

ДИАГНОСТИКА И ПРОГНОЗ ИЗНОСА

РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА В ПРОЦЕССЕ ОБРАБОТКИ НА СТАНКАХ С ЧПУ

Л.И. Мартинова, А.С. Григорьев, С.В. Соколов (МГТУ "Станкин")

Сформулирована задача мониторинга и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента, предложена архитектурная модель обобщенной диагностической системы и ее программная реализация. Специфицирован протокол взаимодействия модуля диагностики с ядром системы ЧПУ, приведено универсальное решение для осуществления диагностики и прогноза износа режущего инструмента на базе внешнего вычислителя¹.

Ключевые слова: диагностика режущего инструмента, мониторинг в реальном времени, прогноз износа режущего инструмента, обработка на станках с ЧПУ, обобщенная диагностическая система.

Введение

Диагностика и прогноз износа режущего инструмента – актуальная задача при обработке заготовок на станках с ЧПУ, где процесс выполняется без участия оператора, и необходимо гарантированное обеспечение окончания технологического перехода (или операции) без смены и поломки режущего инструмента. Проблема состоит в том, что стойкость даже одной партии инструмента имеет довольно широкий разброс. Кроме того, современные машиностроительные предприятия широко применяют сборные режущие инструменты, содержащие несколько режущих пластинок, опять же имеющих неодинаковую стойкость. Все это повышает риск получения брака или поломки инструмента в процессе резания, что производитель не желает допустить особенно при обработке заготовок из дорогостоящих материалов, кроме того, такие ситуации недопустимы, когда обработка заготовок продолжается в течение длительного времени: неисправимый брак почти готовой детали, вызванный поломкой инструмента, может стоить слишком больших затрат.

Задача мониторинга и прогнозирования остаточной стойкости инструмента

Проблема заключается в необходимости гарантированного обеспечения окончания технологического перехода без смены режущего инструмента. Европейские и японские производители используют $\leq 70\%$ ре-

сурса режущего инструмента, после чего делают вынужденную замену. Это недешевое решение, но оно возможно, поскольку разброс стойкости партии режущего инструмента находится в пределах 20%. Разброс стойкости партии отечественного режущего инструмента достигает 200%, что не позволяет применять подобные подходы. Решение проблемы лежит в плоскости мониторинга и прогнозирования остаточной стойкости режущего инструмента непосредственно в процессе обработки детали, то есть в РВ [1].

Многообразие задач диагностирования предполагает применение всевозможных алгоритмов, использующих данные от различных датчиков: тензодатчиков, измеряющих составляющие силы резания, вибродатчиков, измеряющих вибрации в зоне резания, индуктивных датчиков или датчиков другого типа. Задача встроенного в систему ЧПУ модуля диагностики режущего инструмента – реализовать многовариантность диагностических алгоритмов с целью своевременного принятия решения о необходимости замены инструмента.

Целесообразность применения открытого решения обосновывается возможностью наращивания функциональности модуля диагностики без перекомпиляции ядра системы ЧПУ [2].

Архитектурная модель обобщенной диагностической подсистемы

На рис. 1 представлена архитектурная модель диагностической подсистемы в составе системы ЧПУ, из которой видно, что модуль диагностики запускается и работает параллельно с ядром системы ЧПУ, а для взаимодействия используется разделяемая область памяти. Такое решение позволяет обезопасить ядро при возникновении каких-либо ошибок или "зависаний" модуля диагностики в процессе его работы.

Модуль диагностики работает в режиме РВ. В xml-файле прописаны возможные алгоритмы диагностики и определены параметры их запуска. Процесс диагностики выступает в роли окружения (framework) для работы этих автономных алгоритмов диагностики (запуск и исполнение). Каждый алгоритм получает необходимую информацию от датчиков и выдает управляющие команды в ядро системы ЧПУ по протоколу взаимодействия.

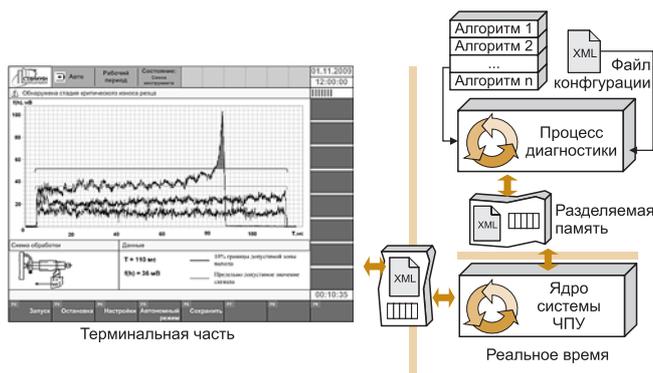


Рис. 1. Обобщенная структура диагностической подсистемы

¹ Работа выполнена по Госконтракту № П693 на проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009–2013 гг.

Графическая часть модуля диагностики реализована в виде компонента, интегрируемого в интерфейс оператора. Подсистема диагностики через ядро системы ЧПУ передает данные в графический компонент, используя формат xml. Графический компонент диагностики интерпретирует данные от подсистемы диагностики и отображает их на экране в графическом и текстовом видах.

Программная реализация подсистемы диагностики

Подсистема диагностики выполнена в виде отдельного приложения, предназначенного для запуска в ОС PV Linux, и построена на основе открытой модульной архитектуры (рис. 2). Система включает модули:

- *конфигурирования* – отвечает за загрузку необходимых алгоритмов диагностики и конфигурацию через xml-файл;

- *сбора информации* – отвечает за взаимодействие подсистемы диагностики с физическими датчиками сбора информации о процессе обработки. Модуль производит конфигурирование алгоритмов работы с датчиками, считывание и интерпретацию полученной информации;

- *обработки информации* – реализует работу выбранных на этапе конфигурирования алгоритмов диагностики износа режущего инструмента и выдает прогноз об остаточном ресурсе инструмента;

- *вывода* – реализует передачу результатов работы диагностического алгоритма системе управления верхнего уровня.

Разбиение на модули позволяет отделить алгоритмы диагностики от механизмов, реализующих взаимодействие с датчиками и системой ЧПУ. Это делает систему диагностики гибкой и легко адаптируемой для использования различных типов датчиков и для подключения к другим системам ЧПУ. Подсистема диагностики может быть переконфигурирована без какого-либо изменения ее программного кода.

Алгоритм конфигурирования подсистемы диагностики

1. Из xml-файла конфигурации модуля считывается имя загружаемого модуля, содержащего алгоритм диагностики.

2. Подгружается библиотека, в которой реализован модуль.

3. Создается экземпляр объекта модуля по его уникальному идентификатору.

4. Созданный модуль добавляется в коллекцию модулей внутри менеджера компонентов. Указатели на модули хранятся во внутреннем списке менеджера компонентов в виде указателей на абстрактный базовый класс. В дальнейшем тип каждого модуля (сбора и обработки информации, вывода) может быть идентифицирован при помощи функций базового класса и указатель на модуль будет преобразован к стандартному интерфейсу для данного типа модулей.

В процессе работы подсистемы диагностики ее модули непрерывно обмениваются потоками данных в режиме PV (на рис. 2 – поток реального времени). Поток реального времени отвечает за обеспечение

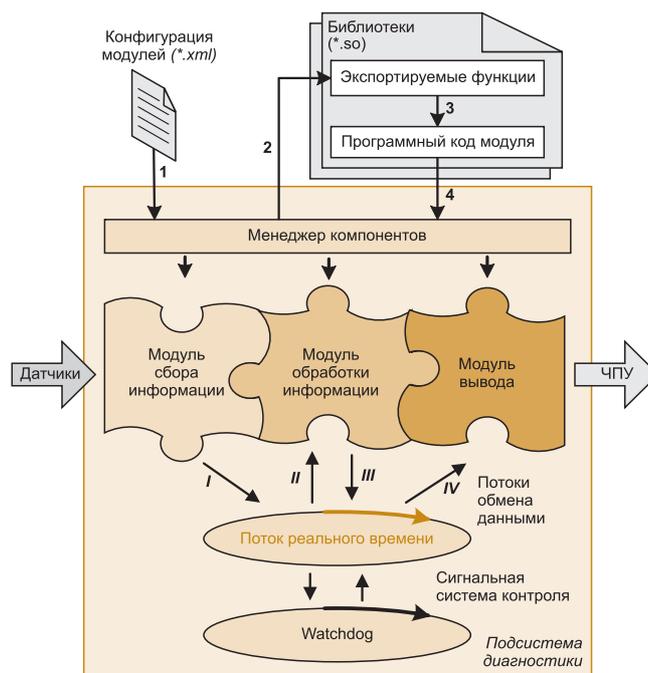


Рис. 2. Архитектура диагностической подсистемы

своевременной реакции системы, тактирование работы алгоритма и обработку данных. Для контроля стабильности работы подсистемы диагностики введен сторожевой поток (watchdog-поток) с приоритетом большим, чем у потока реального времени, который контролирует работу последнего и обрабатывает случаи его сбоя или "зависания".

На каждом такте потока реального времени производятся следующие действия (рис. 2):

- получение данных от модуля сбора информации (I),
- передача этих данных в модуль обработки (II),
- получение результатов диагностики (III),
- передача результатов диагностики модулю вывода (IV).

Данные, передаваемые на каждом из этапов обмена информацией, имеют специфицированный формат для обеспечения нужного уровня абстракции и взаимозаменяемости модулей.

Модули сбора информации и вывода содержат собственные низкоприоритетные потоки, взаимодействующие с физическими каналами передачи информации, так как операции подобного рода не являются предсказуемыми по времени выполнения. Для обмена данными с потоком реального времени используются программные очереди.

Протокол взаимодействия модуля диагностики с ядром системы ЧПУ

Протокол взаимодействия модуля диагностики с ядром системы ЧПУ является обобщением управления процессом резания. В протоколе заложена коррекция позиции режущего инструмента для компенсации размерного износа. Измерение величины износа в процессе резания осуществляется косвенным методом через контроль диагностических парамет-

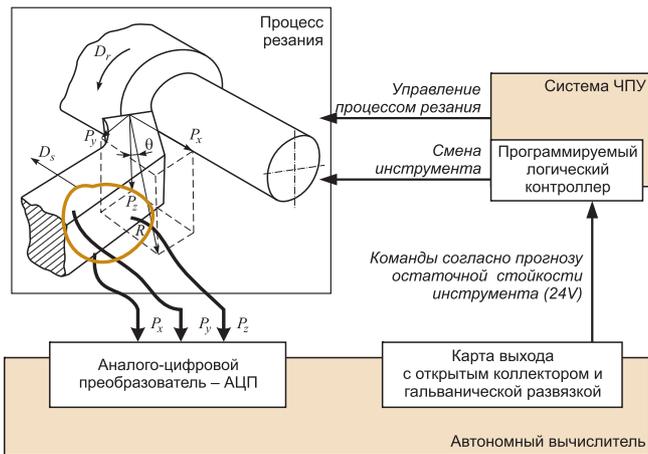


Рис. 3. Мониторинг и прогнозирование остаточной стойкости инструмента

ров. Величина необходимой коррекции определяется по алгоритму диагностики, построенному на зависимости между контролируемым параметром и износом, с учетом существующей неопределенности.

Протокол предусматривает выдачу сигнала на смену режущего инструмента для обеспечения требуемого качества изделия и предотвращения аварийных ситуаций. Команды на смену режущего инструмента могут быть двух типов: "закончить выполнение технологического перехода и поменять режущий инструмент" или "поменять режущий инструмент немедленно". Последний вариант может трактоваться как аварийный останов.

Протокол реализует *аварийный останов* процесса обработки для предотвращения повреждений механизмов станка, брака детали, опасных ситуаций для оператора. Команда на аварийный останов станка может подаваться в исключительных ситуациях, связанных с внезапной поломкой режущего инструмента, сбоями в управляющей программе, ростом дисбаланса и другими обстоятельствами, вызывающими выход контролируемых диагностических параметров за аварийные допуски. Надо учитывать, что аварийные допуски могут быть не только верхними, но и нижними. Например, отсутствие (по какой-то причине) в рабочей позиции режущего инструмента или заготовки приведет к тому, что при начале резания по управляющей программе будут аномально низкие значения диагностических параметров. Это тоже требует остановки станка и вызова оператора.

Режим останова проводится по строго определенному алгоритму, предусматривающему сохранение качества обработанной поверхности. Например, при поступлении команды на аварийную остановку происходит не просто останов подачи режущего инструмента, но и останов подачи с быстрым отводом инструмента по нормали к обрабатываемой поверхности на величину, например 0,3 мм. Такой отвод необходим для исключения образования на обрабатываемой поверхности пояски, являющегося следствием упру-

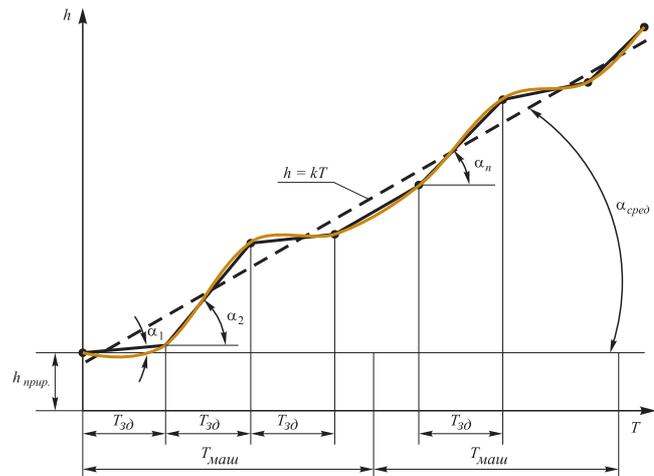


Рис. 4. Зависимость износа-время в стадии установившегося износа

гих деформаций в системе. После останова подачи происходит останов главного привода.

Универсальное решение на базе внешнего вычислителя

Диагностический модуль является универсальным решением, так как может применяться для существующих систем ЧПУ различных производителей без изменения их архитектуры. Мониторинг и прогнозирование износа режущего инструмента осуществляется внешним вычислителем, построенным на базе ПК промышленного исполнения (рис. 3). Управляющие сигналы поступают в систему ЧПУ через контроллер электроавтоматики. Система построена на измерении составляющих силы резания P_x , P_y , P_z , по которым определяется текущий износ и прогнозируется остаточная стойкость режущего инструмента.

Методика прогнозирования остаточной стойкости основана на зависимости, в которой при рациональных условиях работы каждого инструмента выявляется три стадии: приработка, установившийся (нормальный) износ, катастрофический износ. При установившемся износе экспериментальные точки располагаются случайно около прямой и могут быть аппроксимированы линейной функцией (рис. 4).

В момент времени T_i работы инструмента определяется величина износа h_{z_i} , а после задержки опроса $T_{зд} = T_{i+1} - T_i$ определяется износ $h_{z_{i+1}}$. Тогда

$$\operatorname{tg}(\alpha_i) = (h_{z_{i+1}} - h_{z_i}) / T_{зд}, \quad (1)$$

а остаточная стойкость:

$$T_{ост} = ([hз] - h_{z_{i+1}}) / \operatorname{tg}(\alpha), \quad (2)$$

где $[hз]$ – допускаемый износ инструмента по задней поверхности, выявленный в предэксплуатационный период диагностирования [3], исходя из требований обеспечения параметра качества детали при назначенных условиях ее обработки.

Следовательно, алгоритм прогнозирования $T_{ост}$ должен обеспечить действия по определению $\operatorname{tg}(\alpha_i)$ и расчету $\operatorname{tg}(\alpha_{ср})$ в течение всего периода стойкости ин-

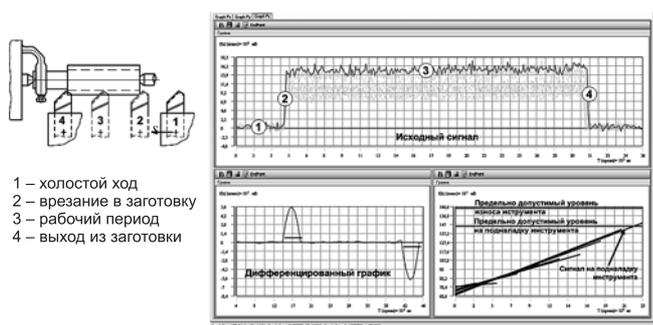


Рис. 5. Виды сигналов датчика силы резания при обработке детали

струмента. Тогда по мере приближения износа к $[h_3]$ достоверность прогноза $T_{ост}$ будет повышаться.

В соответствии с описанной методикой был разработан алгоритм прогнозирования остаточной стойкости [4]. Начальная инициализация алгоритма контроля инструмента подразумевает подготовительные операции по подключению датчиков и получению данных от пользователя.

Далее запускается цикл снятия информации с датчиков системы контроля инструмента с заданным $T_{зд}$. Непрерывно получаемые данные разделяют на зоны (рис. 5): холостого хода (подвод инструмента), врезания, резания и выхода инструмента. Для решения задачи контроля износа инструмента используется только зона непосредственно резания. Учет данных из остальных зон не только не нужен, но и может привести к грубой ошибке в прогнозировании остаточной стойкости инструмента. Для исключения ненужной информации вводятся алгоритмы определения момента начала процесса резания при выполнении очередного перехода и момента окончания резания.

Если получен сигнал о начале процесса врезания, а затем после нескольких сигналов врезания состояние системы становится неизменным, фиксируется момент установившегося процесса резания и начинается сбор данных для прогнозирования. Аналогично в случае получения набора сигналов о выходе инструмента из зоны резания, а затем исчезновения сигналов можно делать вывод о прекращении процесса обработки. Все данные, получаемые в процессе холостого хода, на прогноз влияния не оказывают, но собираются и анализируются алгоритмом программной корректировки "нуля".

Следует также учитывать, что данные, полученные в процессе обработки первой детали, необходимо исключить из работы алгоритма прогнозирования в связи с тем, что инструмент проходит приработку, и прогноз по первой детали может оказаться неверным.

Специфика практической реализации

Разработанная система диагностики прошла стендовые испытания на базе токарного станка 16K20 с системой ЧПУ Siemens Sinumerik 840D. На рис. 6 представлена упрощенная схема подключения системы диагностики, использующей внешний вычислитель.

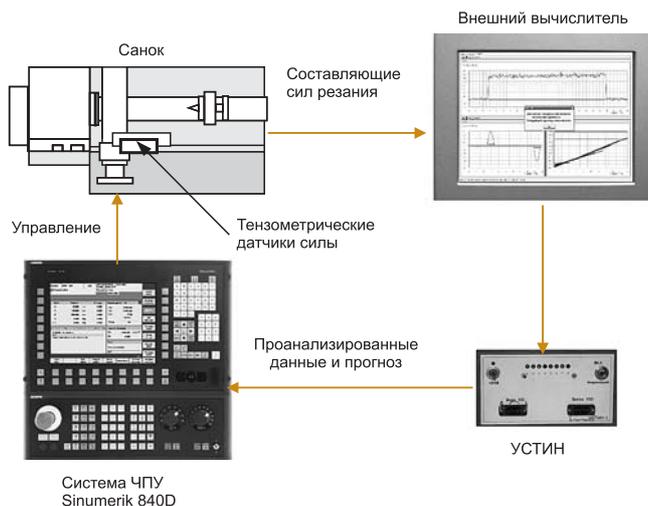


Рис. 6. Система диагностики на базе внешнего вычислителя

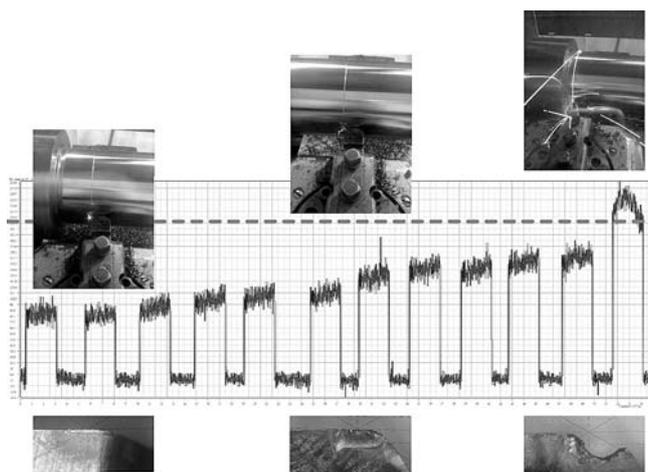


Рис. 7. Экспериментальные данные, полученные в ходе обработки заготовки из стали 45

Сопряжение внешнего автономного вычислителя с входами/выходами контроллера электроавтоматики S7-300 системы ЧПУ осуществляется через специальное устройство "УСТИН", преобразующее входной сигнал с внешнего вычислителя TTL-уровня в сигнал уровня 24 В. С помощью специального программно-аппаратного комплекса – коммуникационной платы Simatic S7 Step7v.5.4SP3.1 базовая управляющая программа электроавтоматики была адаптирована к поставленной задаче и интегрирована в ПЛК системы ЧПУ.

На рис. 7 представлены результаты эксперимента, полученные в ходе обработки заготовки из стали 45. Посредством использования системных переменных (R-параметров) в системе ЧПУ Sinumerik был реализован протокол взаимодействия модуля диагностики с ядром системы ЧПУ и функции адаптивного управления.

В настоящее время в рамках реализации проекта "Создание универсального интеллектуального комплекса для механообрабатывающего оборудования с ЧПУ", выполняемого по Федеральной целевой программе "Национальная технологическая база" на 2007-2011 гг., идет процесс внедрения встроенной версии системы диагностики. В этом решении износ

оценивается не по показателям, снимаемым с тензометрических датчиков, а посредством интерпретации силового момента, получаемого с контроллера привода. Такая постановка позволяет оставить неизменным предложенный выше алгоритм расчета и прогнозирования. По результатам работы зарегистрирована заявка на изобретение.

Заключение

Подсистема прогнозирования износа режущего инструмента, разработанная на основе алгоритмов контроля инструмента и прогнозирования его остаточной стойкости, позволяют сохранить заданную размерную точность детали и шероховатость обработки и существенно

снизить процент брака, получаемого при выходе из строя инструмента до окончания обработки поверхности детали (до завершения технологического перехода).

Список литературы

1. Синопальников В.А., Григорьев С.Н. Надежность и диагностика технологических систем. М.: Высшая школа. 2005.
2. Сосонкин В.Л., Мартинов Г.М. Системы числового программного управления. М.: Логос. 2005.
3. Мартинов Г.М., Мартинова Л.И., Григорьев А.С. Специфика разработки программного обеспечения для систем управления технологическим оборудованием в реальном времени // Т-Comm. 2009. Июль. Спецвыпуск.
4. Синопальников В.А. Контроль и прогнозирование состояния инструмента при чистовой обработке // Комплект: ИТО. 2007. № 9.

Мартинова Лилия Ивановна — канд. техн. наук, доцент,

Григорьев Антон Сергеевич и Соколов Сергей Владимирович — аспиранты МГТУ "Станкин".

Контактный телефон (499) 972-94-40. E-mail: liliya-martinova@yandex.ru

СТРУКТУРНАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОРПОРАЦИЙ

Е.И. Артамонов, Т.А. Ничипорович (ИПУ РАН)

Показана возможность использования особенностей CALS-технологии для создания виртуальных производственных корпораций (ВПрК). Представлен новый метод структурного проектирования, пригодный для синтеза нескольких вариантов структур функционирования ВПрК и выбора наилучшего из них. Принципы организации информационной системы управления ВПрК рассмотрены на примере распределенной системы управления процессами проектирования конструкторской документации, подготовки информации для станков с ЧПУ и решения ряда специализированных расчетных задач.

Ключевые слова: методы структурной организации, виртуальные производственные корпорации, виртуальные производства, CALS – технологии, модель, локальный алгоритм¹.

Введение

В начале 90-х годов XX века появилось понятие CALS (Continuous Acquisition and Life-Cycle Support) — технология непрерывного компьютерного сопровождения изделия на всех этапах его жизненного цикла от маркетинга до утилизации [1].

Отличительные особенности CALS – технологии:

1. На всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) изделия создается электронная документация.
2. Для всех этапов ЖЦ создается и используется единая обобщенная модель изделия.
3. Разработаны и используются международные стандарты на форматы и структуры данных по обмену информацией об изделии.
4. Осуществляется параллельная и территориально распределенная работа над создаваемым изделием. Предполагается, что под весь ЖЦ изделия создается некоторая структура соисполнителей (со своими интеллектуальными и производственными ресурсами), наилучшим образом приспособленная для реализации проекта, то есть "наилучшая" по набору критериев таких, как сроки реализации каждого из этапов, стоимость, качество и т.п. С учетом использования новых информационных технологий эти структурные образования могут быть территориально распределены и связаны между собой только через глобальную информацион-

ную сеть. Такую структуру принято называть "виртуальной производственной корпорацией" (ВПрК), состоящей из определенного набора виртуальных предприятий (ВПр). Под ВПрК понимается временная межпроизводственная кооперация ряда юридически независимых предприятий, которая создается в короткий срок и функционально взаимодействует на основе современных информационных технологий [2].

На рис. 1 приведен пример структуры ВПрК, показана возможная функциональная декомпозиция на отдельные ВПр, относящиеся к классам: заказчиков, поставщиков комплектующих изделий, разработчиков 2D и 3D геометрических моделей, технологической подготовки и производства конечного продукта. В классах выделены конкретные функции, которые могут быть реализованы одним или несколькими ВПр.

Далее остановимся на методах выбора лучшей структурной организации ВПрК и рассмотрим основные принципы построения информационных систем управления этими корпорациями, реализованных на средствах глобальной сети Internet.

Методы структурной организации ВПрК

Формализованные методы структурной организации ВПрК позволяют ускорить процесс их создания, улучшить эксплуатационные характеристики и обеспечить проведение НИР в рамках ФЦП "Научные и научно-педагогические кадры инновационной России" на 2009 - 2013 гг.

¹ Работа выполнена по Госконтракту № 02.740.11.0488 педагогические кадры инновационной России" на 2009 - 2013 гг.