

УДК 004.38:621.9

Н.В. Хрулёв<sup>1</sup>, В.И. Задорожный<sup>2</sup>, С.Ю. Куницкая<sup>1</sup><sup>1</sup> Черкасский государственный технологический университет, Черкассы<sup>2</sup> Восточноевропейский университет экономики и менеджмента, Черкассы

## ФУНКЦИИ И СТРУКТУРА СИСТЕМЫ ЧПУ

Рассмотрены вопросы формирования структуры системы ЧПУ на основе функционально-структурного подхода, предложенного в работах Е.П. Балашова. В результате декомпозиции целевой функции системы формируется дерево функций. Функции 1-го уровня определяют основные показатели системы ЧПУ, такие как производительность, надежность, функциональность и оказывают первоочередное влияние на структуру системы. Дополнительные функции 2-го и 3-го уровней расширяют функциональность системы ЧПУ, влияют как на производительность и качество работы системы в целом, так и на производительность и качество работы оператора. Приведены результаты синтеза структуры системы ЧПУ на основе предложенного дерева функций.

**Ключевые слова:** дерево функций, структура, функционально-структурный подход, система ЧПУ.

### Введение

**Постановка проблемы.** Системы ЧПУ в своем развитии прошли значительный путь от простых систем для управления металлорежущими станками до сложнейших систем управления обрабатывающими центрами.

Растущие требования к характеристикам современных станков с ЧПУ [1], таким как производительность, точность изготовления деталей, надежность, ремонтпригодность, удобство работы и обслуживания и т.п., а также к их функциональности определяют требования к структурам современных систем ЧПУ.

Современная система ЧПУ должна иметь возможности для реализации всех технологических процессов, имеющих место при изготовлении детали, начиная с разработки конструкторской документации на деталь и заканчивая измерительными операциями (функция ОТК).

Таким образом, проблема совершенствования структур систем ЧПУ и расширения их функциональности, соответствующих современным достижениям науки и техники актуальна и представляет определенный научный и практический интерес.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Для выполнения разработки сложных систем, каковыми являются системы ЧПУ, безусловный интерес представляют работы в области системного проектирования сложных систем, в частности, работы по функционально-структурному подходу [2, 3], а также техническая документация по системам ЧПУ [4 – 9].

**Целью данной статьи** является разработка на основе функционально-структурного подхода структуры системы ЧПУ, функции которой соответствуют возможностям современных технологий.

### Изложение основного материала

При разработке систем ЧПУ, с одной стороны, должен учитываться имеющийся научно-технический задел в области числового программного управления, с другой стороны, необходимо шире применять новейшие технологии, создающие новые свойства системы, ранее недоступные. Одним из таких направлений, например, может быть применение экспертных систем, построенных на основе нейросетевых технологий.

В соответствии с функционально-структурным подходом, изложенном в [2, 3] структурная организация системы должна соответствовать ее функциональному назначению и условиям эксплуатации.

Представим систему ЧПУ в виде математического описания:

$$S_{\text{сnc}} = \langle SS_1(F_1), \dots, SS_i(F_i) \rangle \quad (1)$$

где  $S_{\text{сnc}}$  – разрабатываемая система ЧПУ;  $SS_1(F_1)$  – первая подсистема (subsystem), реализующая набор функций  $F_1$ ;  $SS_i(F_i)$  –  $i$ -я подсистема, реализующая набор функций  $F_i$ .

Каждая подсистема (структурный модуль), в свою очередь, может быть представлена в виде математического описания аналогичного (1) в соответствии с заданным деревом функций.

В соответствии с методологией функционально-структурного подхода [2, 3] и на основе анализа технических материалов по системам ЧПУ [4 – 9] сформируем дерево функций системы ЧПУ (см. ниже).

Очевидно, что структура системы ЧПУ или функции, которые она выполняет, должны соответствовать реализуемому технологическому процессу. Исходя из выше сказанного, дерево функций будем составлять, руководствуясь технологическим процессом изготовления детали на станках с ЧПУ.

Технологический процесс изготовления детали на станках с ЧПУ может быть представлен в виде последовательности следующих этапов [10 – 13]:

Этап S1. Изготовление программы ЧПУ:

- при помощи САД-систем или вручную;
- верификация изготовленной программы (выполнение на эмуляторе).

Этап S2. Подготовительно-заключительный этап на технологическом оборудовании:

- ввод/вывод программы ЧПУ в стойку;
- задание необходимых технологических параметров и констант;
- привязка заготовки к системе координат станка;
- ручное управление технологическим оборудованием;
- верификация изготовленной программы на оборудовании, при необходимости пошаговое выполнение программы;
- при необходимости корректировка программы (редактирование);
- выполнение контрольно-измерительных операций с целью проверки соответствия полученной детали заданной или для определения геометрических характеристик объекта с целью последующего тиражирования.

Этап S3. Обработка заготовки, получение детали заданной формы.

На всех этапах должно осуществляться интерактивное взаимодействие системы ЧПУ и оператора-станочника.

На этапах S2 и S3 должно выполняться функционирование подсистемы автоматизации.

Ниже приведено дерево функций разрабатываемой системы ЧПУ.

### Уровень 0

F0 – функционирование системы ЧПУ с целью получения детали заданной формы в результате автоматизированного точечного взаимодействия между инструментом и предметом обработки [1], а также выполнения прочих вспомогательных функций.

### Функции уровня 1

F1 – функция изготовления программы ЧПУ.

F2 – функция выполнения подготовительно-заключительного этапа на технологическом оборудовании в ручном режиме.

F3 – функция обработки заготовки, получение детали заданной формы.

F4 – функция работы подсистемы электроавтоматики станка и управления электроприводом.

F5 – функция интерактивного взаимодействия системы ЧПУ и оператора-станочника.

F6 – функция аппаратного контроля за выполнением вычислительного процесса.

### Функции уровня 2

F1.1 – функция загрузки/сохранения программы ЧПУ.

F1.2 – функция редактирования текста программы ЧПУ при помощи встроенных средств редактирования.

F1.3 – функция верификации изготовленной программы.

F1.4 – функция компиляции или интерпретирования программы ЧПУ.

F2.1 – функция задания технологических параметров и констант.

F2.2 – функция управления перемещением режущего инструмента в ручном режиме.

F2.3 – функция привязки заготовки к системе координат станка.

F2.4 – функция контрольных измерений.

F2.5 – функция анализа визуального изображения заготовки и получения выводов о геометрических параметрах заготовки.

F2.6 – функция получения визуального изображения заготовки.

F3.1 – функция управления станком в программном пошаговом режиме.

F3.2 – функция управления станком в программном автоматическом режиме.

F4.1 – функция управления электроприводом.

F4.2 – функция считывания информации с датчиков состояния и управления электроприводом и исполнительными устройствами в соответствии с программой ЧПУ и информацией состояния.

F4.3 – функция сопряжения модуля управления электроприводом с электроприводом.

F4.4 – функция сопряжения модуля электроавтоматики с датчиками состояния.

F4.5 – функция сопряжения модуля электроавтоматики с исполнительными устройствами.

F5.1 – функция отображения информации о состоянии станка с ЧПУ.

F5.2 – функция ввода информации и управляющих воздействий оператора.

F6.1 – функция программно-аппаратного контроля вычислительного процесса.

### Функции уровня 3

F1.2.1 – функция подготовки текста программы ЧПУ при помощи встроенных средств редактирования.

F1.2.2 – сервисные функции подготовки программы ЧПУ (макро, калькулятор).

F1.3.1 – функция проверки допустимых диапазонов значений переменных.

F1.3.2 – 3D – функция моделирования движения инструмента на экране монитора.

F1.4.1 – функция получения исполняемого кода программы ЧПУ (компиляция или интерпретация).

F2.2.1 – функция выполнения разгона в ручном режиме.

F2.2.2 – функция выполнения равномерного движения в ручном режиме.

F2.2.3 – функция выполнения торможения в ручном режиме.

F2.2.4 – функция включения, выключения шпинделя в ручном режиме.

F2.2.5 – функция включения, выключения насоса охлаждающей жидкости в ручном режиме.

F2.2.6 – функция зажатия, разжатия инструмента.

F2.3.1 – функция привязки заготовки к системе координат станка.

F2.5.1 – функция определения геометрической формы заготовки.

F2.5.2 – функция определения размеров заготовки.

F2.5.3 – функция определения ориентации заготовки.

F2.6.1 – функция ввода информации о заготовке при помощи подсистемы технического зрения.

F3.1.1 – функция расчета траектории движения инструмента в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для шагового режима.

F3.1.2 – функция расчета динамики (ускорение, равномерное движение, замедление) движения режущего инструмента в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для шагового режима.

F3.1.3 – функция управления устройствами станка в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для шагового режима.

F3.1.4 – функция управления перемещением заготовки в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для шагового режима.

F3.1.5 – функция получения информации от подсистемы электро-автоматики станка для шагового режима.

F3.1.6 – функция выдачи управляющих воздействий на подсистему электро-автоматики станка для шагового режима.

F3.1.7 – функция выдачи управляющих воздействий на электропривод перемещения режущего инструмента по координатам станка для шагового режима.

F3.2.1 – функция расчета траектории движения инструмента в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для автоматического режима.

F3.2.2 – функция расчета динамики (ускорение, равномерное движение, замедление) движения режущего инструмента в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для автоматического режима.

F3.2.3 – функция управления устройствами станка в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для автоматического режима.

F3.2.4 – функция управления перемещением заготовки в соответствии с заданным кадром программы ЧПУ для автоматического режима.

F3.2.5 – функция получения информации от подсистемы электроавтоматики станка для автоматического режима.

F3.2.6 – функция выдачи управляющих воздействий на подсистему электроавтоматики станка для автоматического режима.

F3.2.7 – функция выдачи управляющих воздействий на электропривод перемещения режущего инструмента по координатам станка для автоматического режима.

F4.2.1 – функция опроса датчиков положения режущего инструмента по координатам станка.

F4.2.2 – функция опроса состояния концевых выключателей по координатам.

F4.2.3 – функция определения текущего состояния шпинделя (включен, выключен).

F4.2.4 – функция определения текущего состояния инструмента (зажат, разжат).

F4.2.5 – функция определения текущего состояния системы подачи охлаждающей жидкости (включена/выключена).

F4.2.6 – функция включения, выключение шпинделя в ручном режиме.

F4.2.7 – функция включения (выключение) насоса охлаждающей жидкости в ручном режиме.

F4.2.8 – функция зажатия, разжатия инструмента.

F5.1.1 – отображение информации о текущих координатах.

F5.1.2 – функция отображения информации о текущей скорости перемещения инструмента.

F5.1.3 – функция отображения информации о состоянии шпинделя (включен, выключен).

F5.1.4 – функция отображения информации о состоянии насоса подачи охлаждающей жидкости (включен, выключен).

F5.1.5 – функция отображения информации о текущем инструменте (номер, диаметр, длина).

F5.1.6 – функция отображения сообщений (предупреждений).

F5.2.1 – функция ввода информации и управляющих воздействий оператора с клавиатуры.

F5.2.2 – функция ввода информации и управляющих воздействий оператора с технологического пульта.

F5.2.3 – функция опроса состояния кнопки аварийного останова.

F6.1.1 – функция сопряжения устройства контроля вычислительного процесса с контролируемой ЭВМ.

F6.1.2 – функция анализа информации о выполнении вычислительного процесса.

F6.1.3 – функция индикации и выдачи сигнала о нарушении вычислительного процесса в подсистему электро-автоматики станка.

Для реализации предложенного дерева функций система ЧПУ должна иметь структуру, приве-

денную на рис. 2. Некоторые модули предложенной системы могут выполнять несколько функций.

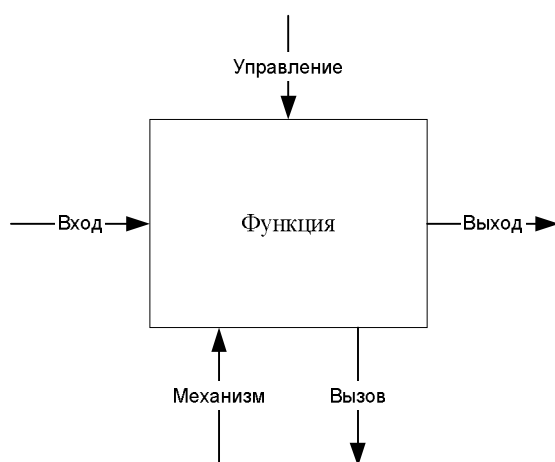


Рис. 1. Расположение стрелок и их назначение

Предложенная структура системы ЧПУ разрабатывалась в соответствии с требованиями стандарта [14], а также в соответствии с рекомендациями стандарта [15] в части расположения стрелок и их назначения (см. рис. 1).

На левой стороне функционального блока располагаются входные стрелки, на правой стороне, соответственно, выходные. На верхней стороне располагаются стрелки входных управляющих воздействий. На нижней стороне функционального блока располагаются входные стрелки вспомогательных механизмов и выходные стрелки порождаемых вызовов.

Для реализации функций уровня 1, предложенного дерева функций, система ЧПУ должна состоять из следующих подсистем:

- SS1 – подсистемы изготовления программы ЧПУ;
- SS2 – подсистемы управления в ручном режиме подготовительно-заключительным этапом на технологическом оборудовании;
- SS3 – подсистемы управления обработкой заготовки;
- SS4 – подсистемы электро-автоматики и электропривода;
- SS5 – подсистемы интерактивного управления (взаимодействия системы ЧПУ и оператора-станочника);
- SS6 – подсистемы контроля вычислительного процесса.

Перечень структурных модулей и узлов, необходимых для реализации функций уровней 2 и 3, предложенного дерева функций, по подсистемам приведен ниже.

Подсистема SS1 изготовления программы ЧПУ предназначена для получения исполнительного кода

программы ЧПУ и должна состоять из следующих функциональных модулей:

- St1.1 - модуля ввода/вывода программ ЧПУ, предназначенного для выполнения функции F1.1;
- St1.2 - текстового редактора, предназначенного для выполнения функций F1.2.1, F1.2.2;
- St1.3 - модуля верификации программы ЧПУ, предназначенного для выполнения функций F1.3.1, F1.3.2;
- St1.4 - компилятора/интерпретатора программы ЧПУ, предназначенного для выполнения функции F1.4.1.

Подсистема SS2 управления в ручном режиме предназначена для выполнения подготовительно-заключительного этапа на технологическом оборудовании и должна состоять из следующих функциональных блоков:

- St2.1 - модуля задания технологических параметров, предназначенного для выполнения функции F2.1;
- St2.2 - модуля управления станком в ручном режиме, предназначенного для выполнения функций F2.2.1 - F2.2.6;
- St2.3.1 - модуля привязки заготовки к системе координат станка, который предназначен для выполнения функций F2.4.1 ... F2.4.5;
- St2.4 - модуля контрольно-измерительного, предназначенного для выполнения функции F2.4;
- St2.5 - нейро-сетевого модуля, предназначенного для выполнения функций F2.5.1, F2.5.2, F2.5.3;
- St2.6 - подсистемы технического зрения, предназначенной для выполнения функции F2.6.1.

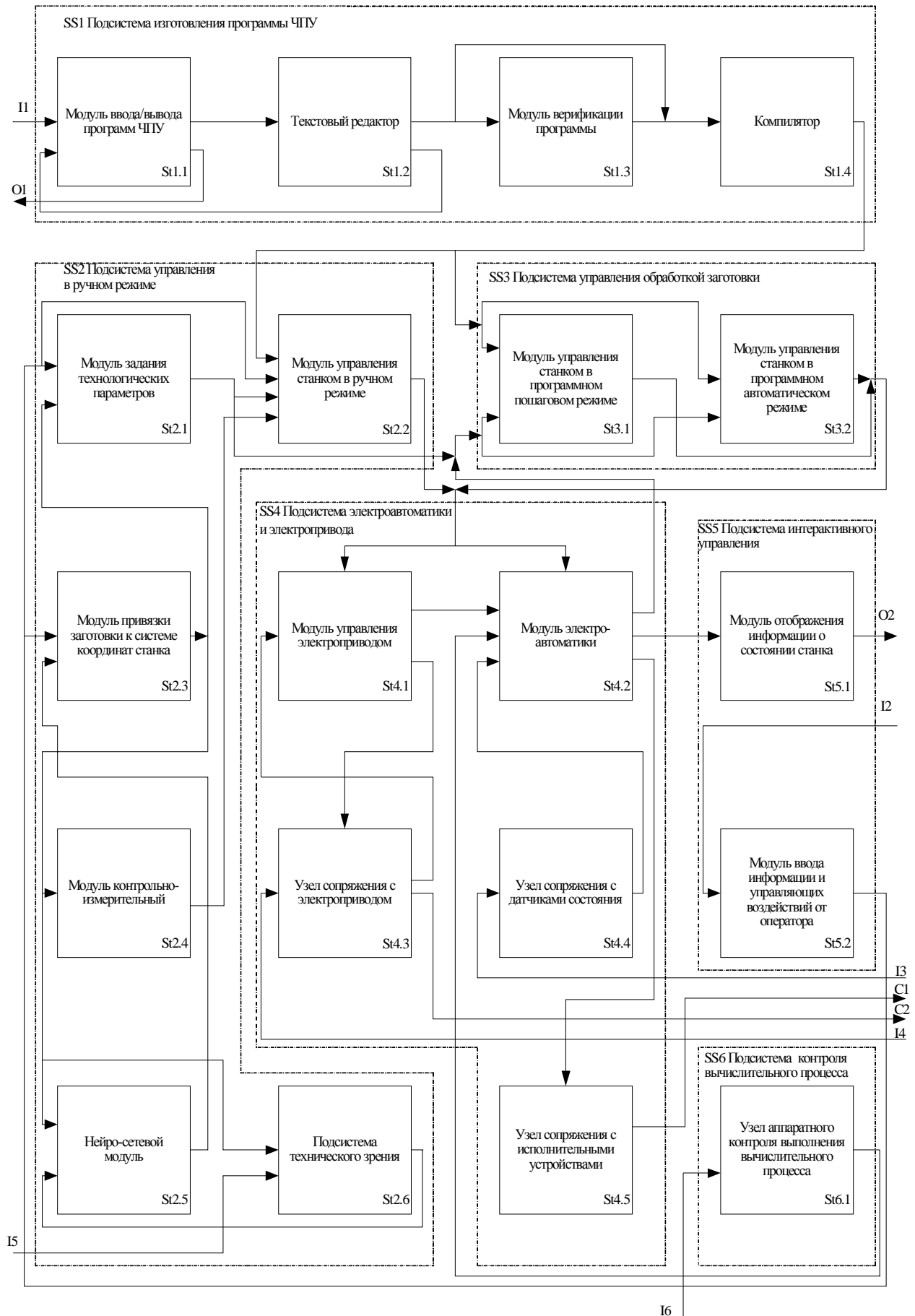


Рис. 2. Структура системы ЧПУ

Подсистема SS3 управления обработкой заготовки, предназначена получения детали заданной формы и должна состоять из следующих функциональных модулей:

St3.1 - модуля управления станком в программном пошаговом режиме, предназначенного для выполнения функций F3.1.1 - F3.1.7 ;

St3.2 - модуля управления станком в программном автоматическом режиме, предназначенного для выполнения функций F3.2.1 - F3.2.7 .

Подсистема SS4 электроавтоматики станка предназначена для считывания информации с датчиков состояния и управления электроприводом и исполнительными устройствами в соответствии с программой ЧПУ и информацией состояния и должна состоять из следующих функциональных модулей и узлов:

St4.1 - модуля управления электроприводом, предназначенного для выполнения функций F4.1;

St4.2 - модуля электро-автоматики станка, предназначенного для выполнения функций F4.2.1 - F4.2.8;

St4.3 - узла сопряжения с электроприводом, предназначенного для выполнения функции F4.3;

St4.4 - узла сопряжения с датчиками состояния станка, предназначенного для выполнения функции F4.4;

St4.5 - узла сопряжения с исполнительными устройствами, предназначенного для выполнения функции F4.5.

Подсистема SS5 интерактивного управления предназначена для обеспечения диалогового взаимодействия оператора-станочника и системы ЧПУ и должна состоять из следующих модулей:

St5.1 - модуля отображения информации о состоянии станка, предназначенного для выполнения функций с F5.1.1 по функцию 5.1.6;

St5.2 - модуля ввода информации и управляющих воздействий от оператора, предназначенного для выполнения функций F5.2.1 - F5.2.3.

Подсистема SS6 контроля вычислительного процесса предназначена для обнаружения сбоев вычислительного процесса и должна состоять из узла St19 аппаратного контроля выполнения вычислительного процесса, предназначенного для выполнения функций F6.1.1 - F6.1.3.

На рис. 1 показаны следующие входные, выходные и управляющие потоки:

И1 – входной поток данных при вводе программы ЧПУ с внешнего носителя;

О1 - выходной поток данных при выводе программы ЧПУ на внешний носитель;

О2 – выходной поток данных для оператора о состоянии станка и состоянии выполнения программы ЧПУ;

И2 – входной поток управляющей информации от оператора;

И3 - входной поток данных от датчиков состояния станка;

С1 - выходной поток управляющих воздействий на исполнительные устройства станка;

С2 - выходной поток управляющих воздействий на электропривод;

И4 – входной поток данных о состоянии электропривода;

И5 - входной поток видео информации о расположении заготовки;

И6 – входной поток данных о состоянии вычислительного процесса контролируемой ЭВМ.

## Выводы

В аппаратном плане представленная система может быть реализована различными способами. Основным элементом системы является управляющая ЭВМ, в качестве которой, в зависимости от экономических возможностей заказчика, может быть применена как промышленная ЭВМ, так и персональная ЭВМ. Кроме того, стоимость управляющей ЭВМ будет определяться стоимостью выбранной комплектации (процессор, оперативная память, внешняя память и т.п.).

Большинство модулей приведенной структуры могут быть реализованы программно. Некоторые модули могут быть реализованы только аппаратно, например, выполняющие функцию сопряжения с электроприводом и технологическими устройствами станка.

Некоторые модули допускают как программную, так и аппаратную реализацию. Очевидно, что разработка, отладка, модернизация и сопровождение программного обеспечения, реализующего некоторую функцию проще и дешевле чем разработка, отладка, модернизация и сопровождение аппаратного устройства, реализующего такую же функцию.

Но аппаратная реализация некоторой функции, например, подсистемы электроавтоматики, повышает быстродействие системы, поскольку ресурс центрального процессора не отвлекается на обработку программной модели соответствующей функции.

Предложенная структура может быть легко изменена как в сторону повышения функциональности за счет введения новых модулей, расширяющих возможности системы, так и в сторону понижения функциональности за счет удаления имеющихся

модулей, что даст возможность заказчику самостоятельно определять необходимую и достаточную функциональность системы и, соответственно, ее стоимость.

Отметим, что имеет место базовый набор функций и, соответственно, реализующий их базовый набор модулей.

Ни одна из базовых функций не подлежит удалению, поскольку в этом случае система не сможет выполнять целевую функцию.

В предложенной структуре набор базовых функций реализуется модулями St1.4, St2.1, St2.2, St2.3, St3.1, St3.1, St4.1, St4.2, St4.3, St4.4, St4.5, St5.1, St5.2.

### Список литературы

1. Кошкин В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин. - М.: Машиностроение, 1989. - 248с.
2. Балаиов Е.П. Эволюционный синтез систем / Е.П. Балаиов- М.: Радио и связь, 1985. - 328с.
3. Балаиов Е.П. Микро и мини-ЭВМ / Е.П. Балаиов, В.Л. Григорьев, Г.А. Петров. - Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. Отделение, 1984. - 376с.
4. УСТРОЙСТВО ЧИСЛОВОГО ПРОГРАММНО-ГО УПРАВЛЕНИЯ NC-200, NC-210, NC-220, NC-230 Руководство оператора Балт-Систем Санкт-Петербург 2008 г
5. FANUC Series oi-TC Operator's manual B-64114EN/01
6. Устройство ЧПУ 2С42-65 Руководство оператора 2.5748275.000001-03 34 01
7. УЧПУ „Электроника НЦ-31” Программное обеспечение. Руководство оператора 589.400.1008.00004-01 33 01

8. SIEMENS SINUMERIK 810D manualturn Руководство оператора Издание 06.97

9. WL3M Руководство оператора Версия 1.12., West Labs Industrial Electronics Department 2000г

10. Сосонкин В.Л. Системы числового программного управления / В.Л. Сосонкин, Г.М. Мартинов. - М.: Логос, 2005. - 296 с.

11. Кряжев Д.Ю. Фрезерная обработка на станках с ЧПУ с системой ЧПУ FANUC / Д.Ю. Кряжев. - СПб.: ИРЛЕН-инжиниринг, 2005. - 41 с.

12. Ловыгин А.А. Современный станок с ЧПУ и CAD-CAM система / А.А. Ловыгин, А.В. Васильев, С.Ю. Кривцов. - М.: «Эльф ИПР», 2006. -286с.

13. United States Patent US7,117,056B2 Balic, October 3, 2006. CNC control unit with learning ability for machining centers [электронный ресурс]. - Режим доступа к ресурсу: <http://patft.uspto.gov>

14. ГОСТ 2.702-2011 Единая система конструкторской документации. Правила выполнения электрических схем

15. Standard for Integration Definition for Function Modeling (IDEF0). Draft Federal Information Processing Standards Publication 183 1993 December 21

Поступила в редколлегию 21.10.2011

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. И.В. Шостак, Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», Харьков.

### ФУНКЦІЇ ТА СТРУКТУРА СИСТЕМИ ЧПУ

М.В. Хрульов, В.І. Задорожний, С.Ю. Куницька

Розглянуто питання формування структури системи ЧПУ на основі функціонально-структурного підходу, запропонованого в роботах Є.П. Балашова. В результаті декомпозиції цільової функції системи формується дерево функцій. Функції 1-го рівня визначають основні показники системи ЧПУ, такі як продуктивність, надійність, функціональність і мають першочерговий вплив на структуру системи. Додаткові функції 2-го і 3-го рівнів розширюють функціональність системи ЧПУ, впливають як на продуктивність і якість роботи системи в цілому, так і на продуктивність і якість роботи оператора. Наведено результати синтезу структури системи ЧПУ на основі запропонованого дерева функцій.

**Ключові слова:** дерево функцій, структура, функціонально-структурний підхід, система ЧПУ.

### FUNCTIONS AND STRUCTURE OF THE CNC SYSTEM

N.V. Khrulov, V.I. Zadorojny, S.Y. Kunitskaya

Questions of forming the structure of CNC system on the basis of the functional-structural approach proposed in the works of E.P. Balashov are considered. As a result of the target function of system decomposition the functions tree is formed. The functions of 1<sup>st</sup> the level defines the basic parameters of the CNC system, such as performance, reliability, functionality and provide a top-priority influence on the structure of the system. Additional functions of the 2<sup>nd</sup> and 3<sup>rd</sup> levels enhance the functionality of the CNC system, affect productivity and quality of work of the system as a whole, and on the productivity and quality of work of the operator. The results of the synthesis of the structure of CNC system on the basis of the suggested functions tree are produced.

**Keywords:** functions tree, structure, functional-structural approach, the CNC system.