

АДАПТИВНЫЕ, ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ЧПУ FlexNC

А.П. Рыбалко, С.А. Рыбалко (ООО "Станкоцентр")

Представлены архитектурные особенности и функциональные возможности системы ЧПУ (СЧПУ) FlexNC, разработанной ООО "Станкоцентр" (Москва). Показано, что базовый комплект аппаратных и программных средств СЧПУ FlexNC за счет адаптивных алгоритмов и других уникальных возможностей позволяет адаптировать систему для различных применений и существенно оптимизировать ТП, улучшив качество продукции и сократив себестоимость, включая увеличение скорости обработки детали, значительное сокращение расходов на инструмент и уменьшение времени простоев оборудования. СЧПУ может быть интегрирована в комплексную систему управления предприятием.

Ключевые слова: система ЧПУ, модульность, адаптивное управление, контур управления, контроллер движения, однопроцессорная архитектура, DSP процессор, диагностика, интеграция, цифровая обработка сигналов.

Система управления технологическим оборудованием — это единичный или мелкосерийный продукт, но за счет массового производства ее отдельных компонентов возможно получить качество и себестоимость, близкие к изделиям массового производства, а также достигнуть унификации аппаратного и программного обеспечения, включая пользовательский интерфейс, что значительно удешевляет и ускоряет внедрение и обслуживание системы управления. Таким образом, система становится более массовой, если разделить ее на функционально законченные части и унифицировать каждую из них (компьютер, контроллер движения, различные периферийные устройства, ПО), сделать каждый блок открытым для взаимодействия с продукцией различных разработчиков оборудования и ПО.

Применение принципа модульности при проектировании СЧПУ является сегодня большим шагом вперед, тогда как, например, в области компьютеростроения эта технология уже давно и успешно применяется. Все, что быстро изнашивается и морально стареет, необходимо сделать стандартным и легко доступным с возможностью быстрой замены. Для СЧПУ на верхнем уровне это ПК, монитор (возможно, сенсорный), клавиатура и другие периферийные устройства, на уровне электрооборудования станка это электродвигатели.

Принцип модульности используется разработчиками отечественной СЧПУ FlexNC (ООО "Станкоцентр", Москва). На верхнем уровне в СЧПУ FlexNC применяется ПК, задачей которого является обеспечение системы стандартными интерфейсами: аппаратным, программным и пользовательским. Стандартный аппаратный интерфейс позволяет использовать совместимые с ПК периферийные устройства в СЧПУ с целью ее расширения и модернизации. Кроме того, достигается независимость потребителя СЧПУ от ее производителя. Стандартный программный интерфейс позволяет дополнять специализированное ПО станка сервисными программами, написанными для ПК. Стандартный пользовательский интерфейс позволяет оператору, владеющему ПК, быстро освоить работу с СЧПУ, так как здесь используется ОС Windows.

Основу СЧПУ FlexNC составляет контроллер движения, базирующийся на DSP процессоре фирмы Motorola, в котором реализовано три контура управ-

ления: тока и скорости (функция управления приводом), слежения по положению (функция ЧПУ). Процессор контроллера движения позволяет реализовывать функциональность следующих устройств: ЧПУ, контроллера электроавтоматики, управляющего устройства цифровыми электроприводами (векторное управление, контур тока, контур скорости и другие расчеты, касающиеся управления двигателями).

Реализация в СЧПУ функциональности трех устройств на одном процессоре дает ряд преимуществ:

- упрощает обмен данными между этими устройствами, что позволяет использовать новые алгоритмы для управления и диагностики станка и ТП;
- характеризуется компактностью и повышенной надежностью благодаря уменьшению аппаратной составляющей и реальных связей между устройствами, которые осуществляются на программном уровне;
- позволяет управлять практически всеми известными видами электродвигателей (постоянными и переменного тока, синхронными и асинхронными, а также линейными двигателями).

Объединение трех контуров управления и контроллера электроавтоматики на одном процессоре позволяют увеличить скорости управления внутри системы на порядок и реализовать адаптивные алгоритмы управления, что невозможно реализовать при другой архитектуре ЧПУ. Основным параметром, который СЧПУ должна удерживать в стабильном состоянии, является отклонение от траектории движения. Благодаря предложенной однопроцессорной архитектуре контроллера движения становится возможным компенсировать погрешности ходового винта и обмоток электрического двигателя, осевое и радиальное биение ротора, изменение напряжения питания, неравномерность припуска изделия, износ инструмента и т.д. Любые компенсации реализуются за счет быстрого изменения тока в силовых транзисторах, что позволяет применять электродвигатели общемашиностроительного неспециального исполнения. При этом диапазон регулирования можно получить не хуже 100 тыс. Кроме того, векторное управление асинхронными электродвигателями позволяет увеличивать обороты ротора электродвигателя выше номинальных в три раза при работе с ослаблением поля, поэтому асинхронные электродвигатели также можно использовать для шпинделя. Таким образом, все двига-

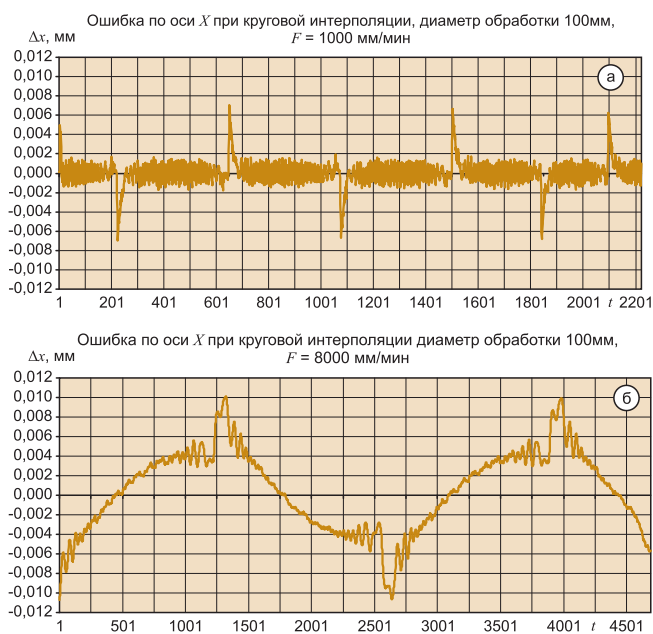


Рис. 1

тели на станке могут быть асинхронными, что значительно облегчает и удешевляет комплектование и обслуживаемые системы.

На станках с электроприводами Flex Power возможна замена электродвигателей на вентильные без замены электроприводов, требуется только настройка соответствующих программных параметров в контроллере движения. То есть при производстве и модернизации возможна унификация по двигателям подачи и шпинделя, а также по электроприводу, который может использоваться как для синхронных, так и для асинхронных двигателей, причем при замене электроприводов изменять настройки не требуется, так как они расположены в контроллере движения.

Эксперименты показали, что применение асинхронных электродвигателей даже на прецизионных станках позволяет повысить рабочие скорости подачи на порядок и значительно повысить точность при движении по траектории на больших подачах. На рис. 1 (а, б) показано отклонение от траектории при движении по окружности с круговой интерполяцией при диаметре обработки 100 мм на станке 24K40CF4 со скоростью подачи 1 и 8 м/мин.

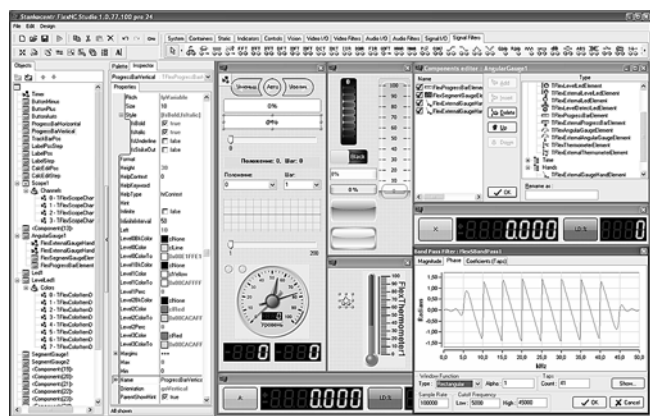


Рис. 3. Экран ПО FlexNC Studio

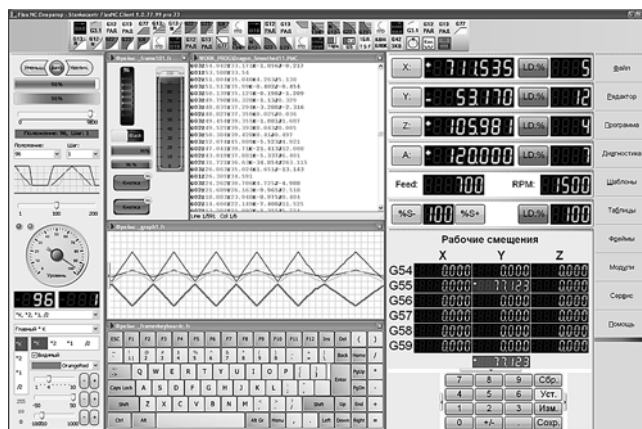


Рис. 2. Экран ПО FlexNC Client

Максимальное отклонение при этом составляет около 10 мкм, характер ошибки очень стабильный. Это позволяет ввести дополнительную коррекцию и значительно уменьшить значение ошибки. Таким образом, механика, которая была разработана много лет назад и не рассчитывалась на рабочие скорости, характерные для современных СЧПУ, может использоваться на производстве, при этом скорость и точность обработки изделия увеличиваются на порядок. Для достижения указанного результата требуется подобрать динамическую модель механики каждой координаты и хорошо параметризовать ее (более 60 параметров). Также следует учитывать конструктивные и технологические особенности изготовления составных частей каждой координаты. При этом имеется возможность учитывать нелинейные параметры (люфты, трение, неравномерность момента в пределах оборота и ТП), что позволяет осуществлять оптимальное управление с минимальными затратами энергии. Кроме того, в системе применяется режим просмотра кадров вперед (look-ahead), что позволяет еще больше увеличить скорость прохода по траектории.

Программное обеспечение системы FlexNC (рис. 2) характеризуется гибкостью, многофункциональностью, перенастраиваемостью и перепрограммируемостью. Оно имеет распределенную структуру: клиенты взаимодействуют по внешней или локальной сети с сервером, взаимодействующим с контроллером. Такая архитектура помимо функциональных преимуществ обуславливает высокую надежность системы. ПО системы управления реализовано на языке программирования C++, являющемся международным стандартом ISO/IEC, с использованием современных технологий COM, DCOM, DirectX и поддержкой ОС Windows 2000/XP/Vista/7 и Linux.

Для создания и изменения графического интерфейса пользователя системы управления и манипуляций с алгоритмами захвата, обработки и сохранения акустических и видеосигналов и сигналов из контроллера движения и датчиков разработан программный комплекс FlexNC Studio (рис. 3), который содержит большое число высококачественных настраиваемых визуальных, не визуальных и мультимедийных компонентов (более 300 ед.), позволяет комбинировать их друг с другом и интегрировать в интерфейс системы. Несмотря на то, что

система FlexNC Studio разрабатывалась как часть СЧПУ FlexNC, в ее основу изначально был заложен принцип универсальности и простоты ее использования. Таким образом, FlexNC Studio подходит для быстрого создания других систем, где востребованы функции сбора, анализа и обработки, отображения, сохранения данных с датчиков, микрофонов, видеокамер, где требуется построение современных пользовательских интерфейсов и переконфигурирование системы конечным пользователем. СЧПУ FlexNC может быть полезной для различных систем управления, диагностики, сбора и обработки данных, систем типа "умный дом", охранных систем и др. FlexNC Studio для этих задач предоставляет необходимые возможности программирования, необходимую компонентную и функциональную базу.

Ключевыми компонентами для организации графического пользовательского интерфейса во FlexNC Studio являются фреймы. Они служат контейнерами для других компонентов, включая другие фреймы. Фреймы могут загружаться/выгружаться, показываться/скрываться во время работы системы, что позволяет динамически изменять интерфейс пользователя в зависимости от текущего режима работы. Помимо фреймов существуют другие контейнерные и специальные составные компоненты, которые также могут содержать другие компоненты и фреймы, поэтому возможно создание довольно сложных пользовательских интерфейсов.

Для удобства использования компоненты разбиты на группы, которые могут быть переопределены пользователями системы в зависимости от их предпочтений. В системе присутствуют все стандартные компоненты: различные кнопки, переключатели, списки, ползунки, индикаторы прогресса, полосы прокрутки, панели, меню. Предусмотрены компоненты для отображения изображений с возможностью их динамической смены, надписи, различные индикаторы, графики, виртуальная компьютерная клавиатура, удобная для работы с сенсорным монитором, компонент для встраивания Adobe Flex/Flash, для работы с БД, таймеры и др. В систему включен богатый набор компонентов для захвата, обработки, отображения и записи потоков данных (сигналов), включая данные с датчиков, аудио- и видеоданные (например, акустические данные с микрофонов и видео с камер, включая Web-камеры), компоненты распознавания образов, детекции движения, искусственного интеллекта и др. Возможно добавлять свои компоненты обработки данных. Компоненты для манипуляций с потоками данных можно соединять друг с другом графически, что очень удобно для быстрой обработки данных.

Компоненты характеризуются набором свойств, которые можно изменять с помощью удобного и мощного редактора свойств. Язык формул позволяет привязать свойства объектов к любым переменным, включая переменные контроллера движения. Также в систему встроены компиляторы языков Pascal, Basic, JavaScript, что дает еще большую гибкость системе.

К вопросу о своевременности применения систем ЧПУ: каждый и имеет право на ошибку, но не каждому позволено вовремя заметить ее.

Ремейк по фразе Юзефа Йотем

Компоненты рассчитаны на использование с различными устройствами ввода: сенсорным экраном, мышью, клавиатурой, радиопультотом.

Компоненты для сбора, обработки и записи сигналов, включая сигналы с датчиков ускорения и температуры, а также акустические сигналы, используются для создания алгоритмов диагностики процесса обработки детали и контроля состояния инструмента и технологического оборудования. Используя компоненты сбора и обработки данных и графическое программирование, можно сохранять необходимые данные на сервере, обрабатывать и фильтровать их, применяя настраиваемые фильтры различного порядка, преобразования Фурье и др., использовать в алгоритмах адаптивного управления, выводить на монитор оператора в РВ, передавать по сетям, включая Internet, на разные уровни управления предприятием для дальнейшей обработки. Таким образом, подразделения завода могут в РВ следить за ходом ТП и состоянием оборудования, удаленно производить обслуживание последнего.

Используя сохраненную информацию процесса обработки детали, всегда можно восстановить историю ее изготовления: на каких режимах, по какой программе, кем, какими инструментами обрабатывалась заготовка, какие были нагрузки по всем координатам и на шпинделе во время обработки. Доступ к этим данным имеют различные службы предприятия. Отдел главного механика может отслеживать фактическое состояние станка, что значительно повышает качество обслуживания, уменьшает простой оборудования и численность необходимого обслуживающего персонала, ускоряет нахождение неисправностей, и главное — заранее предупреждает о возможных проблемах.

Технологи могут отслеживать процесс обработки и принимать решение об оптимизации производственного процесса по разным параметрам: точности и времени обработки, стойкости инструмента и др. [1] Система позволяет в автоматическом режиме определить оптимальные режимы согласно заданным параметрам оптимизации. В результате последующая обработка деталей осуществляется по автоматически выбранным оптимальным режимам.

В современных СЧПУ практически не применяется динамическая диагностика. В противоположность этому FlexNC позволяет производить контроль и диагностику процесса обработки в режиме РВ [2, 3]. Особенно эффективен такой способ диагностики при определении текущей величины момента на инструменте. Из-за трудностей регистрации момента для вращающегося инструмента в СЧПУ при диагностике этот параметр практически не применяется в качестве диагностического и контрольного, тогда как он очень информативен для оценки силового нагружения станка.

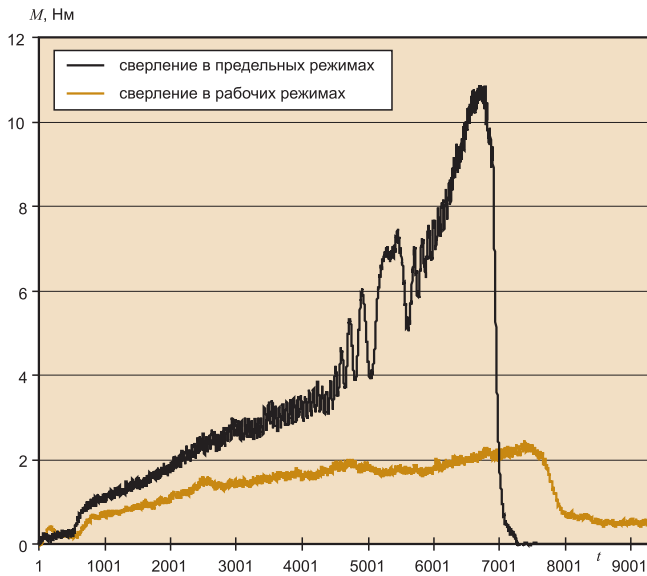


Рис. 4. Крутящий момент на шпинделе при сверлении в нормальных и предельных режимах

Значительный эффект дает применение непрерывной диагностики обработки в режиме РВ при обработке прерывистых деталей и деталей с переменным припуском при черновых операциях. В этом случае контроль за изменениями нагрузки позволяет своевременно изменять режимы обработки изделия для предотвращения поломок инструмента в соответствии с предельными параметрами [4]. Для этого в СЧПУ FlexNC предусмотрены наборы функций для обработки результатов измерений: вибраций, звука, видео (контроль износа инст-

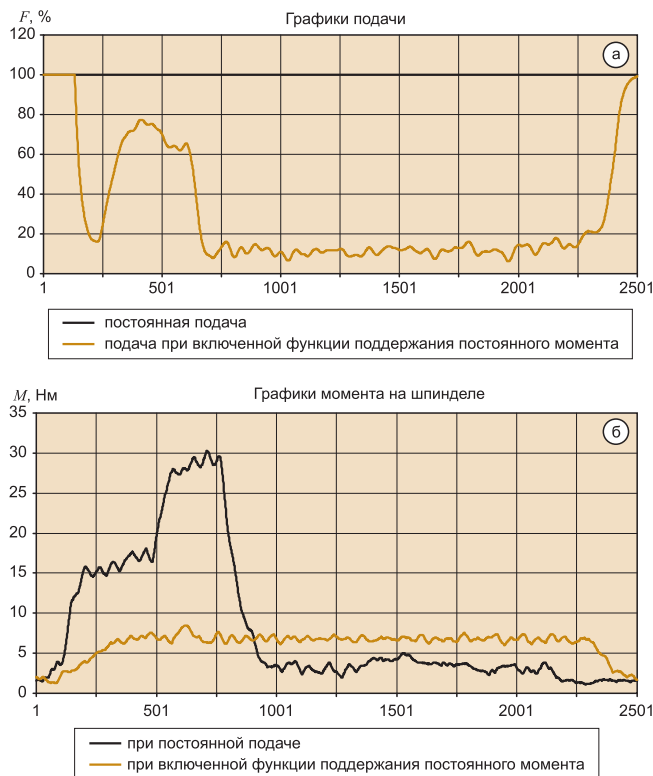


Рис. 6. Фрезерование ступенчатой детали с постоянной подачей и постоянным крутящим моментом: а) графики подачи; б) графики крутящего момента

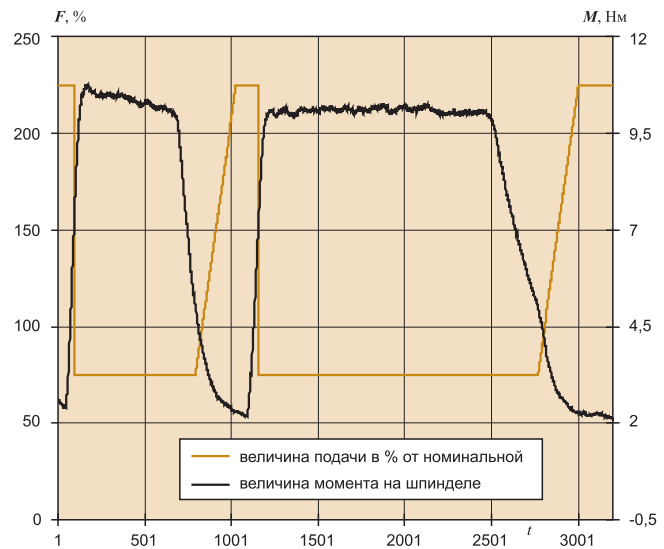


Рис. 5. Адаптивное изменение подачи при поддержании постоянного момента на шпинделе в момент прохождения фрезы через паз

румента), а также алгоритмы адаптивного управления. Таким образом, технологическое оборудование может осуществлять выбор оптимальных режимов обработки, меняя их в зависимости от состояния инструмента и станка, свойств материала, формы заготовки и поддерживать их на определенном уровне, постоянно в РВ следя за изменяющимися параметрами.

В отличие от традиционных СЧПУ, предназначенных в основном для управления и не имеющих возможности собирать и обрабатывать большие массивы данных, все блоки СЧПУ FlexNC имеют доступ к любым переменным и сигналам системы управления, электропривода и контроллера электроавтоматики, определяющих их состояние. Это позволяет собирать информацию о техническом состоянии оборудования и о ходе процесса резания, обрабатывать и анализировать ее, по результатам изменять программу и параметры обработки (скорость подачи, обороты шпинделя), а в некоторых случаях — останавливать процесс обработки для предотвращения прогнозируемой поломки инструмента, что является очень важным моментом, учитывая высокую стоимость заготовки и инструмента [5].

На рис. 4 приведены измеренные крутящие моменты для двух режимов резания. На первом графике приведен момент при нормальных режимах, на втором — при резании на режимах, превышающих допустимые. Во втором случае происходит интенсивный износ и поломка инструмента. При включении функции ограничения момента автоматически происходит изменение подачи, и поломка инструмента предотвращается.

На рис. 5 приведены графики изменения подачи при поддержании постоянного момента на шпинделе при прохождении фрезы через паз. Скорость при прохождении паза увеличивается в 4,5 раза. В программе задано поддержание крутящего момента на шпинделе в пределах 10% от номинального, что является предельным для фрезы диаметром 6 мм. Автоматическое поддержание

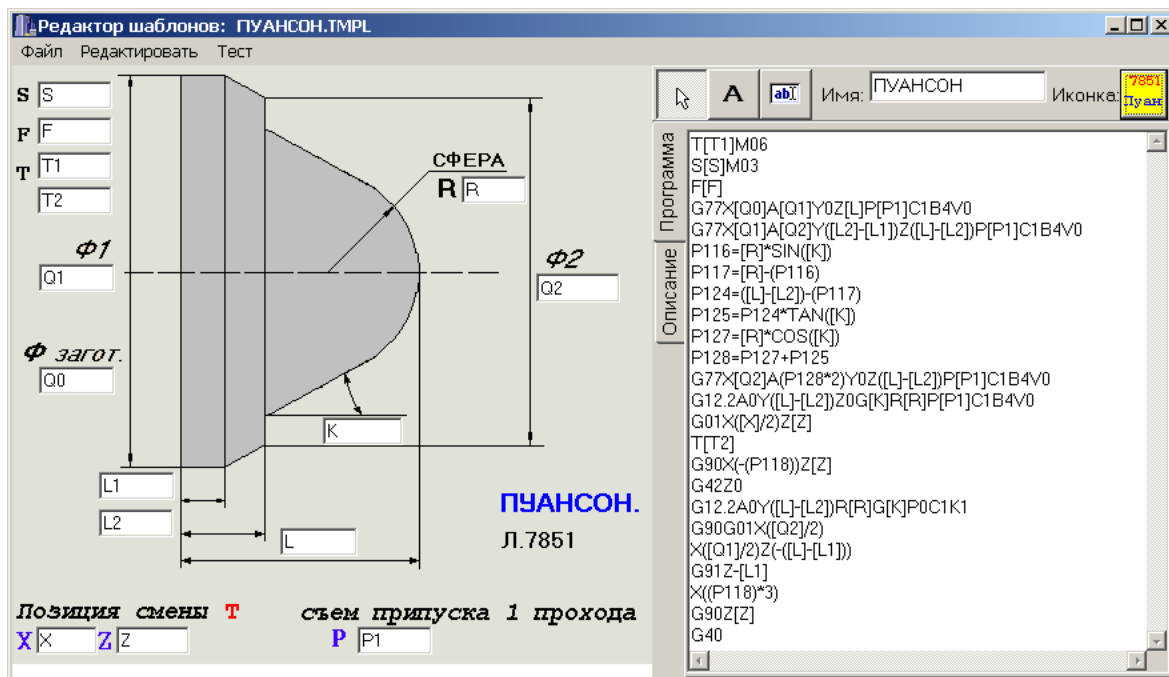


Рис. 7. Создание шаблона технологической программы типовой детали в параметрическом виде

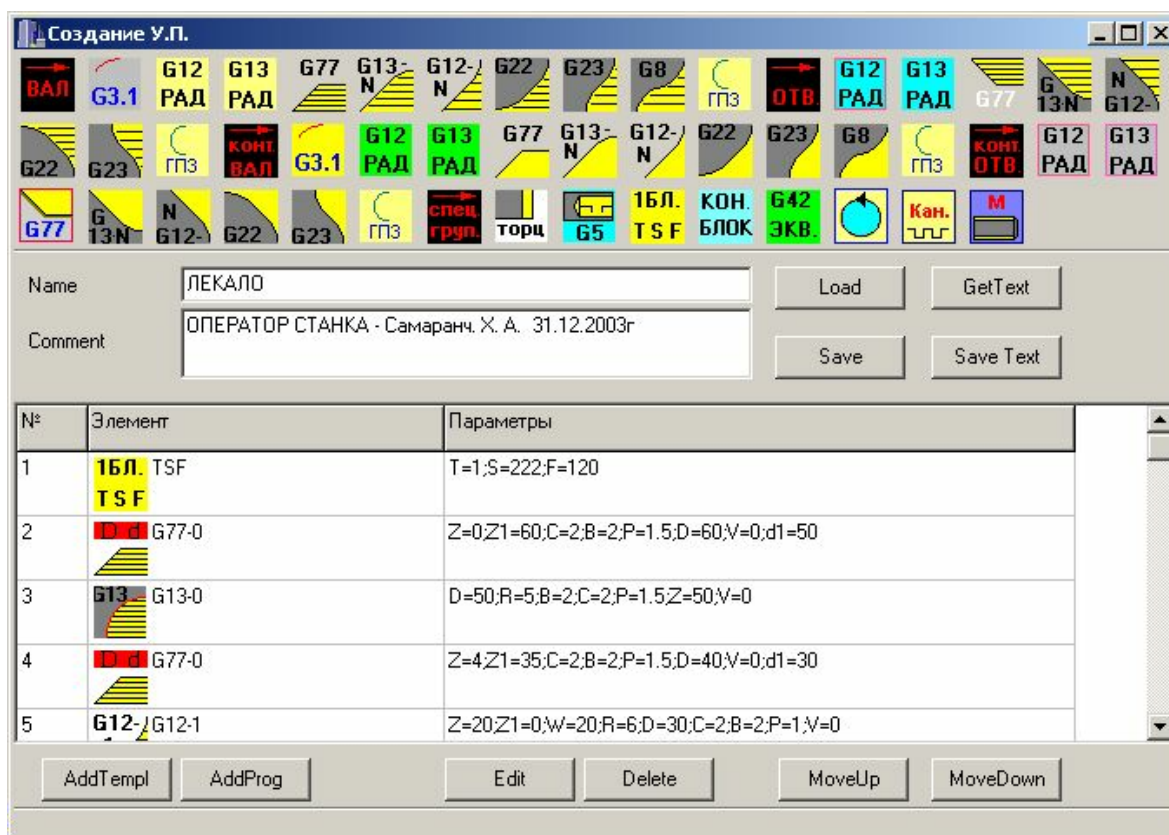


Рис. 8. Разработка управляющей программы с использованием стандартных шаблонов

ной системой на каждом станке, обеспечив идентификацию каждой детали, автоматический контроль всего жизненного цикла продукции с фиксацией всех параметров и режимов обработки изделия, параметров технологического оборудования и инструмента, автоматическую обработку информации;

- интегрировать СЧПУ с локальными и глобальными системами управления производством;
- расширять и изменять необходимый пользователю объем аппаратного и программного обеспечения;
- использовать асинхронные и вентильные приводные электродвигатели с одним и тем же электроприводом, изменяя только модель управления;
- проводить ремонт или модернизацию системы управления оперативно и самостоятельно за счёт использования стандартных компьютерных комплектующих и ПО;
- получить низкую цену координатной оси, особенно при использовании комплекта в составе: система управления, электроприводы, асинхронные электродвигатели;
- обеспечить удаленный доступ к СЧПУ, что в свою очередь обеспечивает поддержку CALS технологий;
- использовать в качестве управляющих программы, сгенерированные на известных САМ приложениях отечественных или зарубежных разработчиков;
- проводить интеграцию, контроль и диагностику на уровне цеха, включая:
 - диагностику технического состояния технологического оборудования (люфты в ШВП, состояние подшипников и шестерен);
 - адаптацию системы управления к изменяемым условиям производства (изменение параметров и свойств заготовок изделий, изменение состояния технологического оборудования и т.д.);
 - идентификацию всех изготавливаемых изделий и инструментов, контроль и протоколирование необходимых параметров и режимов обработки каждого изделия;
 - оптимизацию технологических операций;
 - определение состояния и степени износа, анализ стойкости инструмента, предупреждение об износе и повреждении инструмента, а также при неправильном закреплении инструмента и при попадании стружки в конус в момент смены инструмента (неравномерность момента за один оборот инструмента);
 - контроль заточки вращающегося инструмента (по моменту за оборот инструмента);
 - автоматическое определение оптимальных режимов обработки;
 - контроль и оптимизацию припуска обрабатываемых деталей, поступающих с предыдущих операций;
 - возможность применения алгоритмов самообучения системы, позволяющих производить настройку оборудования в автоматическом режиме;

- производить на уровне отделов завода: анализ состояния производственного оборудования, полный технологический контроль изготавливаемых изделий, определение узких мест в производстве, связь с другими системами, применяемыми на заводе;

- производить на уровне руководства завода: полный контроль состояния оборудования, оперативный контроль производства, прогнозирование ситуации положения на заводе, планирование производства.

Базовый комплект аппаратных и программных средств СЧПУ FlexNC позволяет адаптировать систему для различных применений, причем комплекс может развиваться и совершенствоваться, не только увеличивая программно-аппаратную номенклатуру технологического оборудования, но и постепенно переходя вверх на новый уровень интеграции, учитывая интенсивный рост сетевых и информационных технологий. Любое производство должно постоянно обновляться и совершенствоваться, оно находится в непрерывном движении. Поэтому внедрение новой техники и модернизация предприятия должны быть комплексными, затрагивая все службы и отделы предприятия. Внедряя систему, которая может модернизироваться и трансформироваться, заказчик в дальнейшем будет иметь возможность развития своего производства.

В настоящее время СЧПУ FlexNC применяется на серийных станках Савеловского машиностроительного завода (ОАО "СМЗ", г. Кимры, Тверская обл.), а также поставляется заказчикам для модернизации оборудования. Для заказа доступны высоконадежные электроприводы Flex Power мощностью 2...100 кВт, адаптированные для электросетей России, разработанные и производимые ООО "Станкоцентр" (Москва). СЧПУ FlexNC и электроприводы Flex Power также производятся ОАО "СМЗ" (г. Кимры, Тверская обл.).

ООО "Станкоцентр" сотрудничает с другими предприятиями и учебными заведениями в области совместных исследований и поставки оборудования. В настоящее время система ЧПУ FlexNC используется крупнейшими предприятиями и несколькими университетами России.

Список литературы

1. Солод В.И., Глушко В.В., Бутузов В.С. Унифицированные системы автоматического управления резанием. М.: Машиностроение. 1975.
2. Лурье Б.Я., Энрайт П.Дж. Классические методы автоматического управления / Под ред. А.А. Ланнэ. СПб.: БХВ-Петербург. 2004.
3. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение. 1967.
4. Айфичер Э.С., Джервис Б.У. Цифровая обработка сигналов: практический подход. М.: Издательский дом "Вильямс". 2004.
5. Кедров С.С. Колебания металлорежущих станков. М.: Машиностроение. 1978.

*Рыбалко Анатолий Петрович — канд. техн. наук, генеральный директор,
Рыбалко Сергей Анатольевич — начальник отдела ИТ ООО "Станкоцентр".*

Контактные телефоны: (499) 171-53-51, (916) 353-63-63. E-mail: stanki@stanki.com <http://www.cnc.ru> www.flexnc.ru