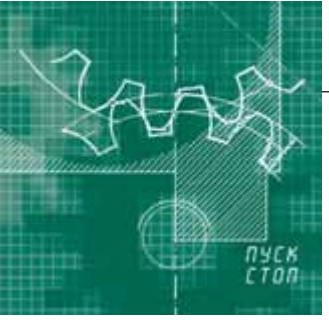

Модернизация станков с ЧПУ: семь практических советов

Сергей Емельянов

В статье даны практические советы по модернизации станков с ЧПУ. Приведены примеры из опыта модернизации. Проанализированы наиболее распространённые ошибки, приводящие к снижению эффективности модернизации станков с ЧПУ, проиллюстрированы некоторые последствия не до конца продуманных технических решений. Рассмотрены вопросы подключения оборудования с программным управлением к системам автоматизированного проектирования.

Введение

В предыдущей статье [1] были представлены структура и особенности системы числового программного управления (ЧПУ) «ДиаНа-CNC» и показаны примеры использования системы для модернизации станков различных типов. Статья вызвала большой интерес и огромное число вопросов. Не имея возможности ответить персонально на все вопросы, автор провел их системный анализ, обобщил практический опыт и предлагает вниманию читателей новую статью, призванную в определенной степени формализовать процедуру выбора наиболее эффективного плана модернизации парка систем ЧПУ.

Глубоко вникнув в проблему эксплуатации систем ЧПУ, можно сделать неутешительный вывод, что даже на самых передовых отечественных предприятиях (атомная энергетика, авиационное и космическое машиностроение) решение её находится на уровне 70-80-х годов прошлого века.

Чтобы не быть голословным, приведу пример из производственной практики предприятия, входящего в первую сотню самых передовых по уровню технической оснащённости.

При анализе материала, изложенного в примере, рекомендую читателям «держать в голове» следующие общеизвестные истины:

- основной задачей автоматизации вообще и внедрения систем ЧПУ в частности является максимальное исключение влияния субъективных факторов на конечный результат;
- главной производственной задачей промышленного предприятия является выпуск продукции, максимально точно соответствующей требованиям технической документации.

Итак, предприятию был передан комплект технической документации (фрагмент представлен на рис. 1а) вместе с управляющей программой, обеспечивающей обработку нужного контура на токарном станке, и картой проверки (рис. 1б). Следует обратить внимание читателей на тот факт, что карта проверки была разработана с учётом особенностей конкретной управляющей программы (в частности, не была предусмотрена проверка остроты кромок, поскольку её безусловно обеспечивал алгоритм управляющей программы).

В процессе изготовления у оператора возникли проблемы со сдачей продукции ОТК. Дело в том, что образующиеся при обработке контура заусенцы препятствовали нормальному ходу проходной шайбы. Поскольку на предприятии доступ к управляющей программе со-

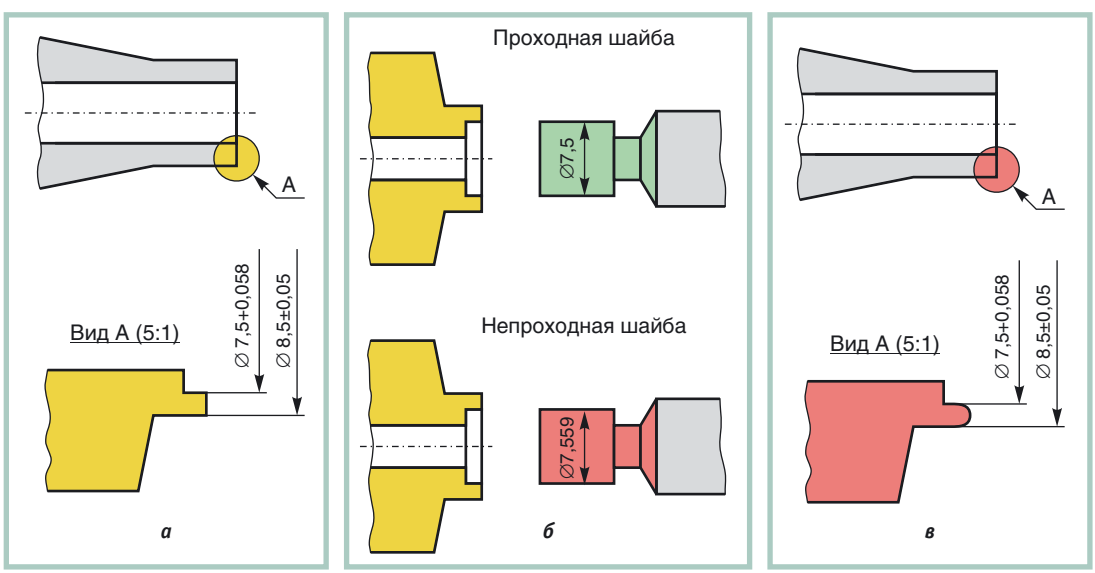

Рис. 1. Метаморфозы продукции:
а — оригинальный чертёж, б — карта проверки, в — результат недобросовестного вмешательства

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

вершенно свободный и нет никакого контроля за соответствием кода управляющей программы оригинальному коду, оператор решил самостоятельно изменить управляющую программу таким образом, чтобы резец делал дополнительный проход, удаляя при этом заусенцы. Так как изменения были проведены без консультаций с разработчиком, в условиях цеха, которые значительно отличаются от лабораторных условий, и человеком, мягко говоря, недостаточно обученным программированию, в управляющую программу была внесена серьезная ошибка, существенно изменившая контур обработки (рис. 1в). Нетрудно заметить, что предусмотренная карта проверки не выявила этого нарушения технологического процесса.

В результате заусенцы удалось удалить (и не только заусенцы), оператор свою проблему решил, а предприятие стало выпускать (и, возможно, выпускает до сих пор) продукцию, не соответствующую требованиям технической документации.

Для полноты картины следует сказать, что продукция представляет собой переходник, используемый в стержнях атомных реакторов, а острые кромки по замыслу разработчиков должны обеспечивать надёжность при сварке переходника с основной частью стержня.

Далее приводятся семь практических советов, которые позволят провести такую модернизацию парка систем ЧПУ, при которой можно не только исключить саму возможность возникновения подобных ситуаций, но и многократно повысить эффективность эксплуатации станков с программным управлением.

Совет № 1: используйте стандарт ISO-9001

В принципе, можно было бы ограничиться одним этим советом, поскольку при творческом подходе к прочтению стандарта ГОСТ Р ИСО 9001-2001 или его зарубежного аналога ISO 9001:2000(E) [2] в нём можно найти ответы на все вопросы, которые стоят перед современным производством. С этой точки зрения, указанный документ можно смело назвать «Библией современного производства», но мы не пойдём так далеко и ограничимся тем, что будем называть его просто ***стандарт***. К сожалению, сложилась порочная практика, при которой предприятия всеми доступными способами добиваются сертификата соответствия требованиям ***стандарта*** (существует

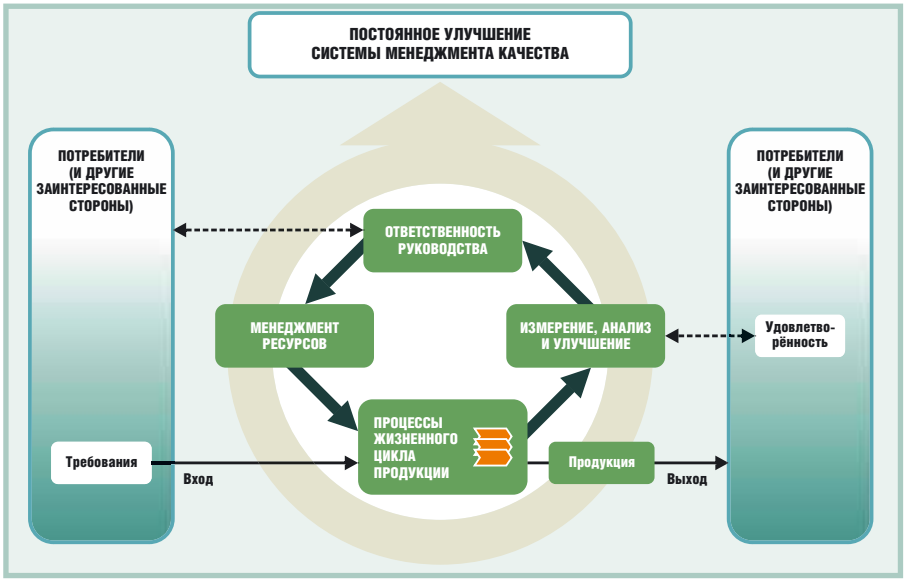

Рис. 2. Модель системы менеджмента качества, основанной на процессном подходе

даже термин «внешняя сертификация»), но в реальности пользуются старыми схемами организации производственного процесса.

Возможно, многим покажется, что положения ***стандарта*** слишком абстрактны, чтобы применять их на практике. На самом деле высокий уровень абстракции вполне оправдан, поскольку областями применения ***стандарта*** являются самые разнообразные сферы общественного производства.

Основной идеей ***стандарта*** является процессный подход (рис. 2), при котором любой объект производственных отношений (предприятие в целом, цех, служба, отдел, производственный участок, производственная единица и т.д.) рассматривается как самостоятельный процесс, у которого есть определённое число входов и определённое число выходов. Посредством этих входов и выходов конкретный процесс связан с другими процессами.

При таком подходе главными задачами организации высокоэффективного производства являются:

- правильное выделение процессов (у каждого процесса должны быть чётко определены функции, входы и выходы);
- унификация входов и выходов (единая терминология, единые формы представления информации, единые носители информации, общие классификаторы);
- постоянный контроль за состоянием каждого процесса, при этом основным критерием соответствия состояния процесса общим требованиям должно быть правильное преобразование входов процесса в выходы.

Обязательным условием процессного подхода является чёткая регламентация всех его компонентов (для этих целей лучше всего подходит имеющаяся на многих предприятиях система стандартов предприятия).

Другими словами, необходимо перейти от организации взаимодействия конкретных исполнителей (так называемый субъективный фактор) к организации взаимодействия абстрактных процессов (объективных по самой природе).

Тем же, кто ещё сомневается в целесообразности процессного подхода, следует напомнить, что именно такой подход стал основой стремительного развития информационных технологий. В своё время большому числу производителей электронных компонентов и программного обеспечения удалось абстрагироваться от своих личных представлений о том, как должны взаимодействовать между собой отдельные составляющие компьютерных систем. Благодаря этому появились на свет унифицированные интерфейсы и различные соглашения сообщества программистов. Это, в свою очередь, привело к тому, что сопряжение продукции различных производителей стало простым и доступным огромному числу потенциальных потребителей.

Совет № 2: определите техническую политику

Техническая политика в области эксплуатации станков с ЧПУ должна быть частью общей технической политики предприятия. В общем случае она должна включать:

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

- единую для всего предприятия политику в области модернизации парка оборудования с ЧПУ (краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный планы);
- постоянный мониторинг средств и способов программного управления, корректировку существующих планов с учётом новых тенденций;
- постоянный контроль эффективности уже выполненных мероприятий по модернизации.

Особое внимание следует уделить унификации аппаратных и программных средств, используемых для модернизации парка систем ЧПУ. На большинстве предприятий до сих пор испытывают серьёзные проблемы от многообразия эксплуатируемых типов систем ЧПУ (начиная от несовместимости управляющих программ и различных конструктивных и технических решений и заканчивая многостраничным списком комплектующих, необходимых для ремонта). Такое положение стало результатом объективных трудностей с приобретением программно-управляемого оборудования, имевших место в 70-80-х годах прошлого века, когда в основном и формировался современный парк станков с ЧПУ. Тем более удивительно, что в настоящее время, когда, с одной стороны, проблем с поставками нет, а с другой стороны, сложность аппаратной и программной составляющих системы ЧПУ возросла многократно, многие технические руководители позволяют себе закупать системы ЧПУ с различными архитектурными решениями. В будущем, когда неизбежно встанет задача комплексной автоматизации и включения станков с ЧПУ в единую автоматизированную систему предприятия, возникнут проблемы, многократно превышающие те, которые возникают в настоящее время при эксплуатации немодернизированного парка систем ЧПУ.

Некоторые руководители объясняют свою позицию тем, что они выбирают не систему ЧПУ, а оборудование, которое, в свою очередь, поставляется (а значит, по их мнению, может работать) только с системой ЧПУ определённого типа. С уверенностью могу сказать, что это не так. Ведущие производители аппаратных средств для систем ЧПУ (на российском рынке это прежде всего компании Advantech, Siemens, Octagon Systems) поддерживают такую номенклатуру управляющих и периферийных устройств, которая обеспечивает решение практически любой технической задачи. При этом

- все изделия являются IBM PC совместимыми (следовательно, базовое и прикладное программное обеспечение может быть без труда перенесено с одной аппаратной платформы на другую);
- все изделия могут работать с полным набором устройств ввода-вывода (клавиатура, трекбол, сенсорный экран, CRT-дисплей, TFT-дисплей, HDD, Flash и т.д.);
- все изделия поддерживают полный набор коммуникационных интерфейсов (RS-232, Ethernet, USB 1.0, USB 2.0 и т.д.);
- все изделия предназначены прежде всего для эксплуатации в промышленных условиях;
- номенклатура выпускаемых изделий постоянно расширяется.

Что же касается программного обеспечения, то оно по природе своей легко адаптируется к конкретному техническому решению.

Заканчивая тему технической политики, хотелось бы поделиться некоторыми личными наблюдениями. Во-первых, в настоящее время сложилась исключительно благоприятная ситуация для про-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

ведения полномасштабной модернизации парка систем ЧПУ, так как, с одной стороны, работа эта находится в самой начальной стадии и не очень поздно поменять направление, если оно выбрано неправильно, а с другой стороны, основные направления развития систем ЧПУ чётко определены и можно смело формировать техническую политику на длительную перспективу. Во-вторых, на рынке появилось большое число предложений по модернизации систем ЧПУ от фирм, не имеющих достаточного научного и технического потенциала для проведения подобных работ, а лишь использующих современные аппаратные средства указанных производителей и стандартные программные пакеты разработчика (с помощью такого набора можно решать конкретные технические задачи, но не проблему эксплуатации станков с программным управлением в целом).

Совет № 3: разработайте стандарт по эксплуатации станков с ЧПУ

Этот совет естественным образом вытекает из совета № 1. При разработке стандарта по эксплуатации станков с ЧПУ рекомендуем охватить все процессы, имеющие отношение к эксплуатации станков с программным управлением, в едином документе. Например, в корпоративном стандарте (КСТ) Ассоциации пользователей оборудования ЗАО «ДиаНа» КСТ ДиаНа-ЧПУ-2003 [3] выделены следующие аспекты общего процесса эксплуатации программно-управляемого оборудования:

- аспект оператора, то есть лица, ответственного за непосредственную обработку детали;
- аспект контролёра ОТК, то есть лица, ответственного за соответствие детали требованиям технической документации;
- аспект программиста-технолога, то есть лица, ответственного за разработку управляющей программы;
- аспект наладчика, то есть лица, ответственного за технологические параметры станка и системы ЧПУ;
- аспект ремонтника, то есть лица, ответственного за работоспособность станка и системы ЧПУ;
- аспект администратора, то есть лица, ответственного за взаимодействие оператора, контролёра ОТК, программиста-технолога, наладчика и ремонтника;
- аспект системного администратора, то есть лица, ответственного за взаимодействие САПР и системы ЧПУ;
- аспект снабженца, то есть лица, ответственного за поставку комплектующих и расходных материалов при эксплуатации, ремонте или модернизации станка и системы ЧПУ.

В этом документе также приведены общая схема взаимодействия аспектов эксплуатации, должностные инструкции и схемы взаимодействия для каждого аспекта, общая терминология и справочные данные.

Концентрация в одном документе всех сведений, имеющих отношение к процессу эксплуатации станков с программным управлением, позволяет формировать единый подход различных служб к решению общей задачи, что значительно повышает надёжность и качественные характеристики всего процесса.

Совет № 4: обращайте особое внимание на «стыки»

Опыт показывает, что наименее проработанными при составлении схемы модернизации являются вопросы, находящиеся на стыке областей ответственности различных аспектов эксплуатации. Потенциальные издержки при этом особенно велики (учитывая долгосрочные перспективы эксплуатации модернизированного оборудования), в связи с чем рекомендуем обращать на подобные стыки особое внимание.

В качестве иллюстрации приведём два примера из практического опыта модернизации.

Первый пример имеет отношение к модернизации горизонтально-расточного станка 2В622Ф4. Особенностью конкретного станка является то, что датчики обратной связи по положению трёх осей выполнены на основе оптических преобразователей, а четвёртой оси — на основе резольвера. Современные аппаратные средства не поддерживают применение датчиков, не имеющих унифицированного интерфейса датчиков угловых перемещений (а именно к таким датчикам относится используемый в станке резольвер). Следует отметить, что датчик обратной связи по положению вообще имеет неопределённый статус. С одной стороны, он относится к станку, поскольку расположен либо на исполнительных механизмах станка, либо на двигателе, приводящем эти механизмы в движение. С другой стороны, он имеет самое непосредственное отношение к системе ЧПУ, поскольку напрямую (при наличии соответствующего интерфейса) подключается к ней и без неё не используется. Наконец, дискретность датчика самым тесным образом связана с одной из главных технологических характеристик станка – точностью позиционирования. Соответственно, для принятия решения о возможности замены датчика на более современный требуется получение согласия нескольких служб. При отсутствии ясной технической политики и чёткого распределения зон ответственности эта задача осталась нерешённой. В результате:

- пришлось оставить часть старой системы ЧПУ (на рис. 3 она обведена красным) со всеми вытекающими из этого последствиями (снижение надёжности, повышение энергопотребления, расширение списка комплектующих, необходимых для ремонта, и т.д.);
- пришлось дорабатывать программное обеспечение (с увеличением сроков модернизации);
- многие полезные функции современного программного обеспечения оказались недоступными для соответствующей оси.

Учитывая тот факт, что общая стоимость работ по замене датчика (включая стоимость самого датчика) составляет менее одного процента стоимости модернизации, можно себе предста-



Рис. 3. Пример неэффективной модернизации: из-за несогласованных действий различных аспектов эксплуатации пришлось оставить значительную часть старой системы ЧПУ

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru



Рис. 4. Пример неэффективной модернизации: из-за несогласованных действий различных аспектов эксплуатации одинаковые станки имеют разные органы управления

вить, каковы будут неизбежные издержки при эксплуатации этого станка.

Второй пример связан с широко распространённой серией токарных станков 16А20. Электрическая схема станков данной серии имеет как минимум 6 модификаций, при этом кинематическая схема (и, соответственно, технологические возможности) является общей. Связано это с тем, что из-за уже упомянутых проблем с поставками систем ЧПУ были разработаны технические решения для систем не только разных производителей, но и разных идеологий, прямым следствием чего стало многообразие станочных пультов оператора. Учитывая общую тенденцию к унификации органов управления, вполне естественной при составлении схемы модернизации видится замена различных пультов оператора единым (стоимость этого вопроса составляет менее трёх процентов от стоимости модернизации), тем более, когда речь идёт о модернизации станков одной серии. Однако и тут часто мешает неопределённая принадлежность станочного пульта оператора в комплексе станок-система ЧПУ: с одной стороны, он является частью станка, а с другой – частью интерфейса оператор-система ЧПУ.

На рис. 4 показаны два станка серии 16А20, установленные в одном цехе, при этом пульт оператора одного станка оснащён крестовым переключателем для ручного управления движением и двумя маховичками (по одному на каждую ось подачи), а на втором крестовый переключатель отсутствует вообще и маховичок только один (пульты оператора обведены красным). Получается, что, несмотря на совершенно одинаковые технологические характеристики (кинематическая схема, скорость подачи, размер рабочей зоны, число инструментов, формат управляющей программы и т.д.), эксплуатационные характеристики существенно отличаются. Как следствие, профессиональные навыки для работы со станками должны быть разными и при переходе оператора от одного станка к другому необходима адаптация (тем более, что работа оператора включает большое число часто повторяющихся автоматических действий). Кроме этого, для каждого станка нужно иметь свои инструкции, электрические схемы и т.д. Наконец, это значит, что системы ЧПУ не являются взаимозаменяемыми, что в производственной практике часто имеет очень важное значение.

Совет № 5: чётко определите функции оператора и наладчика

Частным случаем решения проблемы «стыков» является правильное распределение функций между оператором и наладчиком. На многих пред-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

приятиях эти функции совмещает один работник. По нашему мнению, это совершенно неправильно.

Во-первых, сама идея программного управления предполагает максимальное снижение требований к квалификации оператора (для снижения вероятности субъективной ошибки и стоимости обслуживания). В принципе, в функции оператора должны входить:

- установка заготовки;
- запуск управляющей программы;
- снятие готовой детали.

Функции наладчика гораздо более сложные и требуют достаточно глубоких технических знаний. Экономически нецелесообразно использовать высококвалифицированного работника в основном для выполнения элементарных операторских функций. Кроме этого, длительное отвлечение на решение простых задач приводит к деградации основных профессиональных навыков.

Во-вторых, концентрация двух важнейших аспектов общего процесса эксплуатации станков с программным управлением в одних руках принципиально снижает уровень контроля за состоянием технологического процесса в целом. Дело в том, что очень часто частные интересы оператора-наладчика не совпадают с общими интересами предприятия. Поэтому нередки случаи, когда оператор-наладчик сознательно умалчивает о недоработках в управляющей программе. Имея навыки разработки управляющих программ, он самостоятельно устраняет имеющиеся недостатки и становится де-факто обладателем монопольного права на выпуск продукции, соответствующей требованиям технической документации. При этом из-под контроля выходят такие важные аспекты эксплуатации, как разработка управляющей программы и наладка станка.

В-третьих, совмещение функций оператора и наладчика очень часто приводит к исключению из управляющих программ функций, имеющих отношение к коррекции инструмента. Связано это с тем, что, с одной стороны, грамотное применение этих функций требует довольно высокой квалификации программиста-технолога, а с другой стороны, квалификации наладчика достаточно, чтобы компенсировать отсутствие таких функций более частой «привязкой» инструмента. Это ведёт к снижению производительности и отсутствию объективной информации об использовании инструмента. Вместе с тем современные системы ЧПУ позволяют значительно упростить процедуру учёта износа инструмента для оператора, прежде всего за счёт замены общих для станка корректоров с абстрактными номерами на индивидуальный для каждого инструмента строго определённый набор конкретных корректоров. На рис. 5 показан фрагмент процедуры коррекции износа инструмента, реализованной в системе ЧПУ «ДиаНа-CNC».

Совет № 6: ограничьте доступ к управляющей программе

С повышением функциональных возможностей станков с программным управлением и расширением областей их применения управляющая программа всё больше и больше определяет технико-экономические результаты деятельности конкретного предприятия. Такой высокий статус неизбежно ставит вопрос о постоянном контроле за состоянием управляющей программы.

Слабые вычислительные мощности систем ЧПУ ранних поколений не позволяли организовать должный контроль за доступом к управляющей программе. В лучшем случае он ограничи-

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru



Рис. 5. Пример диалога оператора при коррекции инструмента



Рис. 6. Доступ к функциям и информационным ресурсам в системе ЧПУ «ДиаНа-CNC» для отдельных аспектов процесса эксплуатации ограничен

вался механическим ключом, одинаково доступным оператору, наладчику, программисту-технологу и ремонтнику. Следствием этого стала широко распространённая практика использования двух вариантов управляющих программ. При этом один вариант предназначается для нормировщицы (в нём скорости подачи были сознательно уменьшены, а паузы увеличены), а второй – для работы, тем более, что часто оператор одновременно выполняет функции наладчика (см. совет № 5). Ещё раньше для изменения скорости подачи использовали корректоры подачи, расположенные на станочном пульте оператора, но со временем нормировщицам вменили в обязанность перед изготовлением контрольной детали проверять их положение. Для проверки же соответствия кода управляющей программы оригинальному коду навыков нормировщицы явно недостаточно (особенно, если учесть не очень удобный интерфейс оператор-система ЧПУ).

Самым простым и вместе с тем достаточно эффективным способом решения этой проблемы является использование системы паролей. При этом для каждого аспекта процесса эксплуатации целесообразно иметь свой пароль, обеспечивающий доступ только к тем функциям и информационным массивам, за которые этот аспект отвечает. Для выполнения некоторых функций (например, для изменения уже включённой в технологический процесс управляющей программы) целесообразно использовать двойной пароль (например, программиста-технолога и администратора).

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru

На рис. 6 показано, к каким режимам работы системы ЧПУ «ДиаНа-CNC» имеют доступ различные аспекты процесса эксплуатации.

Совет № 7: максимально используйте возможности CAD/CAM

Многократное увеличение функциональных возможностей вычислительных систем открыло путь для использования принципиально новых схем сопряжения систем автоматизированного проектирования (CAD) и автоматизированного производства (CAM). К сожалению, даже на самых передовых российских предприятиях эти схемы до сих пор практически не используются. В лучшем случае вместо сквозной автоматизации применяются многоступенчатые схемы со значительной долей ручного труда.

Например, одна из таких схем включает следующие этапы:

- с использованием САПР разрабатывается чертёж детали;
- по указанным на чертеже размерам и допускам с использованием САПР рисуется контур с указанием базовых точек;
- по указанным базовым точкам программист-технолог пишет управляющую программу (если предполагается обработка детали на станках с разными системами ЧПУ, то пишется соответствующее число вариантов);
- программист-технолог передаёт распечатку управляющей программы оператору, который заносит её в систему ЧПУ.

Вместе с тем большинство существующих САПР для машиностроения (например, КОМПАС компании АСКОН, ADEM фирмы Omega Technologies Ltd, ТЕХТРАН предприятия НИП-Информатика, Tiflex МГТУ «СТАНКИН» и др.) имеют специальные режимы, позволяющие формировать управляющую программу (УП) для системы ЧПУ напрямую.

На рис. 7 показана схема взаимодействия САПР с системой ЧПУ «ДиаНа-CNC». В этом случае после получения УП с помощью САПР (рис. 7а) достаточно:

- вызвать функцию ИМПОРТ, для чего нажать одну клавишу (рис. 7б);
- задать имя группы УП, имя собственно УП и при необходимости соответствующие комментарии (при наличии на предприятии нормальной системы обозначения продукции для решения этой задачи требуется не более одной минуты);
- разрешить передачу необходимой информации (в зависимости от уровня автоматизации информация может передаваться самыми различными способами, но пока чаще всего на дискете).

При этом возможны два варианта:

- если САПР имеет постпроцессор для формирования УП в формате системы ЧПУ «ДиаНа-CNC», то передача выполняется без дополнительной обработки;
- если САПР не имеет такого постпроцессора, то САПР передаёт УП в одном из поддерживаемых форматов (например 2Р-22), а система ЧПУ «ДиаНа-CNC» выполняет дополнительное преобразование в собственный формат.

Заключение

Завершая статью, необходимо сделать следующие предупреждения:

- при практическом использовании советов следует обращать внимание не столько на форму, сколько на содержание проводимых мероприятий, слепое следование рекомендациям без учёта специфики конкретного производства и сложившихся производственных связей не даёт гарантии положительного результата;
- оптимальный результат может быть достигнут только при выполнении всех семи советов, хотя каждый из них в отдельности имеет определённую практическую ценность;
- надо быть готовым к тому, что в ходе модернизации могут быть затронуты личные интересы довольно большой части сотрудников, имеющих отношение к эксплуатации оборудования с программным управлением, поэтому лучше сразу позаботиться об их более эффективном использовании. ●

Литература

1. Емельянов С.А. Модернизация станков с ЧПУ// Современные технологии автоматизации. — 2001. — № 3.
2. ГОСТ Р ИСО 9001-2001. Системы менеджмента качества. Требования. — М.: Издательство стандартов, 2003.
3. Корпоративный стандарт КСТ ДиаНа-ЧПУ-2003. Устройства числового программного управления для металлообрабатывающего оборудования. Взаимодействие различных аспектов эксплуатации. — Пенза: ЗАО «ДиаНа», 2003.

Автор — сотрудник ЗАО «ДиаНа»
Телефон: +7 (902) 203-9148



а *б*

Рис. 7. Схема взаимодействия системы автоматизированного проектирования и системы ЧПУ: а — получение УП с помощью САПР, б — импорт УП в систему ЧПУ

© 2005, СТА Тел.: (095) 234-0635 Факс: (095) 232-1653 http://www.cta.ru