

НОВЕЙШИЕ ТЕНДЕНЦИИ В ОБЛАСТИ АРХИТЕКТУРНЫХ РЕШЕНИЙ СИСТЕМ ЧПУ

В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов (МГТУ "СТАНКИН")

В работе [1] были проанализированы архитектурные варианты систем ЧПУ, представленных на современном рынке. Дальнейшее исследование показало, что варианты, построенные на базе ПК, развиваются наиболее быстро. Особое внимание уделяется построению открытых систем, открытого ядра ЧПУ типа SoftCNC или Motion Control; систем ЧПУ со STEP-NC интерфейсом, в том числе интеллектуальных систем; построению систем с Web-доступом. Именно эти варианты послужили объектами дальнейшего рассмотрения.

Открытые системы

Согласно данным американской фирмы MDSI (Manufacturing Data Systems Inc., www.mdsi2.com), признаками открытой системы ЧПУ являются:

- интеграция SoftCNC (ядра ЧПУ), SoftPLC (виртуального контроллера электроавтоматики) и HMI в единой программно-реализованной системе;
- аппаратно-независимое программно-математическое обеспечение;
- отсутствие нестандартной аппаратуры, например, Motion Control (рис. 1); свободный выбор поставщика аппаратуры;
- многокоординатная интерполяция; работа позиционного и скоростного контуров обратной связи на одной постоянной несущей частоте;
- скорость интерполяции одинакова для двух или десяти одновременно работающих следящих приводов подачи;
- многопоточная система управления приводами; можно организовать на одной системе ЧПУ управление загрузкой инструмента, системой манипулирования деталями и другими системами автоматизации на основе следящих приводов, используя копии основного математического обеспечения;
- публикация функций прикладного интерфейса пользователя и подсистемы PB;
- нелимитированный сбор данных в PB, сетевая коммуникация;
- единая БД для событий в подсистемах SoftCNC, SoftPLC и управляющих программ;

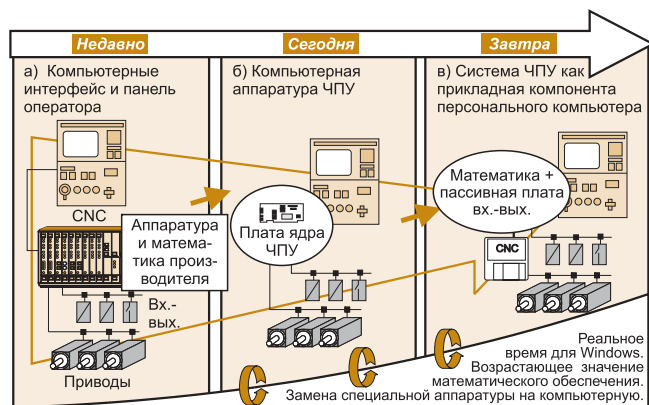


Рис. 1. Тенденция к исключению нестандартной аппаратуры

- возможность написания макросов на Microsoft Visual Basic;
- поддержка SERCOS-интерфейса следящих приводов подачи [2]; поддержка Profibus, DeviceNet и оптоэлектронных интерфейсов устройств ввода/вывода;
- единые ОС и архитектура процессора (Intel), стандартная PC платформа;
- поддержка всех языков программирования электроавтоматики согласно стандарту IEC-61131-3.

Пример архитектуры открытой системы ЧПУ показан на рис. 2.

Примером системы ЧПУ, одновременно открытой на уровне интерфейса API и ядра SoftCNC, служит OpenCNC фирмы MDSI.

Функции API открывают доступ к библиотекам и инструментальным средствам, который позволяет расширить существующую систему. Существует возможность интегрировать в систему стандартные пакеты MES, строить собственный интерфейс пользователя и разрабатывать свои приложения, работающие в составе математического обеспечения OpenCNC (рис. 3).

Открытая БД РВ дает актуальное представление о состоянии планировщика программ и значениях всех

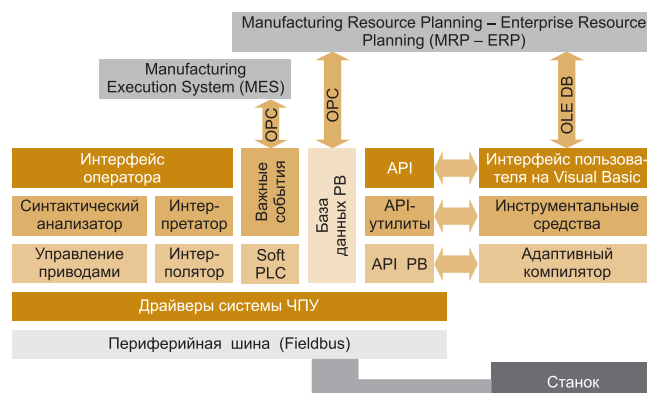


Рис. 2. Пример архитектуры открытой системы ЧПУ, где MES – Manufacturing Execution System (реальное производство); MRP – Material Requirements Planning (планирование материалов); ERP – Enterprise Resource Planning (планирование ресурсов); OPC – OLE for Process Control (стандарт для гетерогенной коммуникации); OLE – Object Linking and Embedding (связывание и внедрение объекта); DB – Data Base (БД); API – Application Programming Interface (интерфейс для прикладного программирования)

Архитектурные решения - летопись научных исследований

Журнал "Автоматизация в промышленности"

системных переменных. Интерфейс создаваемых программ будет иметь возможность читать и использовать любые переменные системы, а также менять значения любых переменных, не имеющих статус "read-only". Добавляемые в систему OpenCNC переменные смогут быть адресованы со стороны SoftPLC и процессов OpenCNC. Функции API организованы в виде двух динамических библиотек (dlls), которые могут быть вызваны из Visual Basic или Visual C/C++ программ.

Пакет API "Уровень 1" используют для разработки приложений, к которым не предъявляют требований РВ: приложения интерфейса пользователя, инструменты управляющих программ. С помощью функций API "Уровень 1" возможно:

- наблюдать за значениями переменных в БД РВ;
- создавать такие пользовательские окна в интерфейсе пользователя, которые поддерживают специ-

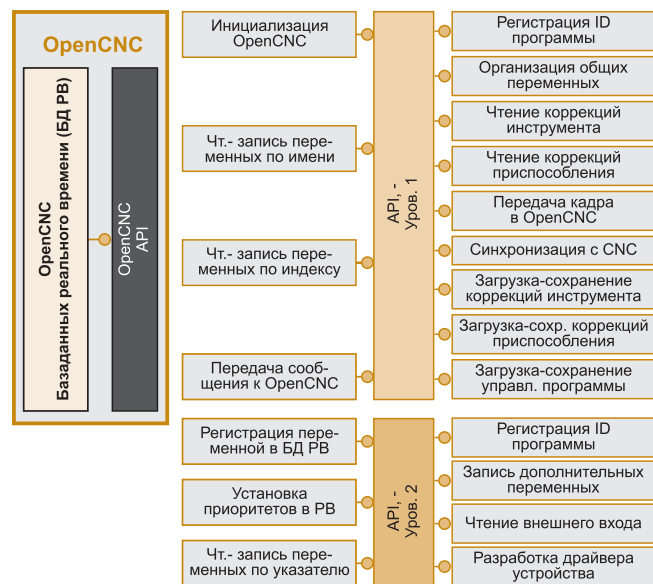


Рис. 3. Система OpenCNC фирмы MSDI

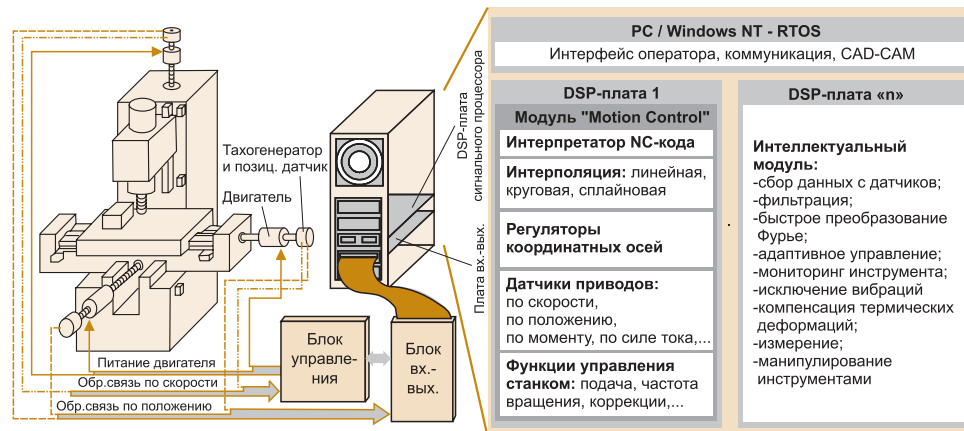


Рис. 4. Система управления формообразованием, выполненная на отдельной плате DSP-Board 1 (Digital Signal Processor Board, плата сигнального процессора)

фическую функциональность, не предусмотренную стандартным интерфейсом OpenCNC;

- добавлять такие переменные в БД РВ системы OpenCNC, которые могут быть использованы специальными окнами интерфейса пользователя или функциями электроавтоматики;

- создавать специальный интерфейс для программирования топологически однородных деталей, который позволяет генерировать управляющую программу после ввода группы параметров для конкретной детали.

Пакет API "Уровень 2" позволяет профессиональным программистам создавать программы жесткого РВ с использованием Microsoft's Visual C/C++. При этом будут учтены требования к быстродействию. Пакет API "Уровень 2" позволяет:

- повысить точность обработки путем создания приложений РВ, ориентированных на компенсацию различного рода погрешностей и деформаций на станке;
- создавать программы РВ, которые будут работать циклически с выбранной частотой.

Открытое ядро ЧПУ

Ядро ЧПУ (<http://www.globalmanufacture.net>) называют по-разному: геометрическая задача [3], подсистема управления формообразованием, SoftCNC, SoftMotion, Motion Control.

До недавнего времени подсистему управления формообразованием строили следующим образом: на шину компьютера устанавливали плату с проблемно-ориентированным процессором, отдельной ОС и соответствующим прикладным программно-математическим обеспечением [4]. Такое решение в отношении подсистемы управления формообразованием было полностью закрытым (рис. 4).

В настоящее время наиболее привлекательными являются открытые системы ЧПУ, подсистемы которой (включая интерфейс оператора, Motion Control и контроллер электроавтоматики SoftPLC) стали полностью программно-реализованными на единой компьютерной Windows-платформе (www.ormec.com). Причина этого состоит в том, что компьютерная индустрия претерпевает существенные улучшения, в среднем, каждые

18 мес. Преимуществами программной реализации подсистемы формообразования объединились с достоинствами цифровых следящих приводов (см. свободно распространяемую книгу "Handbook of AC Servo Systems", www.MotionOnline.com). Для цифровых следящих приводов был разработан интерфейс SERCOS (SErial Real-time COmmunication System), который в настоящее время стал международным стандартом IEC 61491.

Фирма Automation Intelligence, которая является дочерней компанией Sanyo Denki (Япония), разработала подсистему Motion Control, получившую наименование AML (www.MotionOnline.com). Практически неограниченное расширение AML поддерживается мощной инструментальной системой AML Productivity Suite, которая позволяет создавать новые функции и новые приложения Motion Control, а также и интерфейс оператора (рис. 5). Инструментальная система имеет собственный текстовый мультиязычный, событийно-зависимый, объектно-ориентированный язык.

На рис. 6. показана конфигурация системы, построенной на базе AML в сотрудничестве с фирмой Automation Intelligence. Модуль AML управляет 13-ю SERCOS-приводами, имеющими скорость подачи до 100м/мин. Второй компьютер имеет сенсорный экран, поддерживает интерфейс оператора и управляет электроавтоматикой с 200 входами/выходами.

Интерфейс STEP-NC в системах ЧПУ

Другая тенденция в развитии современных систем ЧПУ состоит в создании STEP-NC интерфейса [5]. 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 [6]. Первый прототип появился в Европе в 2000 г. Это была система Siemens 840D, оснащенная интерпретатором STEP-NC и соответствующим интерфейсом пользователя. Другим шагом послужил американский проект Super Model, цель которого состояла в использовании STEP-NC и ряда других стандартов для создания открытой базы всей информации, необходимой для проектирования и производства. В 2000 г. в Корее был инициирован пятилетний проект, задача которого состояла в создании концептуальной модели интеллектуальной STEP-NC-CNC и стратегии создания реальной системы.

Системы ЧПУ, воспринимающие стандарт STEP-NC (ISO 14649), могут относиться к одному из трех типов (рис. 7). Первый базируется на традиционном использовании G-кодов (ISO 6983), т.е. построен на основе обычной системы ЧПУ без каких-либо внутренних изменений. 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 интерпретирует управляющие программы самостоятельно; при этом какие-либо функции искусственного интеллекта отсутствуют. Третий тип является полномасштабным вариантом STEP-NC-CNC, располагающим следующими возможностями:

- интеллектуальные сетевые функции системы ЧПУ, поддерживающие цепочку CAD-CAM-CNC, выполненную на основе модели ISO 14649;
- полная автоматизация цикла от наладки до из-

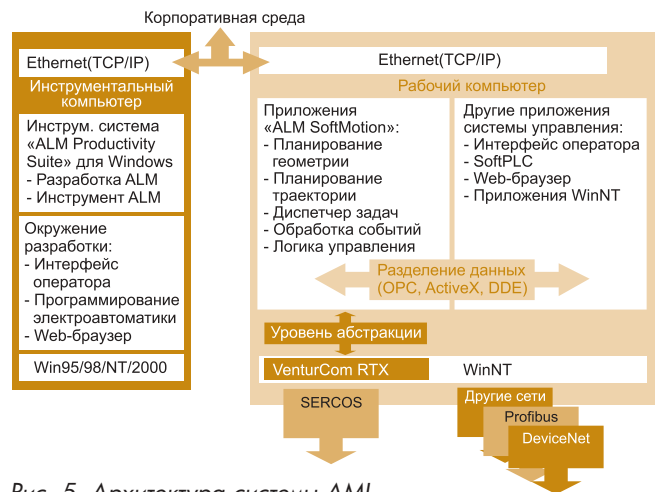


Рис. 5. Архитектура системы AML

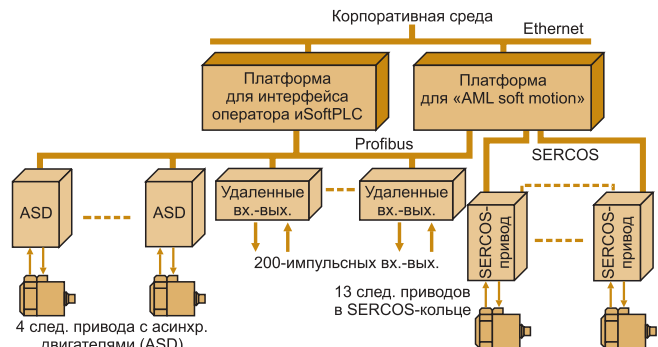


Рис. 6. Конфигурация системы управления на базе AML

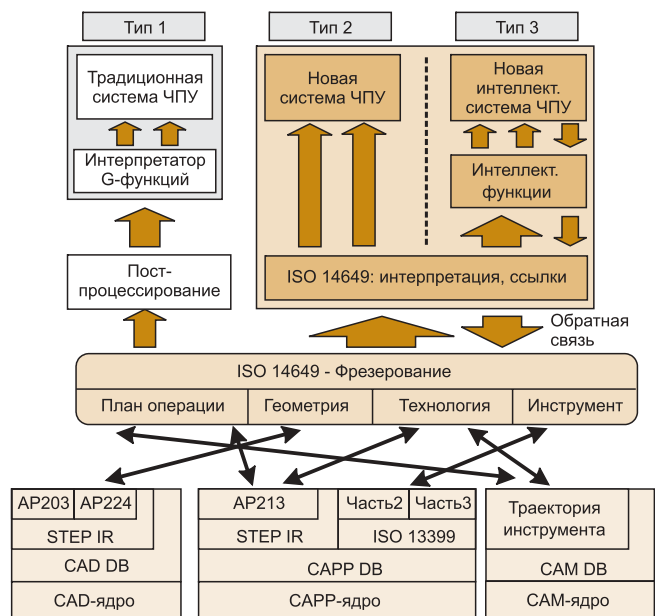


Рис. 7. Три варианта систем ЧПУ, воспринимающих стандарт STEP-NC (ISO 14649), где AP – Application program, прикладная программа стандарта STEP; IR – Integrated resources, интегрированные ресурсы; DB – БД

мерения;

- встроенная система искусственного интеллекта, возможность автономного управления объектом;
- обеспечение высокого качества и оптимизации;
- модульное построение, открытая архитектура.

Как показано на рис. 8, технология STEP-NC не может быть реализована независимо, но должна быть интегрирована с рядом других технологий: STEP-интерфейс; CAD/CAPP/CAM/CAI; автономной работы, традиционных систем CNC; построения открытой архитектуры и др.

STEP-NC является наиболее перспективным интерфейсом для систем ЧПУ. В отличие от ISO 6983 он всеобъемлющим образом описывает задания, составленные на базе типовых обрабатываемых форм "features", и устанавливает связь с вышестоящими системами.

Управляющие программы ISO 14649 содержат самые разнообразные данные. Используя подобные данные, система ЧПУ способна генерировать траектории инструмента соответственно текущей цеховой ситуации; а также самостоятельно составлять планы операции и адекватно реагировать на непредвиденные события. Система располагает функциями, благодаря которым весь процесс от наладки до измерения может быть автоматизирован. Несмотря на то, что системы STEP-NC- CNC молоды, они являются очередным поколением систем ЧПУ с открытой архитектурой. Системы принимают на входе STEP-данные (ISO 14649) и выполняют разнообразные интеллектуальные функции. Как показано на рис. 9, STEP-NC располагает двумя магистралями: первая организует интерфейс между ISO 14649 и функциями CAD/CAPP/CAM; в то время как вторая — про-

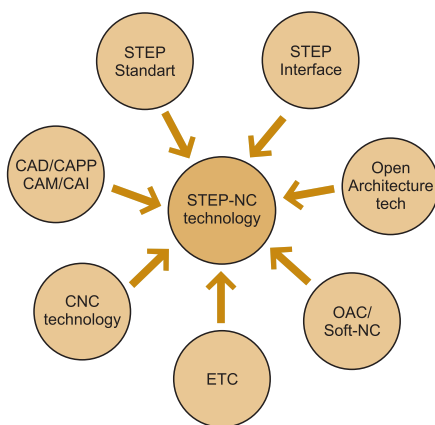


Рис. 8. Интеграция технологии STEP-NC другими технологиями: STEP – стандарт и интерфейс, CAD/CAPP/CAM/CAI (CAI – Computer Assisted Instructions)-технология, технология автономной работы, технология CNC, технология открытых систем ЧПУ OAC/SoftNC (OAC – Open Architecture Control, технология построения открытой архитектуры) и др.

граммно-реализованная — предназначена для коммуникации между модулями внутри системы ЧПУ.

Наибольший интерес представляют системы STEP-NC с явно выстроенным интеллектом. Одна из моделей такой системы построена по типу "мультиагентной" или "холонической" (www.ifm.eng.cam.ac.uk/automation, www.ncst.ernet.in/kbcs/vivek/issues). Модель составлена из планирующего и формообразующего агентов. Первый принимает ответственность за взаимодействие с внешними системами, за разработку плана операции и декомпозицию его на последовательность элементарных задач. Второй воспринимает элементарные задачи и управляет станком в ПВ соответственно управляющим инструкциям. С позиций иерархического подхода формообразующий

агент служит локальным управляющим модулем планирующего объекта, но оба они взаимодействуют при выполнении задания.

В китайском университете Shandong University (www.sdu.edu.cn) была предложена архитектурная концепция ADACOR (Adaptive and Cooperative Control Architecture for Distributed Manufacturing Systems, архитектура открытой адаптивной системы управления для распределенных производственных систем).

"Агентная" архитектура ADACOR состоит из трех модулей: принятия решений, коммуникации, диспетчеризации и локального управления. Кроме того, имеется БД, которая сохраняет актуальную информацию о поведении агента [7].

Соответственно "агентной" структуре ADACOR концептуальная модель интеллектуальной системы STEP-NC-CNC показана на рис. 10. Модель состоит из планирующего агента и формообразующего агента. Формообразующий агент осуществляет локальное управление и диспетчеризацию планирующего агента. Однако он отличается от классического управляющего и супервизорного модуля тем, что привлекает определенный интеллект к выполнению своих операций, и располагает высоким приоритетом при работе в режиме ПВ. Предполагается, что агенты интегрированы через Web, то есть

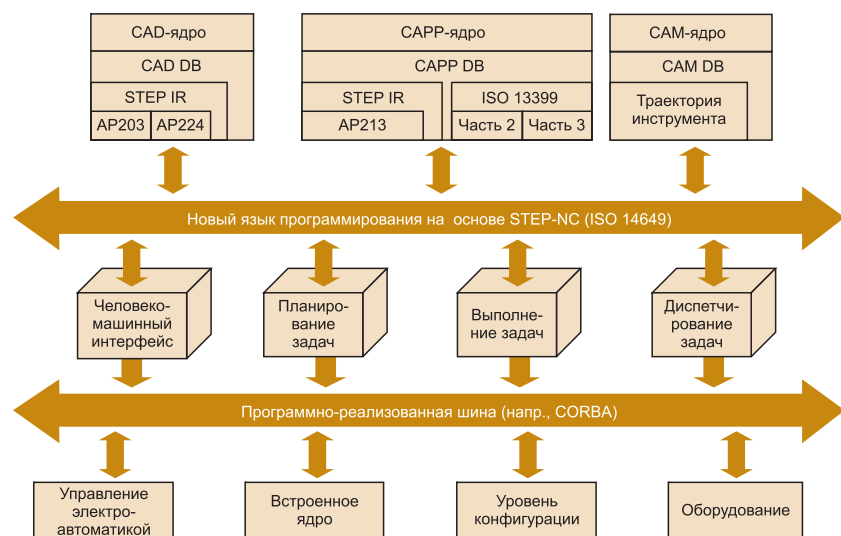


Рис. 9. Система ЧПУ с двумя магистралями: первая организует интерфейс между ISO 14649 и функциями CAD/CAPP/CAM; вторая (программно-реализованная) предназначена для коммуникации между внутренними модулями

имеет место не геометрическая, а логическая интеграция.

Коммуникационный модуль планирующего агента имеет дело с внешними агентами. Планировщик занимается управлением и диспетчированием операций. Модуль принятия решений отвечает за всю интеллектуальную активность в целом. При принятии решений используются знания, сохраняемые в локальной базе; по мере необходимости модуль организует взаимодействие с другими агентами, пытаясь отыскать необходимую информацию или установить диалог относительно задания. Взаимодействие включает диалог (относительно спецификаций изделия и размещения заказа), синхронизацию и мониторинг.

В целом, планирующий агент решает следующие проблемы:

- интерпретация модели данных. После получения STEP-NC файла, агент транслирует его во внутренний формат и наоборот;
- анализ выполнимости задания. После получения такого задания проверяется достаточность ресурсов; затем принимается решение, принять задание или отклонить его. При необходимости устанавливается диалог с источником задания;
- оптимизация плана операции для управляемого станка, включая оптимизацию технологических параметров и последовательность переходов;
- планирование, которое состоит в том, чтобы определить график выполнения каждого перехода;
- управление наладкой, в рамках которого контролируется наладка и зажим детали перед обработкой в РВ;
- декомпозиция ряда переходов таким образом, чтобы они могли быть выполнены в единой последовательности при одной наладке;
- диагностика, которая инициируется в том случае, если наступил отказ, и формообразующий агент не в состоянии справиться с проблемой;
- НМІ, включающий подсистемы цехового программирования и моделирования обработки.

Формообразующий агент управляет станком в РВ и получает информацию о статусе станка. Помимо ядра ЧПУ агент располагает интра-коммуникационным модулем и модулем принятия решений в РВ. Кроме того, агент разделяет БД с планирующим агентом. В дополнение к традиционным функциям ЧПУ, формообразующий модуль выполняет следующие задачи:

- планирование траектории инструмента. После получения элементарного задания, агент планирует траекторию инстру-

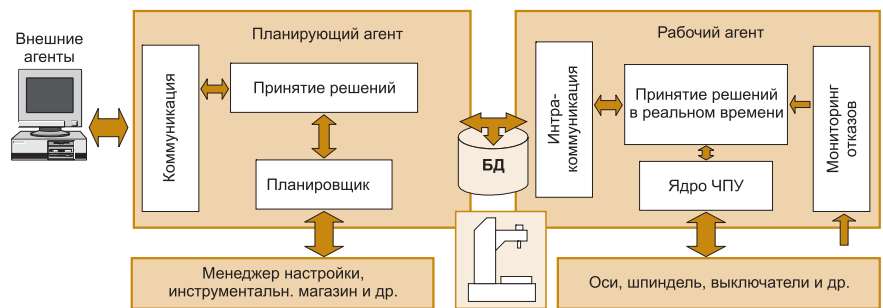


Рис. 10. Концептуальная модель интеллектуальной системы STEP-NC-CNC

мента для этого задания и конвертирует результат в код управления в РВ;

- адаптивное управление. Параметры процесса резания оптимизируются динамически в процессе выполнения операции;
- обработка непредвиденных ситуаций в РВ. Например, при поломке инструмента модуль принятия решений в РВ установит, имеется ли в магазине дублирующий инструмент. Если есть, то будет сформировано дополнительное элементарное задание на смену инструмента и обработка продолжится. В противном случае формообразующий агент обратится к планирующему агенту за помощью. Поток управления в предлагаемой системе STEP-NC-CNC продемонстрирован на рис. 11. Обязанности планирующего агента показаны левее пунктирной линии, а обязанности формообразующего агента представлены правее этой линии. Каждый шаг выполняется одним или несколькими модулями.

Функции планирующего агента:

- интерпретация модели изделия во внутренний формат всякий раз, когда получен STEP-NC файл;
- проверка имеющихся ресурсов и инициирование процесса принятия решений. В рамках процесса устанавливается приемлемость задания, оптимизируется план операции и сохраняется в БД в виде после-

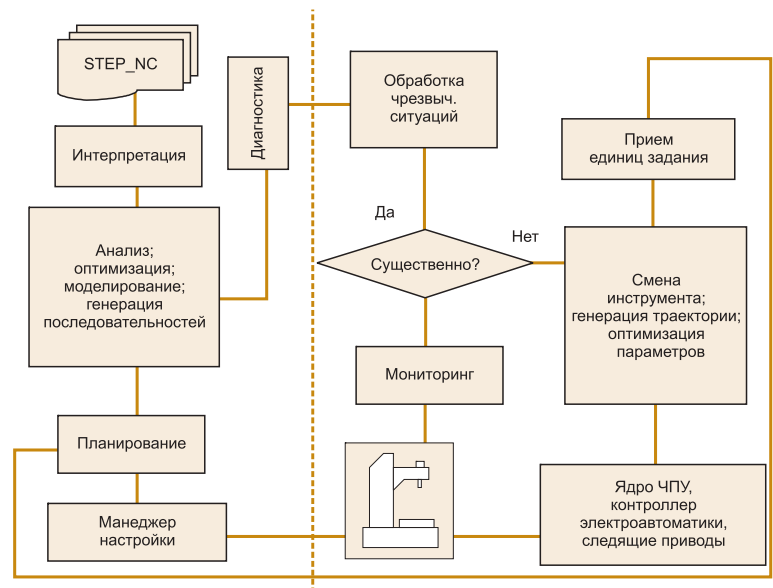


Рис. 11. Поток управления в предлагаемой системе STEP-NC-CNC

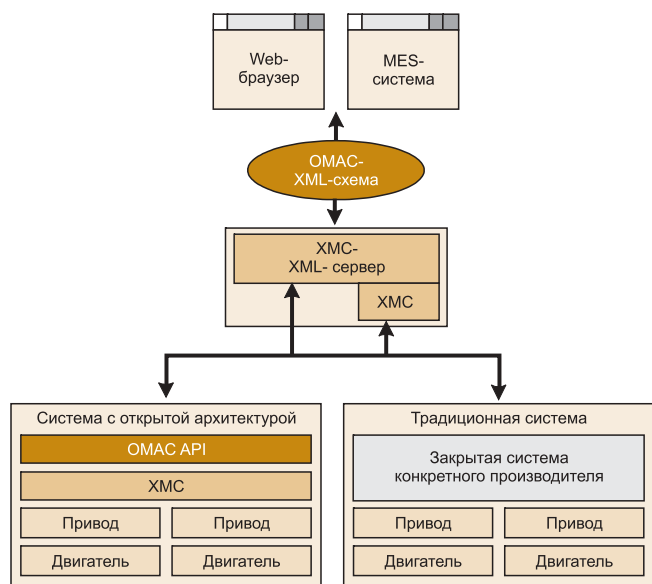


Рис. 12

довательности шагов операции;

- начало работы планировщика.

Для каждой наладки:

- планировщик вызывает менеджера наладки, который возвращает начальные координаты заготовки;
- планировщик запускает цикл обработки. В то же время начинает работать система мониторинга;
- формообразующий агент получает одну из последовательных единиц задания.

Для каждого элементарного задания формообразующий агент:

- проверяет необходимость смены инструмента.

В случае необходимости осуществляются все необходимые действия;

- генерирует траекторию и конвертирует ее параметры в управляющий код;
- передает управляющий код в ядро системы ЧПУ;
- останавливает цикл обработки.

После этого процесс обработки прекращается в ожидании дальнейших инструкций.

Системы ЧПУ с Web-доступом [8]

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

Использование Web-технологий не требует кардинальных изменений в производстве для достижения существенного прогресса. Сегодня создают инструментальные средства взаимодействия "цехового уровня" и гетерогенной информационной бизнес-системы. Архитектура OMAC и предлагаемый ею стандартный интерфейс API (Application

Programming Interface) создают предпосылки для построения унифицированного человеко-машинного доступа к системе ЧПУ.

Несколько лет назад фирма Boeing предприняла инициативу "design anywhere, build anywhere" (проектирование и производство в любом месте). Такие Web-технологии, как XML и ассоциированные схемы (schemas) "поглощают" процессы проектирования и производства, облегчают доступ к проектным и производственным спецификациям в гетерогенных "бизнес" и технологических системах. Стандартный интерфейс API в открытых системах ЧПУ создает базу для подобных технологий. Фирма Roy-G-Biv, используя OMAC API, XML и SOAP, разработала архитектуру системы ЧПУ типа GNC (Generative Numerical Control, интеллектуальная система ЧПУ, другое название — "feature-based") для ОС Windows. Одновременно фирма E-Manufacturing Networks предложила вполне прагматичную альтернативу, в рамках которой технологии OMAC API и XML встроены в традиционную закрытую систему ЧПУ для интеграции в производственное информационное пространство (рис. 12).

Таким образом, в космической индустрии, тяжелой и автомобильной промышленности разрабатывается концепция, согласно которой станок с ЧПУ становится узлом корпоративной Web-сети. Становится ясным, что 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 НМИ. Фирма Roy-G-Biv интегрирует OMAC XML схемы в собственное математическое обеспечение ЧПУ для унификации в пределах домена станков с ЧПУ. Цель состоит в разделении интерфейса НМИ и станка конкретного производителя.

Центральным элементом в этой архитектуре служит программный компонент — Windows-расширение XMC (extension for Motion Control) для каждого 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 от разных производителей. Единственным ограничением служит обязательное использование ОС Windows в интерфейсе оператора.

Фирма E-Manufacturing Networks устанавливает дополнительное оборудование, чтобы сделать традиционные системы ЧПУ открытыми. Многие станки с ЧПУ имеют возраст более 30 лет. Однако, как правило, в радикальных изменениях нет нужды, а существенные улучшения могут быть достигнуты. Фирма E-Manufacturing Networks дооснащает станки с ЧПУ внешним одноплатным компьютером MTIB (Machine Tool Interface Board). При этом E-Manufacturing Networks разработала для своих MTIB OMAC XML схемы, создающие метод доступа.

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. XML используется для распространения информации в пределах и за пределами предприятия.

Выводы

Современная система ЧПУ представляет собой хорошо организованный управляющий комплекс со всеми существующими стандартными интерфейсами для организации любых внешних связей. Система открыта (в том числе и на уровне ядра) и непрерывно эволюционирует у производителя и конечного пользователя. Она не имеет нестандартной аппаратуры и полностью программно реализована. Наиболее продвинутые системы ЧПУ располагают STEP-NC интерфейсом согласно стандарту ISO-14649 и включают функции искусственного интеллекта. Интерес представляет новая ветвь систем ЧПУ с явно выстроенным интеллектом, например, "агентные колонические системы". Наконец, абсолютно нормальным становится построение систем ЧПУ с Web-доступом.

Сосонкин Владимир Лазаревич — д-р техн. наук, проф., Мартинов Георги Мартинов — д-р техн. наук, доцент Московского государственного технологического университета "СТАНКИН".

Контактный телефон (095) 972-94-40, факс 972-18-73.

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Ю.Р. Владов (ОГУ)

Рассматривается оценка эффективности функционирования промышленных объектов (ПрО) при аналитической идентификации их технического состояния (ТС). Выделены три наиболее важные характеристики эффективности функционирования ПрО: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и производительность. Для каждой характеристики построены две модели: обычное функционирование и функционирование при периодической идентификации ТС ПрО (методология последней основана на агрегированном подходе). Решается проблема выбора оптимального графика диагностики ПрО при эксплуатации. Теоретические положения предложенной методологии проиллюстрированы на примере обследования трубопровода.

Промышленные объекты (ПрО) в течение всего срока службы испытывают значительные внутренние напряжения, близкие к нормативным характеристикам прочности металла. Поэтому даже небольшие отклонения действительных условий от расчетных приводят объект в предельное состояние. Следовательно, использование моделей, учитывающих реальное техническое состояние (ТС) на протяжении всего периода эксплуатации ПрО, повышает их устойчивость и безотказность.

Наиболее информативным комплексным показателем работоспособности ПрО является эффективность функционирования, расчет которой затруднен в связи с ее сложностью и отсутствием методик учета идентификации ТС на основе агрегированных параметров и моделей. В общем случае эффективность $W(t)$ ПрО находится в виде аддитивной модели, представляющей сумму произведений коэффициентов весомости α_i и соответствующих безразмерных частных характеристик эффективности ПрО.

Учитывая стационарность ПрО, выделим три наиболее важные характеристики эффективности его функционирования: надежность функционирования, стоимость эксплуатации и производительность. Для каждой характеристики будем рассматривать две модели: обычное функционирование и функционирование при периодической идентификации ТС ПрО. Определяющим фактором эффективности любого ПрО является надежность функционирования — объективное свойство сохранять потенциальную способность выполнения предусмотренных функций в заданных условиях в течение требуемого промежутка времени, которое определяется системой объективных критериев, обуславливающих нормативную работоспособность в режиме активного воздействия эксплуатационных факторов и окружающей среды. Для обеспечения надежности функционирования ПрО в эксплуатационный период нужны мероприятия, обеспечивающие предупреждение отказов, а не