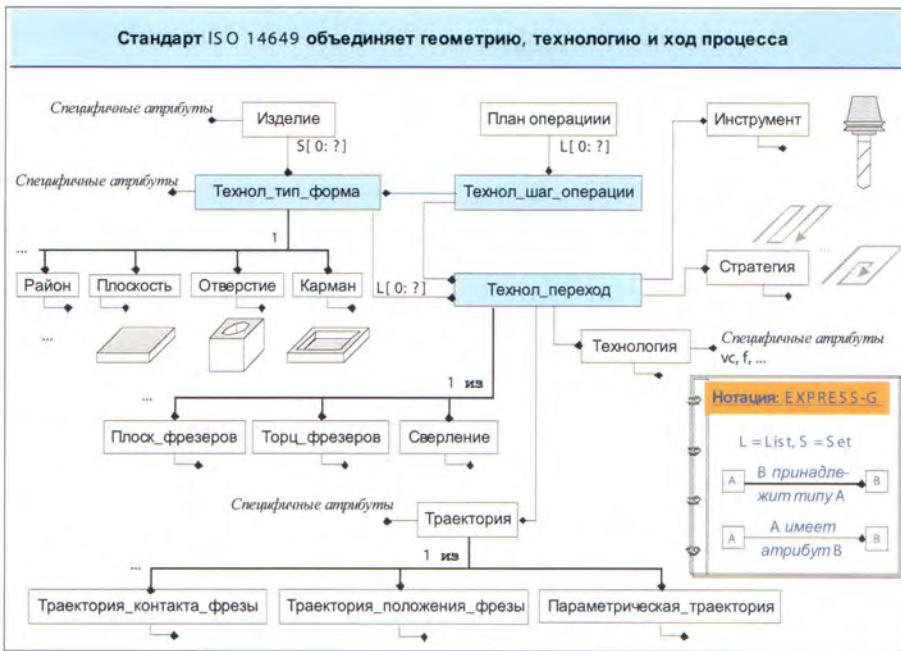


Рис. 5. Управляющая информация в стандарте ISO 14649

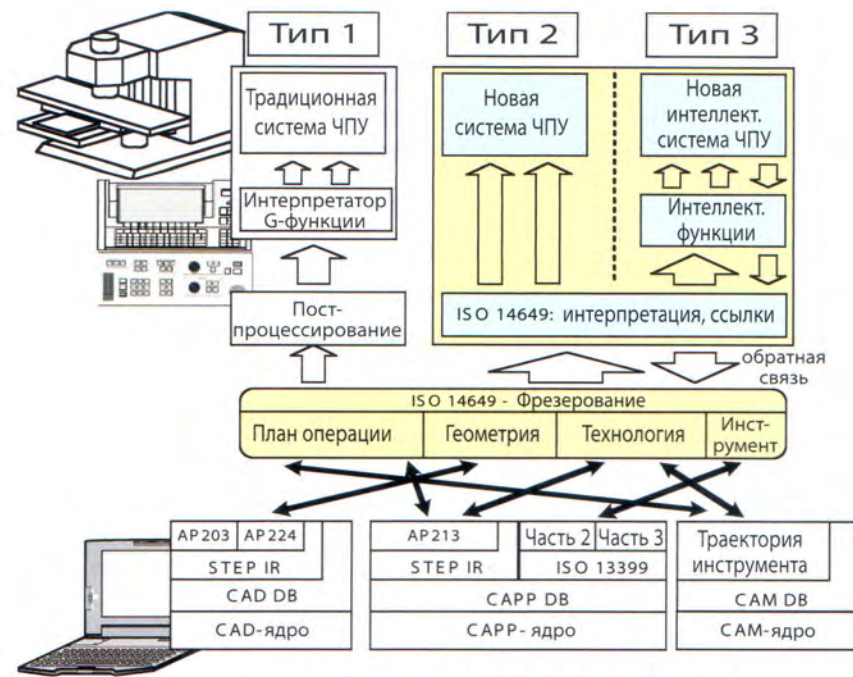


Рис. 6. Системы ЧПУ, воспринимающие стандарт STEP-NC

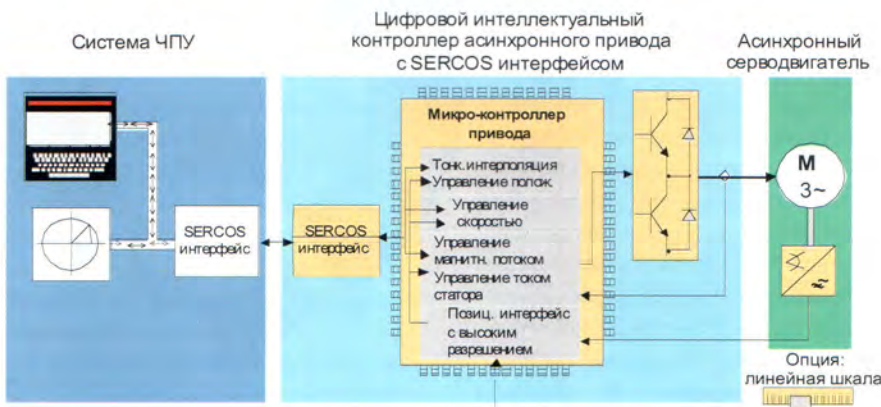


Рис. 7. SERCOS интерфейс систем ЧПУ

материала заготовки, а их внешний вид является частью внешнего вида изделия «workpiece». Типовые формы заданы параметрически или с помощью образующей и направляющей. На рис. 5 показано взаимодействие задач управления, технологической информации, инструмента и геометрической информации.

ЧПУ, воспринимающие стандарт STEP-NC. Системы ЧПУ, воспринимающие стандарт STEP-NC (ISO 14649), могут относиться к одному из трех типов (см. рис. 6). Первый базируется на традиционном использовании G-кодов (ISO 6983), т.е. построен на основе обычной системы ЧПУ. Управляющие программы ISO 14649 конвертируются в формат ISO 6983 на уровне постпроцессирования. Строго говоря, этот тип не относится к STEP-NC-CNC. Второй тип имеет встроенный интерпретатор ISO-14649, который преобразует управляющие программы самостоятельно. Третий тип является полномасштабным вариантом STEP-NC-CNC, располагающим такими возможностями: интеллектуальные сетевые функции ЧПУ, поддерживающие цепочку CAD-CAM-CNC, выполненную на основе модели ISO 14649; полная автоматизация цикла от наладки до измерения; встроенная система искусственного интеллекта, возможность автономного управления объектом.

Управляющие программы ISO 14649 содержат самые разнообразные данные. Используя их, система ЧПУ способна генерировать траектории инструмента соответственно текущей цеховой ситуации; а также самостоятельно составлять планы операции и адекватно реагировать на непредвиденные события.

Эволюция цифрового привода. Эволюция привела к созданию интеллектуальных цифровых приводов, обеспечивающих высокую скорость и точность при минимальных затратах. Для их использования необходим быстродействующий цифровой открытый и стандартный интерфейс, который обеспечивает возможность подключения вводов от любых производителей. Всем этим требованиям отвечает SERCOS интерфейс (Serial Realtime Communication System) для цифровых следящих приводов; он стал для систем ЧПУ международным стандартом IEC 61491 (см. рис. 7). С момента внедрения стандарт был использован во многих тысячах приложений.

Каждая координатная ось управляется циклическими командами, генерируемыми интерполятором системы управления. При этом обеспечивается совокупная

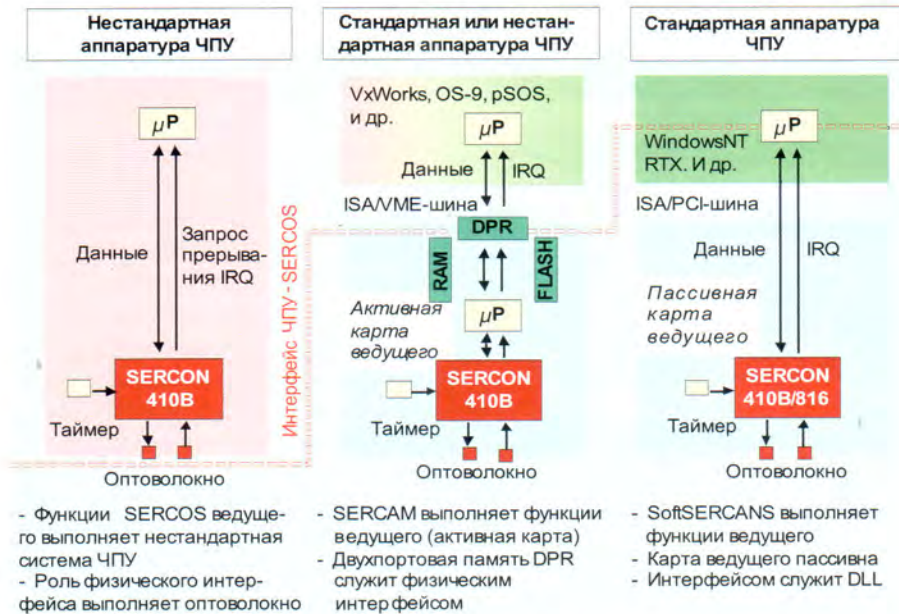


Рис. 8. Переход от SERCANS к SoftSERCANS

точность интерполируемого движения. Обработка сигналов цифрового привода выполняется при помощи микроконтроллера. Он осуществляет управление моментом и скоростью подачи, а также выполняет тонкую интерполяцию и позиционное управление с исключительно коротким вычислительным циклом. В сравнении с традиционными приводами достигается большая точность, причем различие особенно заметно при высоких скоростях подачи. Цифровые приводы работают циклически, а циклом служит интерполяционный цикл системы ЧПУ. В каждом цикле значения переменных обновляются для каждого привода.

Цифровой интерфейс обеспечивает синхронизацию циклов контроллера и следящих приводов. Синхронизация осуществляется с микросекундной точностью, поскольку влияет на координацию приводов и одновременное выполнение команд. Отдельные следящие приводы объединяются по своим входам в «кольцо» при помощи оптоволоконного кабеля. Движение информации в кольце возможно со скоростью до 16 Мбит/сек. Оптоволоконный кабель выбран из соображений устойчивости от помех. Для удобного использования SERCOS интерфейса в системе ЧПУ разработаны быстродействующий модуль SERCANS, выполненный в виде карты, и терминал настройки и диагностики DRIVETOP на базе Windows-компьютера. SERCANS представляет собой операционный блок, который поддерживает управление интеллектуальными цифровыми приводами со стороны систем ЧПУ, компьютеров и контроллеров с VME-шинами или др. SERCANS осуществляет коммуникацию,

синхронизацию и восстановление отказов при совместной работе контроллера и приводов. DRIVETOP обеспечивает сбор, параметризацию и диагностику цифровых приводов, загрузку и хранение параметров приводов. Он располагает также мощными функциями осциллографа и спектрального анализатора. SERCANS имеет собственный микропроцессор и расширенную двухпортовую память. В этой связи SERCANS самостоятельно выполняет инициализацию, коммуникацию и диагностику в коммуникационном пространстве между системой управления и приводами. Аппаратура SERCANS служит для самостоятельного выполнения функций «ведущего». SERCANS представляет собой подключаемую карту, состоящую из: спец бис SERCON 410B, интерфейса оптоволоконного кольца, микропроцессора, памяти программ и данных, двухпортовой памяти RAM, индикаторов ошибок, системы диагностики, последовательного интерфейса (RS-232). Карта может быть установлена на шину микропроцессора, на ISA-шину, на VME-шину. При подаче синхронизирующего сигнала система управления циклически формирует новые значения команд, загружает их в двухпортовую память RAM, а затем эти значения считываются из памяти. Система управления имеет доступ ко всем обменным данным, как если бы они сохранялись во внутреннем регистре системы управления. В зависимости от версии, синхронизирующий сигнал генерируется либо системой управления, либо SERCANS. Последний вариант имеет то преимущество, что система управления освобождается от точной привязки ко времени и лишь выполняет

интерполяцию в каждом коммуникационном цикле.

Дальнейшим шагом в развитии системы коммуникации стал переход от SERCANS к SoftSERCANS (см. рис. 8).

Недавний новый проект объединяет высокотехнологичный SERCOS интерфейс со стандартом Ethernet для того, чтобы перейти к новому поколению SERCOS, получившему наименование SERCOS-III. SERCOS-III выстроен на базе существующего механизма реального времени SERCOS-интерфейса, работающего циклически с постоянной частотой. При этом, стандартная IP-телеграмма (соответственно протоколу TCP/IP) может быть передана в выделенном временном промежутке «не-реального» времени параллельно с информацией реального времени для управления следящими приводами. Контроллер SERCOS-III поддерживает обмен подобными телеграммами между любыми сетевыми устройствами. Дальнейшие планируемые расширения SERCOS-интерфейса состоят в следующем: интеграция офисных протоколов и протоколов микро локальных сетей (т.е. TCP/IP и Profibus). Базовые идеи состоят в объединении хорошо зарекомендовавших себя Sercos-механизмов с широко известными сетями Ethernet.

## 2. Современные методы разработки математического обеспечения ЧПУ

Создание программного обеспечения ЧПУ занимает до 85 % трудозатрат на разработку всей системы. Далее представлены основные идеи, использованные нами в течение последних 10–12 лет в области построения программного обеспечения ЧПУ.

- Сокращение времени разработки
- Повышение надежности
- Расширение функциональных возможностей



Рис. 9. Ключевые технологии разработки программного обеспечения ЧПУ

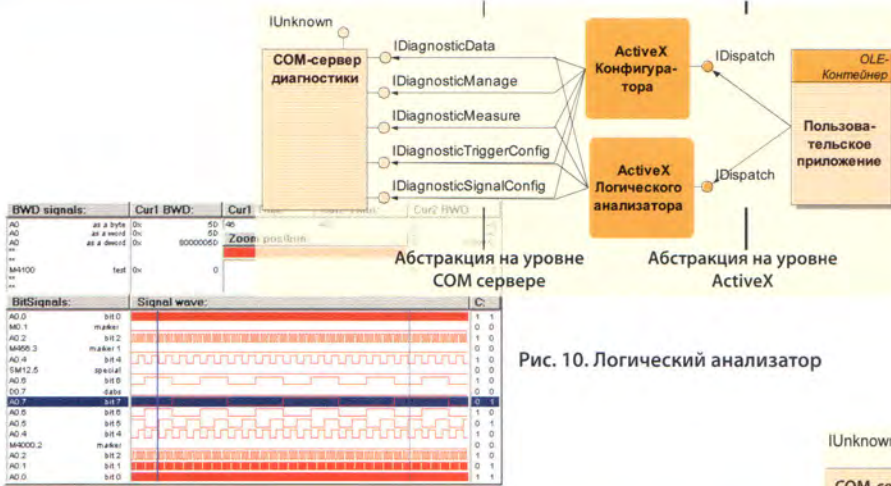


Рис. 10. Логический анализатор

Ключевые технологии. Невозможно приступить к реализации сложного проекта, рассчитанного на несколько поколений, без проектной документации. Сегодня стандартом де-факто стал язык UML, который используют для создания программной модели. В такую модель легко вносить функциональные изменения, связанные с эволюцией системы управления.

Повторное использование программного кода, независимого от конкретной аппаратной реализации, осуществляют с помощью компонентного COM-подхода, используемого по строго определенной схеме.

Используя готовые механизмы, предоставляемые MS XML и Internet-технологиями, можно сократить время разработки системы управления, расширить ее функциональные возможности и повысить надежность (см. рис. 9).

Компонентная архитектура. Схему построения компонентной архитектуры рассмотрим на примере нескольких приложений.

Первое из них, логический анализатор (см. рис.10), отображает входы и выходы системы управления электроавтоматикой и используется для отладки PLC-программ. Здесь компонентный подход предполагает выделение двух уровней абстракции. Абстракция на уровне COM-сервера маскирует аппаратные особенности оборудования. Этот уровень обеспечивает совместимость модификаций и версий систем управления. Абстракция на уровне ActiveX маскирует способ интеграции в интерфейс пользователя системы управления. Приложение может быть использовано самостоятельно или интегрировано в систему ЧПУ в качестве отдельного подрежима.

Второе приложение относится к области программирования систем ЧПУ на языке высокого уровня. Здесь отладка кода управляющих программ подчиняется тем

интерфейсе использует OLE-технологии и базовый интерфейс IDispatch.

XML DOM-технологии. Высокое быстрое действие MS XML-компилятора делает его привлекательным при организации внутренней структуры данных приложений системы ЧПУ. На рис. 11 показан механизм реализации внутренней базы данных приложения на основе XML-DOM документа. Разные компоненты имеют доступ к одним и тем же данным, поэтому

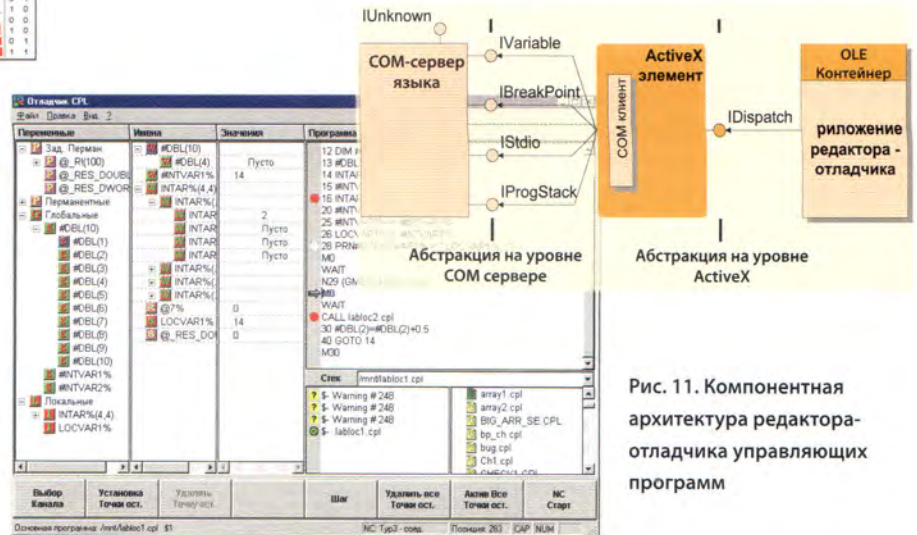


Рис. 11. Компонентная архитектура редактора-отладчика управляющих программ

же правилам, что и для, например, Pascal-кода: применяют простые или условные точки останова, следят за текущими значениями глобальных и локальных переменных, осуществляют перемещение по стеку вызова подпрограмм и отображение выходных сообщений. Компонентная архитектура подобна той, которая использована в первом приложении (см. рис. 11). Маскирование аппаратных особенностей оборудования выполняется с помощью COM-технологии и базового интерфейса IUnknown, а маскирование способа интеграции в пользовательском

при их изменении необходимо задействовать уведомление, для этого создан оригинальный механизм – менеджер уведомления. Идея его работы состоит в том, что все компоненты имеют свободный доступ для чтения данных, а запись в DOM-документ осуществляется только посредством менеджера уведомления, если для этого получено разрешение. При успешной записи менеджер рассылает уведомления об изменении данных подписавшимся клиентам.

STEP-NC реализация. Сегодня станкостроители опасаются сложности стандарта

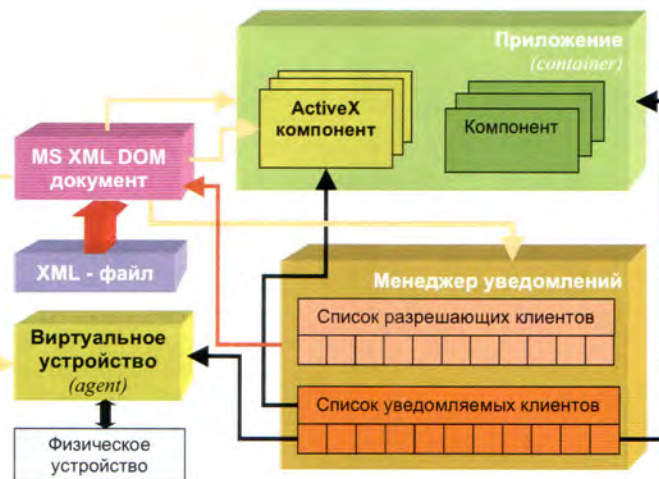


Рис. 12. DOM-уведомление.

STEP-NC. Между тем, проблема состоит не в формате описания данных, а в способе внедрения стандарта и разработке системы ЧПУ, воспринимающей STEP-NC. Нами предложена методика внедрения формата STEP-NC, основанная на последовательной трансформации моделей и форматов данных с целью определения необходимого DOM-набора компонентов для работы с данными в формате STEP-NC (см. рис. 13).

EXPRESS-модель данных формата STEP-NC создает иерархическое представление данных, удобное лишь при моделировании жизненного цикла изделия. Для преодоления трудностей внедрения необходимы UML-модели для разработки редакторов, верификаторов и других программных инструментов. Представление файлов данных в виде электронного документа XML и схем XSD позволяет привлечь мощные средства Internet-технологий. Этот формат данных может быть использован коммерческими компиляторами для построения объектной модели документа DOM и объектной модели схем SOM, определяющих программную реализацию системы.

На последней фазе будет установлен необходимый набор компонентов для визуального представления формата STEP-NC на экране.

Остановимся на UML-модели. На рис. 14 показан фрагмент UML-модели в виде диаграммы классов при фрезеровании открытого и закрытого кармана детали. Здесь же показаны физические прототипы объектов.

Сосонкин В. Л., профессор, д.т.н.  
 Мартинов Г. М., профессор, д.т.н.  
 book@ncsystems.ru

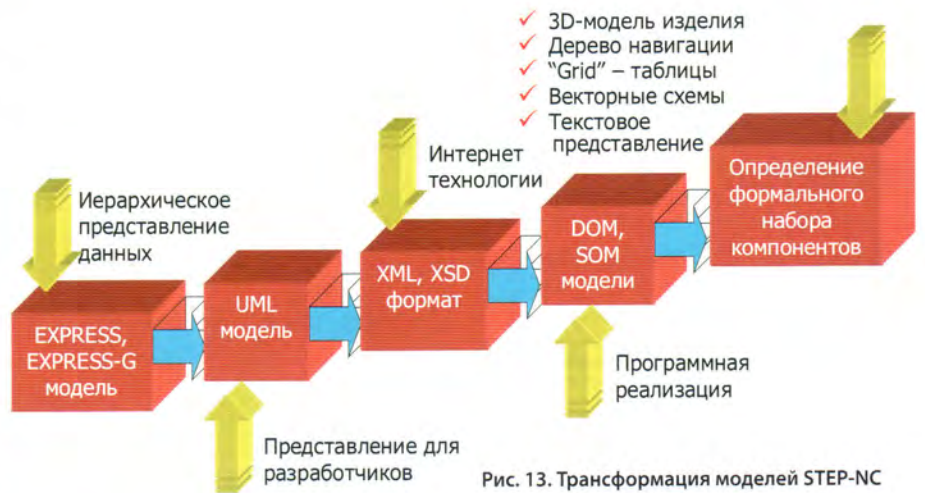


Рис. 13. Трансформация моделей STEP-NC

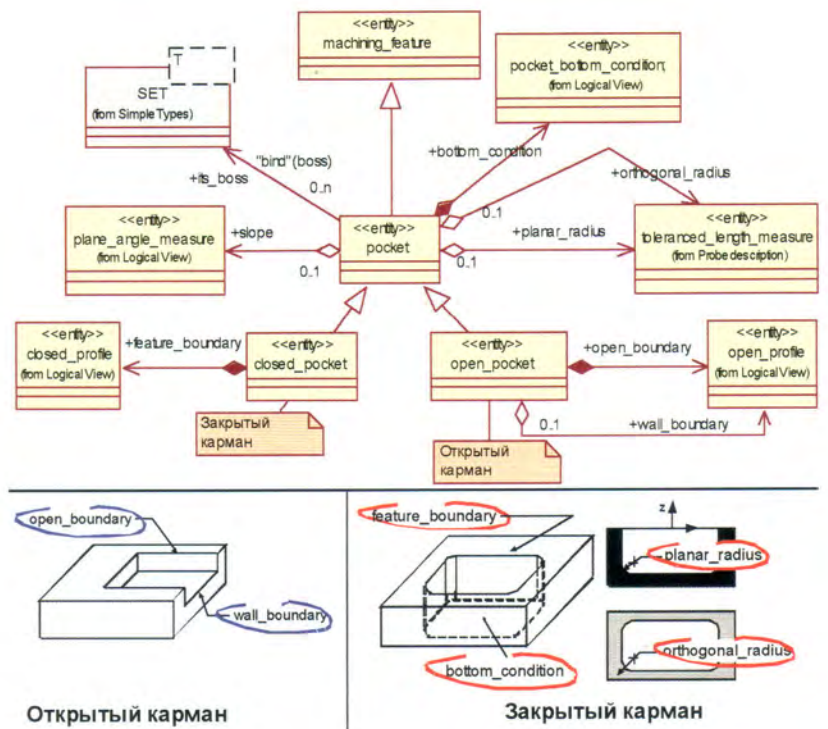


Рис. 14. Фаза UML модели STEP-NC.

## ЛУЧШЕЕ РЕШЕНИЕ



**WU 305**  
фирма Schütte

## ПРОБЛЕМ ЗАТОЧКИ



**ЗАО «ИТЦ ТЕХНОПОЛИС»**  
 Россия, 117342 г. Москва,  
 ул. Бултерова 17, офис 1707  
 Тел.: +7 (495) 330-9841, 330-9706,  
 429-7177, 424-2733  
 Факс: +7 (495) 330-9867, 737-6397  
 info@technopolice.ru  
 www.technopolice.ru



**WS 54**  
фирма Sebit