

**Министерство образования Московской области
Государственный университет «Дубна»**

**Филиал «Протвино»
Кафедра автоматизации технологических процессов и производств**

А. А. Евсиков, В. А. Коковин, А. П. Леонов

Системы управления оборудованием в автоматизированном производстве

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано учебно-методическим советом
университета «Дубна» в качестве учебного пособия
для студентов университета «Дубна», обучающихся по направлению подготовки
«Автоматизация технологических процессов и производств»
(магистратура)



Дубна
2018

УДК 62-52
ББК 34.630.2
Е 25

Рецензент:

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник отдела электроники и автоматизации
Института физики высоких энергий им. А.А. Логунова НИЦ «Курчатовский институт»
Е. А. Устинов

Евсиков, А. А.
Е 25 Системы управления оборудованием в автоматизированном производстве : учебное пособие / А. А. Евсиков, В. А. Коковин, А. П. Леонов. — Дубна: Гос. ун-т «Дубна», 2018. — 138 [1] с.

ISBN 978-5-89847-538-3

Изложен материал, формирующий у студентов знания и навыки, необходимые: для *проектирования* систем управления гибкими производственными модулями (ГПМ), включая робототехнические комплексы (РТК); для *модернизации и проектирования* систем числового программного управления (ЧПУ) металлорежущими станками. Систематизирована информация об управлении основным (металлорежущие станки с ЧПУ) и вспомогательным (промышленные роботы, накопительные устройства) оборудованием ГПМ (РТК) на базе средств промышленной автоматизации компании *Siemens*, одного из лидеров на мировом и российском рынках. На примерах рассмотрен порядок выполнения двух типов курсовых проектов по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве».

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» (магистратура).

УДК 62-52
ББК 34.630.2

ISBN 978-5-89847-538-3

© Государственный университет «Дубна», 2018
© Евсиков А.А., Коковин В.А., Леонов А.П., 2018

Оглавление

Введение	5
Глава 1. Станок с ЧПУ как объект управления.....	7
1.2. Российский рынок систем ЧПУ и импортозамещение	9
1.3. Средства промышленной автоматизации компании <i>Siemens</i>	10
1.3.1. Системы ЧПУ <i>SINUMERIK</i>	10
1.3.1.1. Системы ЧПУ для простых станков.....	10
1.3.1.2. Системы ЧПУ для сложных станков.....	11
1.3.1.3. Идеология программирования станков с ЧПУ	11
1.3.2. Электродвигатели <i>Siemens</i> для станков с ЧПУ	12
1.3.3. Линейка приводов <i>SIMODRIVE</i>	14
1.3.3.1. Модульная конструкция приводов <i>SIMODRIVE</i>	14
1.3.3.2. Встраиваемые платы регулирования.....	15
1.3.4. Семейство приводов <i>SINAMICS</i>	17
1.3.5. Средства промышленной автоматизации семейства <i>SIMATIC</i>	19
1.3.5.1. ПЛК семейства <i>S7-200</i>	19
1.3.5.2. ПЛК семейства <i>S7-300</i>	22
1.3.5.3. ПЛК семейства <i>S7-400</i>	24
1.3.5.4. ПЛК семейства <i>S7-1200</i>	25
1.3.6. Система управления движением и позиционированием <i>SIMOTION</i>	26
1.3.7. Программа конфигуратор <i>NCSD</i> для семейств систем автоматизации <i>SINUMERIK</i> и <i>SIMODRIVE</i>	29
1.4. Особенности управления электроприводами основных и вспомогательных движений.....	31
1.4.1. Электроприводы главного движения.....	31
1.4.2. Электроприводы подачи	33
1.4.3. Системы подчиненного управления	33
1.4.4. Интеллектуальные цифровые приводы основных движений станков с ЧПУ	38
1.4.5. Системы стабилизации мощности и усилия резания	40
1.4.6. Система стабилизации упругих деформаций, возникающих в зоне резания.....	42
1.4.7. Приводы вспомогательных движений.....	43
1.4.7.1. Устройства автоматической смены инструмента (АСИ)	43
1.4.7.2. Устройства АСИ для станков токарной группы	44
1.4.7.3. Устройства АСИ для фрезерно-сверлильно-расточных станков.....	47
1.4.7.4. Устройство АСИ токарно-фрезерных обрабатывающих центров.....	49
Глава 2. Накопительные устройства ГПМ и РТК	51
2.1. Конструктивно-компоновочные схемы контейнеров	51
2.2. Разновидности накопительных устройств	53
Глава 3. Промышленные роботы в ГПМ и РТК	59
3.1. Структура и функции промышленных роботов	60
3.2. Системы координат промышленных роботов	64
3.3. Захватные устройства промышленных роботов.....	67
3.4. Управление промышленными роботами в ГПМ (РТК)	69
3.4.1. Взаимодействие основных частей манипулятора и управляющего устройства.....	69
3.4.2. Цикловое программное управление.....	69
3.4.3. Позиционное и контурное программное управление.....	71
3.4.4. Характеристики систем управления промышленными роботами	73
3.5. Технические характеристики и классификация промышленных роботов.....	73
3.6. Требования к промышленным роботам ГПМ (РТК) по металлообработке.....	75
Глава 4. Организация курсового проектирования по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве»	78
4.1. Проектирование системы управления оборудованием ГПМ (РТК).....	78
4.1.1. Исходные данные и порядок изложения материала в курсовом проекте	78
4.1.2. Автоматизация процесса обработки деталей в ГПМ (РТК).....	84

4.1.2.1. Разработка программы управления обработкой детали на станке с ЧПУ	85
4.1.2.2. Разработка структуры системы управления обработкой детали в ГПМ (РТК) с выбором ПЛК.....	85
4.1.2.3. Разработка алгоритма программы управления ПР.....	89
4.1.2.4. Разработка текста программы управления ПР (вспомогательным оборудованием)	96
4.2. Модернизация систем ЧПУ станков на базе оборудования компании <i>SIMENS</i>	98
4.2.1. Исходные данные и порядок изложения материала в курсовом проекте.....	98
4.2.2. Модернизация системы ЧПУ многоцелевого станка ИРТ180ПМФ4 и системы управления сменой инструмента и инструментальных барабанов.....	99
4.2.2.1. Анализ исходных данных	99
4.2.2.2. Задание на модернизацию системы ЧПУ на базе оборудования компании <i>SIMENS</i>	106
4.2.2.3. Выбор управляющих и исполнительных устройств компании <i>Siemens</i>	107
4.2.2.4. Разработка структуры системы управления РТК.....	111
4.2.2.5. Разработка алгоритма управления устройством автоматической смены инструмента и инструментальных барабанов	114
4.2.2.6. Разработка программы управления сменой инструмента и инструментальных барабанов в станке ИРТ180ПМФ4	118
4.2.2.7. Разработка программы управления обработкой детали «Крышка корпуса левая» на станке с ЧПУ ИРТ180ПМФ4.....	118
Глава 5. Организация и оформление курсового проектирования.....	119
Библиографический список	122
Приложение А.....	125
Приложение Б.....	126
Приложение В.....	129
Приложение Г.....	131
Приложение Д.....	133
Приложение Е.....	134
Приложение Ж.....	135
Приложение И.....	138

Введение

Накопленный опыт в области ЧПУ к настоящему времени в значительной мере пересматривается с учетом возрастающих потребностей станкостроителей и конечных потребителей металлообрабатывающего оборудования [36]. Стратегия технологической эволюции – создание многофункциональных станков с дополнительными опциями, резко увеличивающих возможности оборудования для обработки деталей высокой сложности. Ставятся задачи создания станков с быстрым и гибким переоснащением для обработки деталей нового типа; увеличения скорости работы станка, совершенствования систем контроля и диагностики станков с ЧПУ.

Однако создание станков с ЧПУ не в полной мере решает проблему автоматизации механообработки [45]. Требуется участие человека в выполнении транспортных и складских операций, наладки, контроля, подготовки инструмента и оснастки, загрузки заготовок и т.д. В массовом производстве находят широкое применение автоматические линии, где автоматическая загрузка-разгрузка оборудования осуществляется автооператорами. В серийном производстве обработка деталей ведется партиями, требуется частая переналадка станков.

Автоматизация единичного, мелкосерийного и серийного производства стала возможна на основе применения в комплексе со станками с ЧПУ вспомогательного оборудования, управление которым также осуществляется на основе принципов числового программного управления с использованием микропроцессоров [45]. Такие комплексы из оборудования с ЧПУ, переналаживаемого на выпуск широкой номенклатуры типовых деталей, функционирующих по принципу гибкой технологии, получили название гибких производственных систем (ГПС). Различают ГПС механообработки деталей типа «тела вращения», плоских и корпусных деталей [9].

В составе ГПС основным элементом является гибкий производственный модуль (ГПМ).

ГПМ – гибкая производственная система в виде единицы технологического оборудования, оснащённая автоматизированным устройством программного управления и средствами автоматизации технологического процесса, автономно функционирующая, осуществляющая многократные циклы и обладающая способностью быстрой переналадки [5]. ГПМ можно встраивать в ГПС более высокого уровня: автоматизированную линию, участок, цех, завод.

Частный случай ГПМ – роботизированный технологический комплекс (РТК), включающий металлообрабатывающий станок с устройством ЧПУ, устройством автоматической смены инструмента, системой охлаждения, устройством для сбора и удаления стружки; индикаторными устройствами для контроля состояния режущего инструмента и контроля точности обработки заготовки, транспортно-накопительное оборудование; промышленный робот [5].

Состав оборудования ГПМ определяется конструктивно-технологическими характеристиками обрабатываемых деталей [45].

Токарный ГПМ включает в себя токарный станок с ЧПУ, промышленный робот для загрузки-разгрузки станка, накопителя заготовок и обработанных деталей. В состав ГПМ входит и оборудование для контроля деталей – измерительные головки, щупы и измерительные машины.

Два или более ГПМ образуют ГПС. В соответствии с ГОСТ 26228-84 ГПС определяется как совокупность технологического оборудования и системы обеспечения его функционирования в автоматическом режиме, обладающая свойством автоматизированной переналадки при производстве деталей разной номенклатуры. Для обработки деталей типа тел вращения (валы, диски и т.п.) в составе ГПС применяют в основном токарные центровые, патронные и патронно-центровые станки с микропроцессорными ЧПУ.

В состав ГПС входят и сверлильно-фрезерные станки, в том числе обрабатывающие центры, что позволяет выполнить на ГПС до 75–80% трудоемкости обработки деталей данного типа. С включением в ГПС шлифовальных и зубообрабатывающих станков с ЧПУ такие детали могут быть обработаны полностью.

Станки одинакового технологического назначения на ГПС должны быть одной модели. Благодаря этому достигается взаимозаменяемость станков, крепежной оснастки, инструмента и управляющих программ; упрощается обслуживание и ремонт оборудования; обеспечивается более полная загрузка его по времени.

Проектирование, внедрение и эксплуатация систем управления оборудованием ГПМ, предназначенным для автоматизации технологических процессов и производств, является актуальной задачей, для решения которой необходима подготовка квалифицированных инженерных кадров.

В основной профессиональной образовательной программе по направлению подготовки 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств» определены общепрофессиональные и профессиональные компетенции, освоение которых студентами обеспечивает получение знаний и навы-

ков, необходимых для успешного решения вышеуказанных задач. Формирование заявленных компетенций у студентов осуществляется:

- в процессе аудиторных занятий (лекции, практические занятия, лабораторные работы);
- при выполнении научно-исследовательских работ;
- при прохождении практик (учебная, производственная, преддипломная);
- при выполнении самостоятельных работ (контрольные работы, рефераты, презентации, курсовые проекты).

Курсовой проект – квалификационная работа студента, предназначенная для формирования обще-профессиональных и профессиональных компетенций, для объективного контроля усвоенных знаний, сформированных компетенций, умений и навыков решать задачи по видам профессиональной деятельности, установленным федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств».

В соответствии с основной профессиональной образовательной программой по направлению подготовки «Автоматизация технологических процессов и производств» в процессе обучения студенты выполняют четыре курсовых проекта по дисциплинам «Прикладная механика», «Технические средства автоматизации», «Технологические процессы автоматизированных производств», «Управление в автоматизированном производстве».

В данном учебном пособии изложен теоретический материал, необходимый для решения задач управления оборудованием в составе ГПМ (РТК) при механообработке изделий, а также для выполнения курсового проектирования по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве». Изложение теоретического материала сопровождается конкретными примерами.

Цель курсового проектирования по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве» – *самостоятельное* решение студентами конкретных задач по проектированию систем управления основным и/или вспомогательным оборудованием в составе ГПМ или РТК в условиях автоматизированного машиностроительного производства.

Структура конкретного ГПМ (РТК) определяется параметрами технологического процесса обработки заготовки детали и строится вокруг станка с ЧПУ. В состав ГПМ, как правило, входят:

- основное оборудование (станок с ЧПУ, на котором осуществляется обработка детали);
- вспомогательное оборудование (загрузочное и приемное устройства; промышленный робот; другое оборудование (при наличии)).

Глава 1. Станок с ЧПУ как объект управления

Несмотря на многообразие металлообрабатывающих станков, все они характеризуются несколькими общими понятиями [2]:

1. **Число управляемых осей (осей геометрии).** Характеризует возможности станка по формированию траектории движения его исполнительных органов в пространстве. Для управления токарным станком достаточно двух управляемых осей. Для обработки корпусных деталей требуется минимум три одновременно управляемых оси. Для обработки сложных изделий, требующих ориентации инструмента относительно поверхности детали, управляемых осей может быть пять и более. Это характерно для многооперационных станков типа обрабатывающего центра.

2. **Главное движение.** Это движение, обеспечивающее перемещение рабочей точки, линии или поверхности инструмента относительно заготовки и производящее при этом обработку. В токарных станках это вращение заготовки; во фрезерных – вращение фрезы; в шлифовальных – вращение шлифовального круга. Как правило, главное движение имеет наибольшую мощность привода, т.к. главный привод станка обеспечивает необходимое усилие резания.

3. **Движения подачи.** Это движения по осям геометрии станка, обеспечивающее перемещение исполнительных органов станка по определенной плоской или пространственной траектории (контуру) с заданной скоростью. Диапазон изменения скоростей приводов подач очень велик и определяется технологическими режимами обработки. Существенно, что задается контурная скорость движения точки инструмента, а требуемые при этом скорости подач по осям станка вычисляются системой управления.

4. **Вспомогательные движения.** Это движения, которые непосредственно не участвуют в процессе резания, но способствуют ему или выполняют вспомогательные операции (автоматическая смена инструмента, подача охлаждающей жидкости, зажим и отжим заготовки, автоматический подвод и отвод инструментов, автоматический контроль размеров в процессе обработки и т.д.).

Основные и вспомогательные движения на станках выполняются от электро- и гидроприводов. Современные металлообрабатывающие станки оснащаются системами числового программного управления (ЧПУ).

1.1. Функции систем ЧПУ металлообрабатывающими станками

Числовое программное управление – это управление обработкой заготовки на станке или роботом по управляющей программе (УП), заданной в цифровой форме [2]. УП включает в себя геометрическую и технологическую информацию.

Геометрическая информация содержит данные о траектории движения инструмента и ее параметрах. Прямая и дуга окружности – основные элементы траектории, задаваемые в УП. Более сложные кривые обычно аппроксимируются отрезками прямых и дугами окружностей.

Технологическая информация в УП включает в себя данные о технологических режимах станка и режущем инструменте, а также функциях дискретно-логического управления вспомогательными системами станка.

Устройство ЧПУ имеет четыре основных функции (рис. 1):

- цифровое управление;
- обработка УП;
- связь с оператором;
- диагностирование УЧПУ.

При цифровом управлении осуществляется преобразование УП в сигналы управления исполнительными механизмами. При этом выполняются три функции.

1. Функция расчета траектории. Она включает в себя: интерпретацию (расшифровку) текста УП, коррекцию траектории движения с учетом геометрических размеров реального инструмента, расчет оптимальных режимов разгона и торможения. Выполняется не в режиме реального времени.

2. Функция воспроизведения траектории. Обеспечивает управление приводами осей и отслеживание правильности воспроизведения траектории. Для этого в режиме реального времени вычисляются координаты промежуточных точек траектории. Этот процесс называется интерполяцией. Также функция воспроизведения траектории обеспечивает реализацию замкнутого контура регулирования положения осей станка.

3. Функция управления электроавтоматикой (ЭА). Также осуществляется в режиме реального времени и обеспечивает выполнение технологических команд УП по включению/выключению вспомогательных устройств станка.



Рис. 1. Функции устройства ЧПУ

Функции обработки УП зависят от способа ее подготовки. Различают следующие способы подготовки:

- аналитический, предполагающий введение программы на языке технолога; он наиболее распространен при программировании станков с ЧПУ;
- непосредственное обучение, при котором координаты точек по всем осям заносятся в память после вывода всех исполнительных механизмов в заданную точку; этот способ используется, как правило, в промышленных роботах;
- полуаналитический, при котором координаты опорных точек записываются в память устройства ЧПУ, а участки кривых между ними аппроксимируются элементарными кривыми; этот способ используется в контурных устройствах ЧПУ роботами, когда траектория задается пространственной кривой.

Ввод УП может осуществляться:

- по локальной сети с сервера;
- с перфокарты со считывающего устройства ЧПУ (в современных разработках не применяется);
- с пульта оператора (для небольших программ).

Для коррекции УП современные устройства ЧПУ имеют развитые инструментальные средства.

Для индикации режимов на экране панели оператора отображаются:

- текущее состояние и режим работы устройства;
- сообщения оператору;
- координаты текущего положения инструмента;
- текущие технологические режимы;
- текст текущей управляющей программы и т.д.

Ввод команд оператора в устройство ЧПУ производится при помощи функциональной клавиатуры. В современных системах ЧПУ, кроме функциональных, широко используются программные клавиши (*SoftKey*). Их назначение изменяется в зависимости от режима ЧПУ. Текущее назначение программных клавиш отображается на экране панели оператора.

Различают следующие режимы работы устройства ЧПУ:

1. Режим наладки станка. Оператор с пульта вручную управляет перемещениями, что используется при установке и базировании заготовки на станке.
2. Режим выхода в исходное состояние (поиск нулевых координат по всем осям). После включения УЧПУ позволяет осуществить поиск ноль-меток измерительных датчиков и определить положение осей станка в его системе координат.

3. Режим ввода и вывода информации по каналам связи.

4. Режим выполнения управляющей программы.

Для диагностирования в устройстве ЧПУ используются различные программно-аппаратные средства (датчики, программные счетчики и др.). С их помощью осуществляется диагностирование:

- аппаратных средств устройства ЧПУ;

- системного программного обеспечения и правильности ввода УП;
- протекания технологического процесса.

Чем точнее указано место неисправности, тем меньше время восстановления работоспособности системы, что очень важно в производственных условиях.

1.2. Российский рынок систем ЧПУ и импортозамещение

В последние два десятилетия на российском рынке доминировали иностранные поставщики ЧПУ [36]. Этот выбор наших машиностроительных компаний был обусловлен прагматическими соображениями: применение импортного оборудования во многих случаях позволяло повысить точность изготовления ответственных деталей, разработать и реализовать технологию их изготовления на самом высоком уровне с использованием передовых технологических решений и инструмента. В настоящее время количество новых импортных станков, поставленных на отечественные машиностроительные предприятия, значительно превышает количество новых станков, произведенных в РФ [36].

В то же время Россия еще до введения санкций сталкивалась с ограничениями, когда нам отказывались продавать системы ЧПУ для 5-координатной обработки деталей. На оборудовании иностранного производства установлены импортные УЧПУ, которые в ряде случаев (особенно для уникальных станков) требуют подключения к Интернету, якобы для удаленного сервиса, обновления программного обеспечения, а что на самом деле передается через всемирную паутину, знают только производители ЧПУ. При использовании такого оборудования остро встает вопрос обеспечения информационной безопасности технологического процесса производства, особенно на оборонных предприятиях [36].

Поэтому в нынешних усложнившихся политических и экономических реалиях тема импортозамещения в сфере ЧПУ значительно актуализировалась. Потенциал для этого есть; в этом плане вполне оптимистичным является прогноз председателя совета директоров АО «Станкопром» Сергея Макарова, считающего, что в ближайшие 5–7 лет возможно добиться 70–80% замещения отечественными аналогами универсального металлорежущего оборудования с ЧПУ, включая многокоординатное [36]. Обеспеченность зависимостью отечественных производителей, прежде всего в сфере ОПК, от импортного ЧПУ разделяет и Минпромторг, еще в 2016 г. инициировавший разработку законопроекта о запрете поставок оборудования с числовым программным обеспечением, произведенного за рубежом. Определяются меры государственной поддержки, необходимые для того, чтобы импортозамещение в сфере систем ЧПУ состоялось в запланированные сроки и без потери в качестве.

Одним из перспективных направлений развития отечественных систем ЧПУ является создание комплектных систем управления [36]. Например, в системе ЧПУ *Flex NC* в комплект поставки вместе с системой ЧПУ входит контроллер электроавтоматики, электроприводы до 120 кВт с большим диапазоном регулирования скорости до 100 000:1 и электродвигатели. Особенность поставляемых комплектов заключается в том, что данный комплект полностью разработан и изготавливается в России. Электроприводы могут работать с любыми электродвигателями (синхронными, асинхронными, шаговыми). Диапазон регулирования скорости до 100 000:1 обеспечивается как для синхронных, так и для асинхронных электродвигателей.

Одним из лидеров в производстве систем ЧПУ в России является фирма «Балт-Систем». Области применения систем ЧПУ фирмы «Балт-Систем» [34] – деревообрабатывающее и металлообрабатывающее оборудование фрезерно-сверлильно-расточной, токарно-карусельно-револьверной и шлифовальной групп, а также газо-плазменное и лазерное оборудование.

Фирма «Балт-Систем» поставляет на рынок следующие системы ЧПУ [34]: NC-201, NC-202, NC-220, NC-230, NC-110.

NC-201 применяется для управления токарными станками. Устройство предназначено для управления тремя осями и дискретными входами/выходами не более 40/24.

NC-202 применяется для управления токарными станками. Устройство предназначено для управления тремя осями с цифровым импульсным управлением и дискретными входами/выходами не более 40/24.

NC-210 применяется для управления станками с количеством осей не более четырех и дискретными входами/выходами не более 64/48. Используется для управления фрезерными, токарными, газоплазменными и лазерными станками.

NC-220 применяется для управления оборудованием с шаговыми приводами исполнительных механизмов. Устройство управляет четырьмя осями и дискретными входами/выходами не более 64/48.

NC-230 применяется для управления станками с количеством осей не более пяти и дискретными входами/выходами не более 64/48. Применяется для управления обрабатывающими фрезерными, токар-

ными центрами и управления двухсуппортными станками. Заложенный принцип компактности сделал возможным получение в устройстве высокой надежности, помехозащищенности, малого потребления мощности.

NC-110 – система широкого применения с легкой адаптацией к сложным объектам управления. Устройство управляет максимально 17 осями и дискретными входами/выходами 288/192. Устройство может работать с датчиками типа энкодер, резольвер, индуктосин. Предусмотрено управление максимально пятью процессами одновременно. Устройство отличается уникальным сочетанием multifunctionality, надежности, простоты изготовления. Устройство построено по модульному принципу и позволяет удовлетворять растущие запросы потребителей путем встраивания дополнительных аппаратных и программных модулей.

При проектировании отечественных комплектных систем ЧПУ важно учесть опыт мировых лидеров в данной сфере, к которым несомненно относится компания *Siemens*. Ее комплектные системы ЧПУ могут удовлетворить практически любого потребителя [34].

1.3. Средства промышленной автоматизации компании *Siemens*

За последние тридцать лет влияние числового программного управления на конструкцию станков привело к появлению совершенно новых моделей станков и механических автоматов. Сегодня станок с ЧПУ является краеугольным камнем современного гибкого производства.

Одним из законодателей мод на рынке станков с ЧПУ является продукция компании *Siemens*, которая не просто откликается на современные требования станкостроителей, но и активно инвестирует в продукты и проекты, которые потребуются заказчикам завтра.

1.3.1. Системы ЧПУ *SINUMERIK*

В настоящее время компания *Siemens* предлагает следующие системы ЧПУ семейства *SINUMERIK* [24]: *SINUMERIK 802C*, *SINUMERIK 802S*, *SINUMERIK 802D*, *SINUMERIK 810D*, *SINUMERIK 840D*, *SINUMERIK 840Di*.

Область применения: прецизионные 2–5 координатные станки с несколькими шпинделями, высокоскоростные станки, обрабатывающие центры, роботы-манипуляторы, автоматические линии и ротационные станки.

1.3.1.1. Системы ЧПУ для простых станков

В области ЧПУ компания *Siemens* расширила свою гамму и теперь предлагает системы ЧПУ не только для сложных станков, работающих на большие серии [24]. Например, заказчику предлагается семейство ЧПУ для простых станков (2 оси плюс шпиндель для токарных и 3 оси плюс шпиндель для фрезерных станков). В качестве приводов могут быть использованы как сервоприводы переменного тока с аналоговым интерфейсом (с ЧПУ *SINUMERIK 802C*), так и приводы на базе современных шаговых трёхполюсных двигателей (с ЧПУ *SINUMERIK 802S*).

Шаговые приводы позволяют существенно снизить общую стоимость станка, и поэтому очень популярны в простых станках. Такое оборудование выгодно использовать небольшим фирмам, являющимся либо поставщиками комплектующих для более крупных фирм, либо выпускающих небольшие серии деталей для собственных нужд, поддерживая при этом постоянный уровень качества и избавляясь от проблемы поиска высококвалифицированных специалистов.

Использование сервоприводов с аналоговым интерфейсом ($\pm 10\text{В}$) позволяет повысить точность обработки поверхности на тех же станках или же, что является очень актуальным сегодня на рынке СНГ, использовать ЧПУ *SINUMERIK 802C* для задач модернизации станков, причем появляется возможность оставить старые приводы, что существенно удешевляет модернизацию. При этом обеспечивается повышение производительности станка за счёт того, что новая система ЧПУ более надёжна в эксплуатации, а новые функции ЧПУ позволяют сократить время обработки детали.

Модификация *SINUMERIK 802C* позволяет использовать её в качестве простой цифровой индикации для цифровых станков. Причём её стоимость сравнима или даже ниже, чем классические системы индикации, существующие на рынке.

К этим ЧПУ вплотную примыкает система *SINUMERIK 802D* [58], которая добавляет ещё одну ось (например, для управления столом) и работает с универсальным сервоприводом *SIMODIRVE 611U*. Встроенный ПЛК *SIMATIC S7-200* осуществляет управление электроавтоматикой станка. Система ЧПУ, приводы и модули входов/выходов объединяются в единую систему через общий интерфейс. Осуществляет цифровое управление максимум 4 осями и 1 шпинделем.

Программа обработки детали может создаваться как с помощью самой системы *SINUMERIK*, так и с помощью внешней программы, написанной в G-кодах [41].

1.3.1.2. Системы ЧПУ для сложных станков

Для более сложных станков фирма *Siemens* предлагает уже завоевавшие доверие системы ЧПУ *SINUMERIK 810D* с процессорами *CCU1* и *CCU2* и *SINUMERIK 840D* с процессорами *NCU 571* и *NCU 572* [24]. Эти системы позволяют управлять 6–12 осями и имеют в своём составе функции, позволяющие управлять не только токарной или фрезерной обработкой, но и такими технологиями, как шлифование, лазерная резка, вырубка и управление роботами. Эти системы работают совместно с цифровым приводом *SIMODRIVE 611D*, что позволяет достичь точности и динамики, невозможных для традиционного аналогового привода.

Для сложных технологий формообразования, подготовки моделей и высокоскоростной обработки твёрдосплавных деталей предлагается линия *SINUMERIK Power line*, представленная в настоящий момент системами ЧПУ *SINUMERIK 810D* с процессором *CCU3* и *SINUMERIK 840D* с процессором *NCU 573*. Отдельной линией проходит система ЧПУ *SINUMERIK 840Di*. Это так называемая система ЧПУ, базирующаяся на стандартном промышленном ПК. При этом интерфейс пользователя и ядро ЧПУ реализованы программно, а программируемый логический контроллер (ПЛК) и интерфейсы подключения периферии и приводов – на единой слот-плате. В качестве привода используется тот же универсальный привод *SIMODRIVE 611U*, что и для *SINUMERIK 802D*.

Появление новых функций в ЧПУ позволяет сегодня существенно уменьшить время переналадки станка, которое в универсальном станке может занимать до 90% от общего времени работы. Другие функции позволяют избежать поломки дорогостоящего инструмента и повреждения дорогостоящей детали. Износ инструмента также можно снизить за счёт программных функций ЧПУ. Повышение качества обработки поверхности с использованием систем ЧПУ фирмы *Siemens* позволяет отказаться от финишной обработки деталей и тем самым не только сократить время производства (т.е. повысить производительность), но и уменьшить парк дорогостоящих станков.

1.3.1.3. Идеология программирования станков с ЧПУ

В течение долгого времени самым большим препятствием на пути быстрого внедрения и распространения станков с ЧПУ служило программирование. Для написания программ создавался специальный отдел, в котором работали сотрудники, обученные языку программирования ЧПУ. Было практически невозможно, чтобы даже не очень сложную программу вводил оператор непосредственно на станке.

Сегодня фирма *Siemens* предлагает возможность вводить программу обработки детали в виде обычной технологической карты [24]. Оператор или человек, вводящий программу непосредственно на станке, не должен обладать знанием языка программирования. Он просто вводит по шагам контур детали, состоящий из простых графических элементов, таких как прямая, дуга, конус и т.д. Все переходы между элементами просчитывает система ЧПУ. Затем моделируются инструменты и траектории их перемещения, а также съём материала с детали. Каждый шаг поддерживается графически на экране системы ЧПУ, а в завершение вы можете получить трёхмерное (или трёхпроекционное) динамическое моделирование обработки детали. Такое графическое моделирование является настолько точным, что больше нет необходимости использовать станок в целях проверки. Затем система ЧПУ формирует весь технологический процесс, включая число проходов, выбор инструментов, скорость вращения шпинделя, скорость подачи и подбор компенсационных значений. Такая программа может быть оттранслирована в машинные коды и использоваться в дальнейшем для серии станков. Таким способом можно запрограммировать в среднем до 90% деталей в любом производстве.

Таким образом, программирование снова возвращается в цех, что позволяет, с одной стороны, использовать знания технологии и опыт цеховых специалистов, а с другой – даёт возможность специалистам из отдела программирования сосредоточиться на оставшихся 10% и работать более эффективно. В условиях кадрового голода такое развитие событий может принести немалые экономические выгоды.

Но и в том случае, если программирование производилось не на станке, а, например, с помощью CAD-системы, оператор всё же во многих случаях имеет возможность просмотреть программу на станке в графическом виде и внести необходимые коррективы.

Фирма *Siemens* не ограничивается выпуском автономных систем ЧПУ. Она предлагает и сетевые решения для станков с ЧПУ. Речь идёт в первую очередь о централизованном хранении программ и управлении подачей необходимого инструмента на станок, а также о расчёте загрузки станка.

Обе эти задачи часто вызывают тревогу у цехового руководства, а вместе с тем их решение сегодня не требует ни больших капиталовложений, ни дорогостоящего обучения. Достаточно добавить программную опцию в каждую из систем ЧПУ и протянуть между станками стандартный сетевой кабель

(для сети типа *ETHERNET*) и решаете для себя важную задачу архивирования программ ЧПУ и всех связанных с ней данных в едином центральном архиве.

На деле это позволяет не только загружать программы, необходимые для выполнения заказа, одновременно на все станки, участвующие в заказе, но и исключить несанкционированный доступ к архиву. Кроме того, предоставляется возможность хранить в архиве множество вариантов одной и той же программы, разрешив, однако, доступ только к одному из них.

С программой всегда связан набор инструмента, необходимый для её выполнения. Система ЧПУ в состоянии сегодня рассчитать потребность в инструменте для данной программы. При этом учитывается тот инструмент, который находится в данный момент на станке в магазине, не забывая об его износе. Определив, какой инструмент, находящийся в магазине, потребуется для обработки данной детали, а какой следует отправить на склад, подобрав инструмент, который необходимо получить со склада, УЧПУ составляет список, который затем передаёт по сети на склад или на рабочее место подготовки инструмента, в случае если там существуют автоматизированные рабочие места.

Одним из дополнительных преимуществ в этом случае является учёт износа инструмента, хранящегося на складе, что позволяет принять правильное решение о том, куда направить тот или иной инструмент.

Ещё одна программная опция позволяет отслеживать загрузку станков. Это поможет с одной стороны правильно распределить нагрузку при выполнении заказа и тем самым сократить время на его выполнение. С другой стороны, накапливая статистику простоя станков, цеховое руководство сможет выявить их слабые места и принять решение либо о модернизации того или иного станка, либо об его замене. И делается это, не просто руководствуясь абстрактным наблюдением «станок старый», а просчитав экономические потери от простоев и эффективность нового станка.

Все современные приводы фирмы *Siemens* имеют программные пакеты для отладки привода. Достаточно указать тип двигателя, и преобразователь автоматически настраивается на его характеристики. Затем можно запустить автоматическую привязку двигателей к станку. Точную окончательную настройку можно произвести, используя программный осциллограф. Не за горами время, когда в эту цепочку будут включены и датчики измерения пути, что ещё более упростит и сократит отладку станков, а следовательно, снизит затраты и время на их производство.

1.3.2. Электродвигатели *Siemens* для станков с ЧПУ

Одной из существенных тенденций в станкостроении является упрощение конструкции и попытка уменьшения передаточных звеньев как на осях подачи, так и в шпинделе. Откликаясь на это требование рынка, компания *Siemens* разработала целое семейство линейных двигателей, позволяющих перевести динамику осей на совершенно другой уровень [24; 37]. Внутри семейства двигатели отличаются по точности и по вариантам охлаждения.

Что касается двигателей для шпинделя, то здесь для упрощения конструкции станка предлагаются как двигатели с полым валом, позволяющие охлаждать инструмент изнутри, так и асинхронные и синхронные мотор-шпиндели [8; 24; 37; 46].

В качестве исполнительных электродвигателей приводов главного движения используются (табл. 1) [8; 46]:

- асинхронные двигатели *1PH7* с воздушным охлаждением;
- асинхронные двигатели *1PH4* с водяным охлаждением;
- асинхронные двигатели с полым валом *1PM4*, *1PM6*;
- встраиваемые асинхронные электрошпиндели *1PH2*;
- встраиваемые асинхронные электрошпиндели *1PH3*, собранные в корпусе;
- встраиваемые синхронные электрошпиндели *1FE1*.

Таблица 1. Трёхфазные двигатели главного движения

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Число оборотов, об/мин	Номинальный момент вращения, Нм	Система датчиков	Охлаждение
<i>1PH7</i> асинхронный со сплошным валом	3,7–100	до 12 000	23,6–750	инкрементальный датчик, встроенный: sin/cos 1VPP, 2048 S/R	принудительная вентиляция
<i>1PH4</i> асинхронный со сплошным валом	7,5–50	»	48–331	инкрементальный датчик, встроенный: sin/cos 1VPP, 2048 S/R	водяное

Тип двигателя	Номинальная мощность, кВт	Число оборотов, об/мин	Номинальный момент вращения, Нм	Система датчиков	Охлаждение
1PM4 асинхронный с полым валом	3,7–27	»	24–170	измерительная система пустотелого вала, встроенная: sin/cos 1VPP, 256 S/R	масляное/водяное
1PM6 асинхронный с полым валом	3,7–22	»	24–140	измерительная система пустотелого вала, встроенная: sin/cos 1VPP, 256 S/R	принудительная вентиляция
1PH2 встроенный асинхронный с полым валом	7,5–48,1	до 10 000	48–918	измерительная система пустотелого вала • SIZAG с 256, 512 зубьями	водяное
1FE1 встраиваемый синхронный электрошпиндель	6,3–97	до 30 000	7–300	измерительная система пустотелого вала • SIZAG с 256, 512 зубьями • L&B GEL 244	»
1PH3 асинхронный мотор-шпиндель	10–48	до 7500	64–917	измерительная система пустотелого вала • SIZAG с 256, 512 зубьями	»

В приводах подач используются трехфазные синхронные вращательные и линейные двигатели (табл. 2) [8; 37], в простых станках – шаговые двигатели 1FL3 SIMOSTEP [54].

Таблица 2. Трехфазные двигатели для приводов подач

Тип двигателя	Номинальное число оборотов, об/мин	Момент вращения сост. покоя M_0 , Нм	Допустимая перегрузка	Датчики встроенные, для двигателей с/без интерфейса DRIVE-CliQ	Охлаждение
1FT6 синхронный с возбуждением постоянными магнитами	1500–6000	0,4–300	$4 \times M_0$	• инкрементальный датчик sin/cos 1VPP • абсолютный датчик с интерфейсом EnDat • резольвер	самоохлаждение; принудительная вентиляция; водяное
1FK7 Compact синхронный с возбуждением постоянными магнитами	2000–6000	0,85–48	$3 \times M_0$	• инкрементальный датчик sin/cos 1VPP • абсолютный датчик с интерфейсом EnDat • резольвер	самоохлаждение
1FK7 High Dynamic синхронный с возбуждением постоянными магнитами	2000–6000	1,3–28	$3 \times M_0$	• инкрементальный датчик sin/cos 1VPP • абсолютный датчик с интерфейсом EnDat • резольвер	»
1FW6 синхронный моментный, торoidalный	40–495	96,8–2450	$2 \times M_0$	• датчик угловых перемещений • инкрементальный датчик sin/cos 1VPP • абсолютный датчик с интерфейсом EnDat	водяное

Тип двигателя	Скорость, м/мин	Усилие подачи F_N , Н	Допустимая перегрузка	Датчик	Охлаждение
1FN1 синхронный линейный	65–214	790–14500	$2,25 \times F_N$	линейные измерительные системы • инкрементальные sin/cos 1 VPP • абсолютные с интерфейсом EnDat	водяное
1FN3 синхронный линейный	30–519	200–20700	$2,75 \times F_N$	линейные измерительные системы • инкрементальные sin/cos 1 VPP • абсолютные с интерфейсом EnDat	»

Также в приводах подачи используются синхронные двигатели *POSMO SI* со встроенными приводами и управлением по *PROFIBUS* [8].

Номенклатура электродвигателей компании *Siemens*, используемых в приводах станков с ЧПУ, постоянно расширяется. Для всех них обеспечивается электрическая совместимость с соответствующими силовыми модулями рассматриваемых ниже приводов семейств *SIMODRIVE* и/или *SINUMERICS*.

1.3.3. Линейка приводов *SIMODRIVE*

В настоящее время на рынке представлены следующие типы электроприводов компании *Siemens* [25]: *SIMODRIVE* 611A, *U*, *D*, *POSMO*.

1.3.3.1. Модульная конструкция приводов *SIMODRIVE*

SIMODRIVE 611 – это гибко проектируемая система приводов [25; 26; 44] (рис. 2), отвечающая как экономически, так и экологически техническим требованиям современных станков.

С *SIMODRIVE* 611 *Siemens* предлагает линейку приводов с аналоговым или цифровым управлением, отвечающую наивысшим требованиям в динамике, установочном диапазоне числа оборотов и свойствах кругового движения.

Линейка приводов *SIMODRIVE* 611 состоит из следующих функциональных модулей [25]:

- трансформаторы;
- сетевой фильтр;
- коммуникационные дроссели;
- модули питания;
- силовые модули;
- сменные модули управления, предназначенные для определенных технологий использования и типов двигателей;
- специальные модули и прочие принадлежности.

Все модули системы приводов *SIMODRIVE* 611 имеют:

- унифицированную конструкцию;
- интерфейсы для питания и коммуникации друг с другом;
- интерфейсы между платами управления и силовыми модулями.

Благодаря модульной конструкции системы приводов, могут быть реализованы конфигурации приводов с практически любым количеством осей или главных шпинделей [25; 26; 44].

Предлагается [44] полный диапазон приводов подач с моментами от 0.7 Нм до 145 Нм. В случае привода главного шпинделя *SIMODRIVE* 611 покрывает диапазон от 3.7 кВт до 100 кВт. Для простого привода главного шпинделя без датчика обратной связи, например деревообрабатывающих и высокоскоростных шлифовальных станков, *SIMODRIVE* 611 предоставляет встраиваемые модули регулирования с векторным регулированием для скоростей до 60 000 об/мин.

Мощность двигателя определяет необходимый силовой модуль. Требуемая для этого силового модуля мощность промежуточного контура определяет выбор необходимого модуля питания. Через модуль питания системная структура *SIMODRIVE* 611 подключается к сети напряжения с заземленной нейтралью (сеть *TN*).

Все модули системы приводов *SIMODRIVE* 611 имеют унифицированную конструкцию, в том числе, интерфейсы для питания и коммуникации друг с другом, а также стандартизированные интерфейсы между платами управления и силовыми модулями [25].

Линейка приводов предназначена для установки в распределительный шкаф, выполненный согласно действующих стандартов *EN 60204* для сферы применения «Обрабатывающие станки».

Для зависящих от мощности модулей сетевого питания и приводов имеются различные типы теплоотвода [25]:

- внутренний теплоотвод;
- внешний теплоотвод;
- воздухопроводный теплоотвод.

Модули линейки приводов *SIMODRIVE* 611 имеют закрытые и отвечающие требованиям электромагнитной совместимости (ЭМС) корпуса, соответствующие *DIN EN 60529 (IEC 60529)*. Электрическая система изготовлена согласно *EN 50178 (VDE 0160)* и *EN 60204*. Проводка силовых, сигнальных и шинных кабелей соответствует требованиям ЭМС [25].

Геометрические размеры модулей:

- длина всех модулей в модульной сетке кратна 50 мм;

- высота всех модулей унифицированная – 480 мм (включая крепежные накладки);
- ширина всех модулей (без штекера и опционных надстроек) относительно монтажной плоскости составляет:
 - при внутреннем или воздуховодном теплоотводе – 288 мм;
 - внешнем теплоотводе – 231 мм.

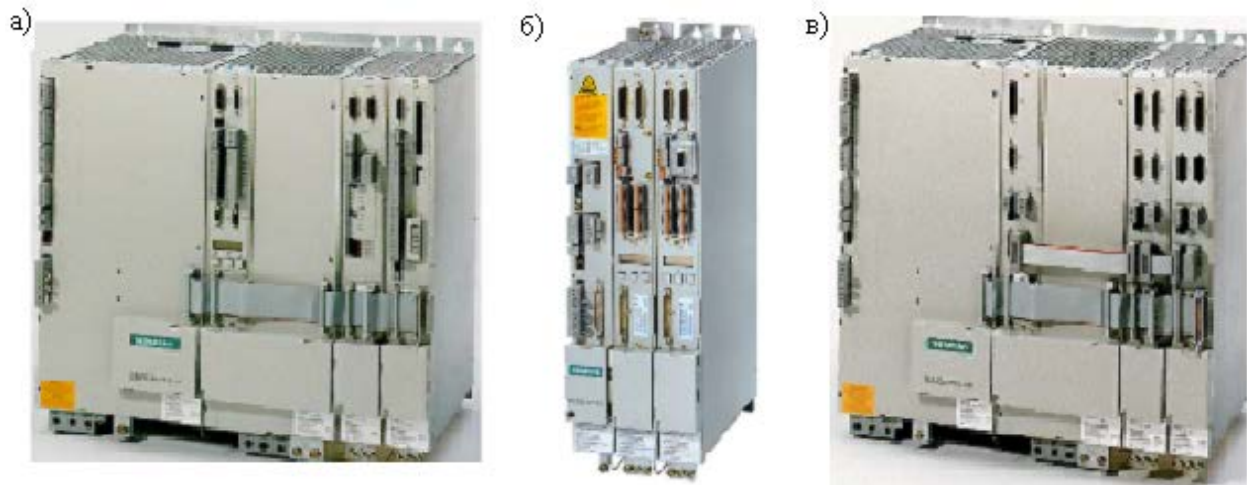


Рис. 2. Приводы SIMODRIVE 611: а) SIMODRIVE 611A, б) SIMODRIVE 611U, в) SIMODRIVE 611D

Системы приводов с *Siemens SIMODRIVE 611A, D, U* являются *централизованными* [25] и предлагают широкий выбор услуг в модульной технике. С помощью различных модулей управления могут быть реализованы различные соединения приводов с вышестоящей системой ЧПУ. С помощью предложенной модульной системы могут быть реализованы любые конфигурации приводов. Таким образом, возможно сквозное проектирование для любой установки, от компактного станка до комплексной установки.

Системы приводов с *SIMODRIVE POSMO* являются *децентрализованными* [25]. Техника приводов перемещается из распределительного шкафа непосредственно на станок. Распределительный шкаф упрощается, это же относится к монтажу станка благодаря комплексным устройствам, что уменьшает затраты на монтаж благодаря упрощенной проводке кабеля.

Преимущества децентрализованной техники приводов в особой мере проявляются на станках и установках больших размеров.

Приводы с аналоговым (*SIMODRIVE 611A*) или цифровым (*SIMODRIVE 611U/SIMODRIVE 611D*) управлением отвечают наивысшим требованиям в динамике, установленном диапазоне оборотов и точности вращения [25; 26; 44].

1.3.3.2. Встраиваемые платы регулирования

Силовые модули для приводов осей содержат встраиваемые платы регулирования с соответствующими технологическими функциями. Предлагаются следующие регуляторы для обеспечения высокого качества обработки детали [44].

Встраиваемые платы регулирования с аналоговым интерфейсом задающего значения обмениваются данными с ЧПУ высокого уровня, контроллерами и системами позиционирования, используя уже привычный интерфейс задания скорости ± 10 В. Специфические параметры пользователя и машинные данные вводятся непосредственно на модуле или на отдельном установочном модуле. С помощью этого модуля задания параметров данные могут быть введены для других осей. Дружественный интерфейс контролирует работу и выводит ошибки через 7-сегментный дисплей и релейные выходы. В дополнение к этой одноосевой встраиваемой плате регулирования предлагается вариант со стандартным интерфейсом как в одно-, так и в двухосевом исполнении.

Приводы главного шпинделя и приводы асинхронных двигателей работают с векторным регулированием. Алгоритм регулирования обрабатывается микропроцессором. Параметры обеспечивают базисные установки для специфических данных привода и машинных данных.

SIMODRIVE 611 универсальные встраиваемые платы регулирования универсальны для всех двигателей:

- имеют варианты с интерфейсом для скорости/момента;
- имеют варианты с позиционированием с 64 записями данных для позиционирования;
- обрабатывают аналоговые значения задания ± 10 В регулируемых величин;

- обрабатывают информацию с оптических датчиков и специальных зубчатых датчиков с синусно-косинусными сигналами по напряжению; с резольверов; с датчиков абсолютных величин с интерфейсом *EnDat*;
- имеют коммуникацию через интерфейс *PROFIBUS-DP* (опция);
- предлагаются в двухосевом и одноосевом исполнении для датчиков типа резольвер.

Встраиваемые платы регулирования с высокопроизводительным цифровым интерфейсом заданного значения для шины привода – это стандартные платы для продуктивной обработки деталей на высоких скоростях с регулированием цифровыми приводами.

Встраиваемая плата регулирования для гидравлических линейных операций спроектирована для активирования электрогидравлических серво-клапанов, содержит две оси и имеет схожую операционную философию как с цифровыми моторными осями, включая меню, управляющие операции параметризации и выбор записей данных.

Плата обеспечивает:

- структуры управления для электрогидравлического регулирования с высокодинамическими свойствами;
- управление заданием для клапанного усилителя по интерфейсу $\pm 10\text{ V}$;
- управление и коммуникацию гидравлических линейных осей по операционной шине;
- интерфейсы для *shutoff* клапанов, датчиков давления.

Может быть подключен инкрементальный и абсолютный (*EnDat*) датчик линейного пути.

Системы приводов *SIMODRIVE 611A* (рис. 2а) с аналоговым заданием $\pm 10\text{ В}$ работают уже на протяжении многих лет [26].

Сегодня на смену приводам *SIMODRIVE 611A* приходят приводы с цифровым управлением *SIMODRIVE 611U* (рис. 2б). *SIMODRIVE 611U (Universal)* – это цифровой универсальный привод [26]. Универсальность заключается как с точки зрения управления (аналоговый интерфейс и/или интерфейс *PROFIBUS DP*), так и с точки зрения подключаемых двигателей:

- синхронных – *1FT6*, *1FK*, *1FN*, *1FW6*, *1FE1*;
- асинхронных – *1PH* и низковольтных *1LA* с/без датчика;
- двигателей иных производителей.

Возможность использования интерфейса *PROFIBUS DP* значительно увеличивает гибкость подключения такого привода к различным системам управления.

Наличие модулей с возможностью позиционирования позволяет использовать этот привод для решения простых задач перемещения осей, например, для манипуляторов, поворотных столов и т.д. Ввод в эксплуатацию привода осуществляется по выбору: или через дисплей и клавиатуру на модуле, или через утилиту для ввода в эксплуатацию “*SimoCom U*” для ПК.

Регуляторы привода *SIMODRIVE 611D* (рис. 2в) [26] могут использоваться универсально в качестве привода подачи или привода главного движения. Они используются вместе с системой ЧПУ *SINUMERIK 810D powerline* и *840D powerline* в комбинации с синхронными двигателями *1FT6*, *1FK* для приводов подачи, линейными двигателями *1FN* для приводов подачи, тороидальными двигателями *1FW6*, встраиваемыми шпинделями *1FE/2SP1* и асинхронными двигателями *1PM*, *1PH* для приводов главного движения. Обмен данными между приводом и ЧПУ осуществляется по цифровой шине. Параметризация и оптимизация привода выполняется с помощью установки соответствующих параметров со станочного пульта или внешнего компьютера.

Сегодня в качестве приводов для станков фирма *Siemens* предлагает в первую очередь цифровые приводы, т.е. интеллектуальные приводы со встроенным микропроцессором, которые принимают и обрабатывают сигнал с датчика измерения перемещения без участия устройства ЧПУ [24]. Управление от устройства ЧПУ идет при этом по цифровой шине сетевого типа. Такое управление повышает скорость реакции приводов и позволяет коэффициентам рассогласования и коэффициентам усиления контуров достичь уровней, недостижимых при классической схеме отдельных ЧПУ и привода, использующих каскадные регуляторы тока и скорости. Цифровой интерфейс позволяет также ускорить обмен данными между устройством ЧПУ и приводами.

Линейки приводов *SIMODRIVE 611* широко используются в станках с ЧПУ, работающих на современных предприятиях. Однако компания *Siemens* разработала более современный аналог – *Sinamics S*. Все новые ЧПУ *SINUMERIK* работают только с *SINAMICS S120* разных модификаций. Поэтому *Siemens* рекомендует закладывать в новые проекты только приводы *SINAMICS* [44].

1.3.4. Семейство приводов SINAMICS

SINAMICS – это новая серия приводов *Siemens* для машиностроения и промышленного оборудования, включая высокодинамичные сервоприводы для станков [61].

Заказчик может подобрать исполнение привода серии *SINAMICS* с оптимально подобранными характеристиками [61]:

- *SINAMICS G* разработан для стандартных приложений с асинхронными двигателями;
- *SINAMICS S* решает претенциозные задачи приводов с синхронными двигателями.

Общие аппаратные и программные компоненты, а также унифицированные инструменты для расчета, проектирования и ввода в эксплуатацию, обеспечивают высокую совместимость между всеми компонентами. Различные задачи приводов могут быть решены с помощью *SINAMICS* без нарушения целостности системы. Возможно простое комбинирование различных исполнений *SINAMICS* друг с другом. *SINAMICS* – это составная часть “*Totally Integrated Automation*” от *Siemens*. Универсальность приводов серии *SINAMICS* в плане конструкции, систем хранения данных и коммуникации с определенным уровнем автоматизации делает эти решения экономичными, с возможностью использования систем управления *SINUMERIK*, *SIMATIC* и *SIMOTION* [61].

В высокодинамичных сервоприводах для станков используется серия *SINAMICS S120*, которая решает претенциозные задачи приводов для широкого спектра промышленных приложений и имеет модульную конструкцию системы [60; 61; 62]. Из множества согласованных друг с другом компонентов и функций пользователь составляет комбинацию, наиболее полно отвечающую его требованиям. Мощная утилита для параметрирования *SIZER* упрощает выбор и определение оптимальной конфигурации привода.

SINAMICS S120 оптимально поддерживает широкий спектр двигателей [62]: синхронные – *1FT6*, *1FT7*, *1FK7*, *1FW3*, асинхронные – *1PH7*, *1PH4*, *1PL6*. Большой диапазон мощностей для указанных двигателей обеспечивается через сетевые питания (модули питания) и инверторы (модули двигателей), которые обеспечивают компактные, многоосевые конфигурации приводов [61].

Все компоненты *SINAMICS S120* [62], включая двигатели и шифраторы, взаимодействуют по общему последовательному интерфейсу *DRIVE CliQ*. *DRIVE-CLIQ* формирует основу для всей системы приводов. Стандартизированные кабели и соединители снижают разнообразие различных деталей и снижают затраты на хранение. Платы преобразователя (модуля датчиков) для преобразования стандартных сигналов шифроватора в *DRIVE CliQ* доступны для двигателей сторонних производителей и повторно используемых приложений.

Важным цифровым элементом связывания системы приводов *SINAMICS S120* являются электронные технические паспорта [62], интегрированные в каждом компоненте. Они обеспечивают возможность автоматического обнаружения для всех компонентов привода с помощью *DRIVE-CLiQ*-канала.

Предлагаются следующие активные компоненты *SINAMICS S120*, разработанные для монтажа в электрошкафы [60; 61], имеющие внутреннее воздушное охлаждение или другие типы охлаждения по запросу:

- активные компоненты со стороны сети: предохранители, сетевые дроссели и сетевые фильтры для подключения подачи энергии и для выполнения требований ЭМС;
- модули питания, выполняющие функцию подачи энергии в промежуточный контур;
- компоненты промежуточного контура, используемые как опция для стабилизации напряжения промежуточного контура;
- модули двигателей, работающие как инверторы, получающие свою энергию из промежуточного контура и питающие подключенные двигатели;
- активные компоненты со стороны двигателя: синусоидальные фильтры, дроссели двигателей и фильтры du/dt для уменьшения нагрузок по напряжению на обмотки двигателей.

Для выполнения требуемых функций *SINAMICS S120* имеет:

- один управляющий модуль, обрабатывающий межосевые приводные и технологические функции;
- дополнительные системные компоненты для расширения функциональности и обеспечения различных интерфейсов к датчикам и сигналам процесса.

Модульная структура обеспечивает гибкость и масштабируемость [62].

Многоосная структура, также называемая общей *DC*-шиной, отличается повышенной степенью модульности и поддерживает режимы питания линейных модулей и модулей двигателя – оба доступны в блоковом формате и в формате шасси (рис. 3).



Рис. 3. Форматы *SINAMICS S120*: блокный и шасси

Различные форматы *SINAMICS S120* можно объединить [62] благодаря их *DRIVE-CliQ*-интерфейсам, т.е. линейные модули в формате шасси можно объединить с модулями двигателей в блоковом формате для многоосных приложений для удовлетворения высоких или разнообразных требований к выходным данным (рис. 4).

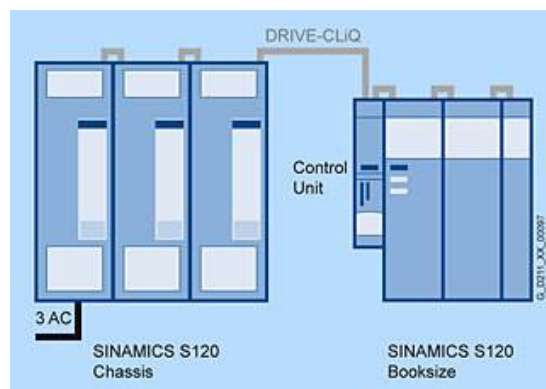


Рис. 4. Объединение шасси и блокового формата

Все интеллектуальные функции привода структурированы в блоки управления. Блоки управления обеспечивают возможность выполнения всех функций контроля по обратной связи для группировки приводов. Они также обрабатывают все остальные функции приводов, такие как взаимодействие систем ввода-вывода, управляемых приводом, позиционирование и другие и используют *PROFIBUS DP* или *PROFINET* центрального интерфейса для связывания с системами автоматизации более высокого уровня (рис. 5) [62].

Электрические данные [61]:

- напряжение питающей сети:
 - 3 AC 380 В -10% ($-15\% < 1$ мин) до 3 AC 480 В $+10\%$;
 - 3 AC 500 В -10% ($-15\% < 1$ мин) до 3 AC 690 В $+10\%$;
- частота сети – от 47 до 63 Гц;
- выходное напряжение – от 0 до напряжения питающей сети, в зависимости от типа питания; с помощью активного модуля питания можно получить и более высокое выходное напряжение;
- выходная частота:
 - векторное управление: от 0 до 600 Гц;
 - регулирование при помощи сервомеханизма от 0 до 650 Гц;
 - скалярное управление U/f : от 0 до 650 Гц;
- питание электроники: DC 24 В (20,4–28,8 В), выполнено в виде контура *PELV* по *EN 61800-5-1*, масса – это минусовой полюс с заземлением через электронику;
- расчетный ток короткого замыкания *SCCR* (*Short Circuit Current Rating*), согласно *UL508C* (до 600 В), в связке с указанными предохранителями или силовыми выключателями:
 - 65 кА при мощностях от 1,1 до 447 кВт;
 - 84 кА при мощностях от 448 до 671 кВт;

- 170 кА при мощностях от 672 до 1193 кВт;
- 200 кА при мощностях больших 1194 кВт;
- подавление помех:
 - стандарт: категория C3 (второе окружение) согласно EN 61800-3;
 - с сетевым фильтром: категория C2 (первое окружение) согласно EN 61800-3.

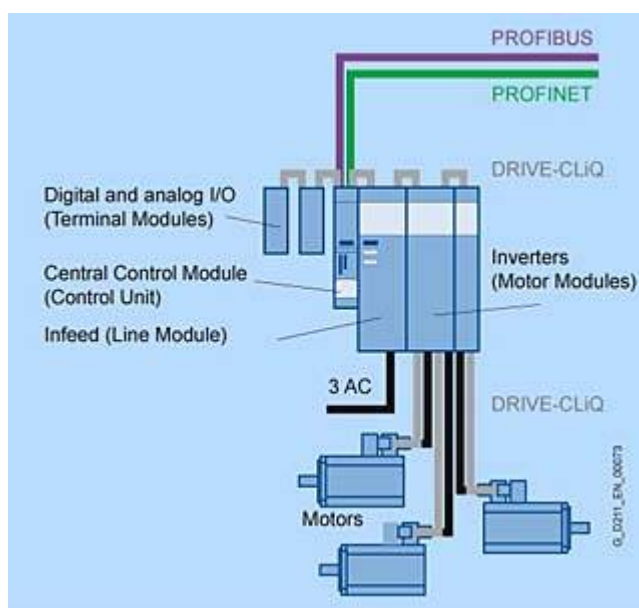


Рис. 5. Связь SINAMICS S120 с системами автоматизации более высокого уровня

1.3.5. Средства промышленной автоматизации семейства SIMATIC

SIMATIC – торговая марка компании *Siemens AG*, объединяющая различные средства промышленной автоматизации, предназначенные для решения задач автоматизации технологических процессов, производств и предприятий. На рынке предлагаются [42]:

- *Simatic S5*, *Simatic S7* – линейки ПЛК;
- *Simatic Net* – сетевые решения на основе промышленных сетей *PROFINet*, *Industrial Ethernet*, *Profibus*, *AS-Interface*, *KNX*;
- *Simatic HMI* – средства человеко-машинного интерфейса:
 - панели оператора;
 - HMI-приложения: *Simatic Protool*; *Simatic WinCC Flexible*; *Simatic WinCC*;
- *Simatic PCS 7* – распределенная система управления (DCS-система);
- *Simatic IPC* – промышленные ПК;
- *Simatic IT* – программная платформа для разработки систем оперативного управления производством (MES-систем).

В компании *Siemens* разработано собственное программное обеспечение (ПО) для своей продукции [42]:

- для ПЛК *Simatic S5* используется ПО *Simatic Step 5*;
- для ПЛК *Simatic S7-200* используется ПО *Simatic Step 7 Micro/Win*;
- для ПЛК *Simatic S7-300* и *Simatic S7-400* используется ПО *Simatic Step 7*;
- для ПЛК *Simatic S7-1200* используется программная среда *TIA Portal*.

Создано новое направление *Sinaut ST7* – системы телеметрии на базе *Simatic S7*.

Разработаны сетевые решения на основе промышленных сетей *PROFINet* (IEC 61158), *Industrial Ethernet* (IEEE 802-3 и IEEE 802.3u), *Profibus* (IEC 61158/EN 50170), *AS-Interface* (EN 50295), *KNX* (EN 50090, ANSI EIA 776).

1.3.5.1. ПЛК семейства S7-200

ПЛК семейства *SIMATIC S7-200* [28] являются идеальным средством для построения эффективных систем автоматического управления при минимальных затратах на приобретение оборудования и разработку системы. В основе ПЛК семейства *S7-200* лежит функциональная модульность, которая позволяет разрабатывать приложения в зависимости от конкретной задачи.

В состав семейства *SIMATIC S7-200* входят:

- центральные процессоры, отличающиеся объемами памяти, количеством встроенных входов-выходов, набором встроенных функций, возможностями расширения системы (табл. 3, 4);
- широкий спектр модулей ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов;
- 4 коммуникационных модуля, обеспечивающие возможность подключения к AS-интерфейсу, сети *PROFIBUS-DP* (только ведомое устройство) и *Industrial Ethernet*;
- модуль модема *EM 241*;
- модуль позиционирования *EM 253*.

Ведущее место в наборе модулей занимает центральный процессорный модуль (*CPU*). *CPU S7–200* состоит из микропроцессора, встроенного или внешнего источника питания, входных и выходных цепей, находящихся в компактном корпусе (рис. 6). После загрузки программы *S7–200* содержит логику, необходимую для контроля и управления входными и выходными устройствами в разрабатываемом приложении.

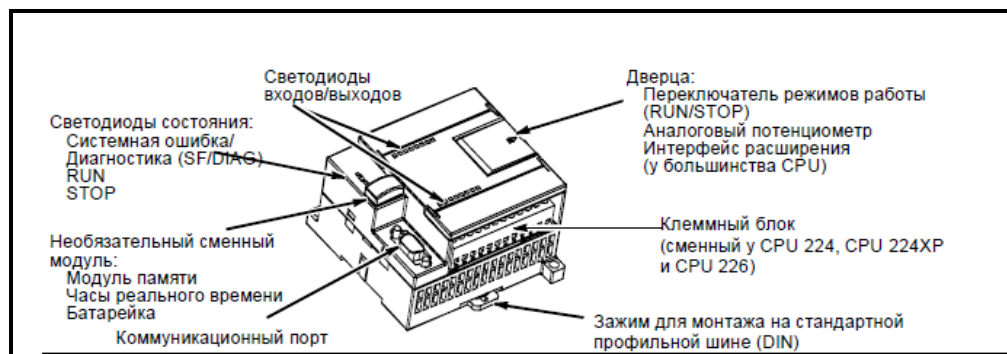


Рис. 6. Конструкция модуля *CPU S7-200*

Контроллеры способны работать в реальном масштабе времени и могут быть использованы как для построения узлов локальной автоматики, так и систем распределенного ввода-вывода с организацией обмена данными по *PPI* или *MPI* интерфейсу, сети *PROFIBUS-DP*, *Industrial Ethernet* или *AS*-интерфейсу.

Фирма *Siemens* предлагает различные модели *CPU S7–200* с разнообразными характеристиками и функциями (табл. 3, 4).

Таблица 3. Сравнение характеристик модулей *CPU S7–200*

Параметр	Тип <i>CPU</i>				
	<i>CPU 221</i>	<i>CPU 222</i>	<i>CPU 224</i>	<i>CPU 224XP</i>	<i>CPU 226</i>
Физические размеры	90 × 80 × 62	90 × 80 × 62	120.5 × 80 × 62	140 × 80 × 62	190 × 80 × 62
Программная память:	4096 байт	4096 байт	8192 байт	12 288 байт	16 384 байт
Память данных	2048 байт	2048 байт	8192 байт	10 240 байт	10 240 байт
Арифметика с плавающей точкой	да	да	да	да	да
Цифровые встроенные входы/выходы	6 вх./4 вых.	8 вх./6 вых.	14 вх./ 10 вых.	14 вх./10 вых.	24 вх./ 16 вых.
Аналоговые встроенные входы/выходы	-	-	-	2вх. /1 вых.	
Модули расширения	0 модулей	2 модуля	7 модулей	7 модулей	7 модулей
Коммуникационные порты	1 RS-485	1 RS-485	1 RS-485	2 RS-485	2 RS-485

В табл. 4 представлены области памяти и функции *CPU S7–200*.

Таблица 4. Области памяти и функции CPU S7-200

Параметр	Тип CPU				
	CPU 221	CPU 222	CPU 224	CPU 224XP	CPU 226
Размер программы пользователя	4096 байт	4096 байт	8192 байт	12 288 байт	16 384 байт
Размер данных пользователя	2048 байт	2048 байт	4096 байт	4096 байт	8192 байт
Регистр входов образа процессов	I0.0–I15.7	I0.0–I15.7	I0.0–I15.7	I0.0–I15.7	I0.0–I15.7
Регистр выходов образа процессов	Q0.0–Q15.7	Q0.0–Q15.7	Q0.0–Q15.7	Q0.0–Q15.7	Q0.0–Q15.7
Память переменных (V)	VB0–VB2047	VB0–VB2047	VB0–VB8191	VB0–VB10239	VB0–VB10239
Локальная память (L)	LB0–LB63	LB0–LB63	LB0–LB63	LB0–LB63	LB0–LB63
Битовая память (M)	M0.0–M31.7	M0.0–M31.7	M0.0–M31.7	M0.0–M31.7	M0.0–M31.7
Специальная память (SM) только чтение	SM0.0–SM179.7 SM0.0–SM29.7	SM0.0–SM299.7 SM0.0–SM29.7	SM0.0–SM549.7 SM0.0–SM29.7	SM0.0–SM549.7 SM0.0–SM29.7	SM0.0–SM549.7 SM0.0–SM29.7
Таймеры	256 (T0–T256)	256 (T0–T256)	256 (T0–T256)	256 (T0–T256)	256 (T0–T256)
Задержка включения с запоминанием	T0, T64 T1–T4, T65–T68 T5–T31, T69–T95 T32, T96 T33–T36, T97–T100	T0, T64 T1–T4, T65–T68 T5–T31, T69–T95 T32, T96 T33–T36, T97–T100	T0, T64 T1–T4, T65–T68 T5–T31, T69–T95 T32, T96 T33–T36, T97–T100	T0, T64 T1–T4, T65–T68 T5–T31, T69–T95 T32, T96 T33–T36, T97–T100	T0, T64 T1–T4, T65–T68 T5–T31, T69–T95 T32, T96 T33–T36, T97–T100
1 мс					
10 мс					
100 мс					
Задержка вкл/выкл	T37–T63, T101–T255	T37–T63, T101–T255	T37–T63, T101–T255	T37–T63, T101–T255	T37–T63, T101–T255
1 мс					
10 мс					
Счетчики	C0–C255	HC0–HC5	HC0–HC5	HC0–HC5	HC0–HC5
Скоростные счетчики	HC0–HC5	HC0–HC5	HC0–HC5	HC0–HC5	HC0–HC5
Аккумуляторные регистры	AC0–AC3	AC0–AC3	AC0–AC3	AC0–AC3	AC0–AC3
Вызов/Подпрограмма	0–63	0–63	0–63	0–63	0–63
Программы обработки прерываний	0–127	0–127	0–127	0–127	0–127
PID-регуляторы	0–7	0–7	0–7	0–7	0–7

Отличительные особенности семейства SIMATIC S7-200 [28]:

- время выполнения 1К логических инструкций не превышает 0.37мс;
- наличие скоростных счетчиков внешних событий;
- наличие быстродействующих входов аппаратных прерываний;
- возможность наращивания количества обслуживаемых входов-выходов (за исключением систем на основе CPU 221);
- наличие импульсных выходов (ШИМ или ЧИМ);
- потенциометры аналогового задания цифровых параметров;
- часы реального времени (встроенные или устанавливаемые в виде съемного модуля);
- мощный набор инструкций языка программирования;
- последовательный PPI-интерфейс, который может быть использован в качестве свободно программируемого порта;
- функции ведущего устройства AS-интерфейса, обеспечиваемые коммуникационным модулем CP 243-2;
- функции ведомого устройства PROFIBUS-DP, обеспечиваемые коммуникационным модулем EM 277;

- функции обмена данными через *Industrial Ethernet*, поддерживаемые коммуникационными процессорами *CP 243-1* и *CP 243-1 IT*;
- дружественная оболочка программирования *STEP 7 Micro/Win*;
- трехуровневая парольная защита программ пользователя;
- возможность работы с устройствами человеко-машинного интерфейса.

При выборе типа ПЛК анализируются следующие параметры:

- количество цифровых и аналоговых встроенных входов/выходов;
- размеры памяти для программы пользователя и данных пользователя;
- количество и типы модулей расширения и коммуникационных портов;
- наличие регистров входов/выходов;
- количество таймеров и счетчиков с различными функциями;
- количество программ обработки прерываний;
- наличие *PID*-регуляторов;
- другие параметры, приводимые в табл. 3 и 4.

1.3.5.2. ПЛК семейства S7-300

Области применения *SIMATIC S7-300 / S7-300C* охватывают автоматизацию машин и оборудования различного назначения. Центральные процессоры *S7-300C* оснащены набором встроенных входов и выходов, а также набором встроенных функций, что позволяет применять эти процессоры в качестве готовых блоков управления.

Контроллеры *SIMATIC S7-300* имеют модульную конструкцию и могут включать в свой состав [59]:

- модуль центрального процессора (*CPU*). В зависимости от степени сложности решаемой задачи в контроллерах могут быть использованы различные типы центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемом памяти, наличием или отсутствием встроенных входов-выходов и специальных функций, количеством и видом встроенных коммуникационных интерфейсов и т.д.;
- модули блоков питания (*PS*), обеспечивающие возможность питания контроллера от сети переменного тока напряжением 120/230 В или от источника постоянного тока напряжением 24/48/60/110 В;
- сигнальные модули (*SM*), предназначенные для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов с различными электрическими и временными параметрами;
- коммуникационные процессоры (*CP*) для подключения к сетям *PROFIBUS*, *Industrial Ethernet*, *AS-Interface* или организации связи через *PtP (point to point)* интерфейс;
- функциональные модули (*FM*), способные самостоятельно решать задачи автоматического регулирования, позиционирования, обработки сигналов. Функциональные модули снабжены встроенным микропроцессором и способны выполнять возложенные на них функции даже в случае остановки центрального процессора программируемого контроллера;
- интерфейсные модули (*IM*), обеспечивающие возможность подключения к базовому блоку (стойка с *CPU*) стоек расширения ввода-вывода. Контроллеры *SIMATIC S7-300* позволяют использовать в своем составе до 32 сигнальных и функциональных модулей, а также коммуникационных процессоров, распределенных по 4 монтажным стойкам. Все модули работают с естественным охлаждением.

Конструкция контроллера (рис. 7) отличается высокой гибкостью и удобством обслуживания. Все модули легко устанавливаются на профильную рейку *S7-300* и фиксируются в рабочем положении винтом. Также во все модули (кроме модулей блоков питания) встроены участки внутренней шины контроллера. Соединение этих участков выполняется шинными соединителями, устанавливаемыми на тыльной стороне корпуса. Шинные соединители входят в комплект поставки всех модулей за исключением центральных процессоров и блоков питания. В наличии имеются фронтальные соединители, позволяющие производить замену модулей без демонтажа внешних соединений и упрощающих выполнение операций подключения внешних цепей модулей. Подключение внешних цепей происходит через фронтальные соединители с контактами под винт или контактами-защелками. Механическое кодирование фронтальных соединителей, исключает возможность возникновения ошибок при замене модулей.

Фирма *Siemens* предлагает различные модели *CPU S7-300* с отличающимися характеристиками производительности и функций. В табл. 5 сведены основные технические данные *CPU* семейства *S7-300*.

Для исполнения ПЛК, встраиваемого в модуль ЧПУ, фирма *Siemens* разработала компактную одноплатную версию ПЛК серии *S7-300*. Например, в ЧПУ *SINUMERIK 840D* могут быть встроены раз-

личные версии ПЛК серии S7-300, связанные с модулями локального ввода-вывода цифровым интерфейсом.

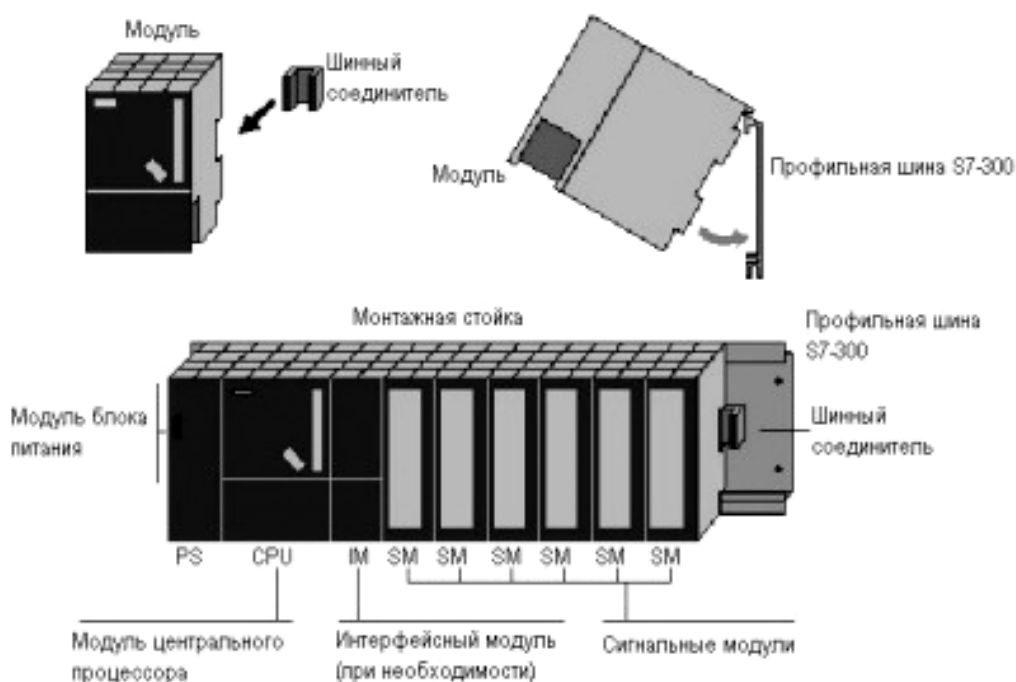


Рис. 7. Структура и состав ПЛК семейства S7-300

Таблица 5. Основные технические данные CPU семейства S7-300

Параметр	Тип CPU					
	CPU 312C	CPU 313C-2PtP	CPU 313C-2DP	CPU 313C	CPU 314C-PtP	CPU 314C-2DP
Габариты, мм	80×125×130	120×125×130				
Рабочая память	16 Кбайт	32 Кбайт			64 Кбайт	
S7-счетчики	C0...C127	C0...C255				
S7-таймеры	T0...T127	T0...T255				
Количество флагов	128 байт (M0...M127)	256 байт (M0...M255)				
Программная память	16 Кбайт					
Язык программирования	STEP 7, S7-SCL, S7-GRAH, S7-HiGraph					
Адресное пространство ввода/вывода	1024/1024 байт					
Встроенные каналы ввода/вывода	10 вх./6 вых.	16 вх./16 вых.		24 вх./16 вых.		
Встроенные аналоговые каналы ввода/вывода	нет			5 вх./2 вых.		
Количество модулей в системе локального ввода-вывода	до 8	до 31				
Тип интерфейса (шт.)	RS-485 (1)	RS-485 (2)/ RS-422 (1)	RS-485 (2)	RS-485 (1)	RS-485 (2)/ RS-422 (1)	RS-485 (2)

1.3.5.3. ПЛК семейства S7-400

Программируемые логические контроллеры *SIMATIC S7-400* [20] предназначены для решения задач автоматического управления средней и высокой степени сложности:

- высокая вычислительная мощность, комплексный набор команд, наличие *MPI* интерфейса, способность работать в локальных и глобальных вычислительных сетях делают контроллер исключительно мощным;
- поддержка мультипроцессорных конфигураций;
- набор встроенных функций, всеобъемлющая диагностика, парольная защита, удобная система подключения внешних цепей, отсутствие ограничений на порядок размещения модулей позволяют создавать многообразные конфигурации систем управления;
- широкий спектр центральных процессоров, сигнальных, функциональных, коммуникационных и интерфейсных модулей позволяют в максимальной степени адаптировать контроллер к выполнению поставленных задач; поддержка функций «горячей» замены модулей;
- возможность подключения к одному базовому блоку контроллера до 21 стойки расширения.

ПЛК семейства S7-400 имеют следующие модификации:

- 1) стандартное исполнение *SIMATIC S7-400*;
- 2) резервированная система автоматизации *SIMATIC S7-400H*;
- 3) программируемые контроллеры для построения систем противоаварийной защиты и автоматической безопасности *SIMATIC S7-400F/FH*.

Система автоматизации S7-400 имеет модульную конструкцию (рис. 8). Она может комплектоваться широким спектром модулей, устанавливаемых в монтажных стойках в любом порядке. Система включает в свой состав:

- модули блоков питания (*PS*): используются для подключения *SIMATIC S7-400* к источникам питания =24/ 48/ 60/ 120/ 230 В или ~120/230 В. Модули центральных процессоров (*CPU*): в составе контроллера могут использоваться центральные процессоры различной производительности. Все центральные процессоры оснащены встроенными интерфейсами *PROFIBUS-DP*. При необходимости, в базовом блоке контроллера может быть использовано до 4 центральных процессоров;
- сигнальные модули (*SM*): для ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов;
- коммуникационные модули (*CP*): для организации последовательной передачи данных по *PtP* интерфейсу, а также сетевого обмена данными;
- функциональные модули (*FM*): для решения специальных задач управления, к которым можно отнести счет, позиционирование, автоматическое регулирование и т.д.

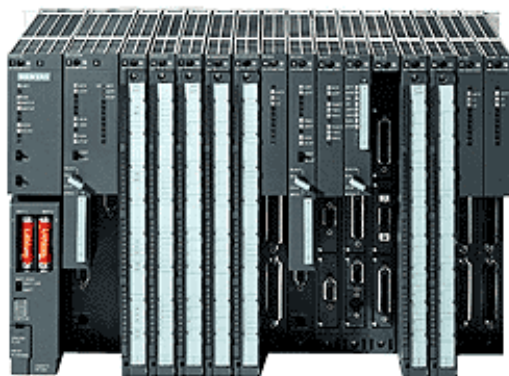


Рис. 8. Внешний вид системы автоматизации на базе ПЛК семейства S7-400 стандартного исполнения

При необходимости в составе S7-400 могут быть использованы интерфейсные модули (*IM*) для связи базового блока контроллера со стойками расширения. К одному базовому блоку контроллера *SIMATIC S7-400* может подключаться до 21 стойки расширения.

Простота конструкции S7-400 существенно повышает его эксплуатационные характеристики:

- простота установки модулей; модули устанавливаются в свободные разъемы монтажных стоек в произвольном порядке и фиксируются в рабочих положениях винтами; фиксированные места занимают только блоки питания, первый центральный процессор и некоторые интерфейсные модули;

- внутренняя шина, встроенная в монтажные стойки; во все монтажные стойки встроена параллельная шина (*P*-шина) для скоростного обмена данными с сигнальными и функциональными модулями; все стойки за исключением *ER1* и *ER2* имеют последовательную коммуникационную шину (*K*-шину) для скоростного обмена большими объемами данных с функциональными модулями и коммуникационными процессорами.

1.3.5.4. ПЛК семейства S7-1200

Программируемые контроллеры *SIMATIC S7-1200* [29] имеют модульную конструкцию и универсальное назначение (рис. 9). Они способны работать в реальном масштабе времени, могут использоваться для построения относительно простых узлов локальной автоматики или узлов комплексных систем автоматического управления, поддерживающих интенсивный коммуникационный обмен данными через сети *Industrial Ethernet / PROFINET*, а также *PtP (Point-to-Point)* соединения.



Рис. 9. Внешний вид системы автоматизации на базе ПЛК семейства S7-1200 стандартного исполнения

Контроллеры S7-1200 имеют компактные пластиковые корпуса со степенью защиты *IP20*, могут монтироваться на стандартную 35 мм профильную шину *DIN* или на плоскую поверхность и сохраняют работоспособность в диапазоне температур от 0 до +50 °C. Они способны обслуживать от 10 до 284 дискретных и от 2 до 51 аналогового канала ввода-вывода.

В составе программируемого контроллера S7-1200 находят применение модули центральных процессоров (*CPU*); коммуникационные модули (*CM*); модули (*SM*) и платы (*SB*) ввода-вывода дискретных и аналоговых сигналов; 4-канальный коммутатор *Industrial Ethernet (CSM 1277)* и модуль блока питания (*PM 1207*).

Для конфигурирования и программирования новой серии контроллеров используется программное обеспечение *Simatic Step 7 Basic*, которое позволяет работать одновременно и с контроллерами *Simatic S7-1200*, и с панелями серии *Basic Panels*. Пакет *Simatic Step 7 Basic v10.5* со встроенным ПО *WinCC Basic* предоставляет пользователю множество новых, интуитивно понятных возможностей по совместной разработке проектов для контроллера и панелей. Это значительно повышает удобство и эффективность работы.

Область применения:

- управление производственным оборудованием в различных областях промышленности;
- обмен данными между удалёнными объектами;
- задачи управления перемещением и позиционирование приводов;
- управление инженерными системами зданий и сооружений;
- задачи регулирования на основе *PID*-алгоритмов.

В серии S7-1200 используется три модели центральных процессоров, отличающихся производительностью, объемами встроенной памяти, количеством и видом встроенных входов и выходов и другими показателями. Каждая модель имеет три модификации:

- с напряжением питания, равным 24 В (постоянное напряжение), дискретными входами – 24 В и дискретными выходами – 24 В/0.5А на основе транзисторных ключей;
- с напряжением питания, равным 24 В, дискретными входами – 24 В и дискретными выходами с замыкающими контактами реле и нагрузочной способностью до 2 А на контакт;
- с напряжением питания ~115/230 В, дискретными входами – 24 В (постоянное напряжение) и дискретными выходами с замыкающими контактами реле и нагрузочной способностью до 2 А на контакт.

Каждый центральный процессор S7-1200 оснащен встроенным интерфейсом *Ethernet*, имеет возможность подключения до трех коммуникационных модулей и установку одной платы ввода-вывода. Дополнительно к CPU 1212C может подключаться до 2, а к CPU 1214C – до 8 сигнальных модулей (SM).

Основными коммуникациями для контролеров S7-1200 является встроенный *Ethernet*-интерфейс. С его помощью производится программирование, диагностика, обмен данными с другими системами автоматизации или устройствами человеко-машинного интерфейса. Связь с устройствами, имеющими другие интерфейсы, возможна с помощью подключаемых дополнительно коммуникационных модулей, имеющих интерфейсы RS 232 или RS 485. Что позволяет устанавливать PtP-соединения с использованием различных протоколов обмена данными.

1.3.6. Система управления движением и позиционированием SIMOTION

SIMOTION [38] – это инновационная платформа для простого и гибкого решения самых разнообразных задач, в которых требуется управление перемещением и технологическими процессами систем позиционирования. Отличительной особенностью этой платформы является слияние функций *Motion Control* (управление движением), функций ПЛК и управления технологическими процессами. Это слияние функциональностей происходит как на аппаратном, так и на программном уровне.

Платформы *SIMOTION* предоставляют гибкое решение – для всех требований. Каждая аппаратная платформа имеет свои преимущества в зависимости от конкретного приложения. Различные аппаратные платформы могут легко соединяться между собой, что дает преимущество при использовании в модульных станках или на заводах. Это объясняется тем, что индивидуальные аппаратные платформы всегда имеют одинаковые системные характеристики, а именно, функциональность и среда разработки всегда идентичны независимо от используемой платформы.

Существует три различных системных платформы для *SIMOTION*:

1. Системная платформа *SIMOTION C* на базе контроллера (рис. 10).

SIMOTION C – это контроллер с функциями управления движением в конструктивном исполнении *SIMATIC S7-300* (табл. 6).

Таблица 6. Состав и характеристики линейки *SIMOTION C*

Характеристика	Тип	
	<i>SIMOTION C240</i>	<i>SIMOTION C240 PN</i>
заказной номер	6AU1240-1AA00-0AA0	6AU1240-1AB00-0CA0
максимальное кол-во осей	32	32
минимальный цикл интерполятора (IPO)	0.5 ms	0.5 ms
мин. цикл регулировки положения	0.5 ms	0.5 ms
минимальный цикл опроса <i>ProfiBus</i>	1 ms	1 ms
минимальный цикл опроса <i>ProfiNET</i>	–	0.5 ms

Управление приводами и другими компонентами по сети *PROFIBUS* осуществляется с помощью двух интерфейсов *PROFIBUS*, которые могут работать такт-синхронно с равным DP-тактом и со скоростью передачи данных. HMI или ПК со *SCOUT* также могут интегрироваться в систему с помощью *PROFIBUS*. *SIMOTION C* может оснащаться дополнительными модулями периферии из линейки *ET 200M*.



Рис. 10. Системная платформа *SIMOTION C*

Преимущества *SIMOTION C*:

- гибкость – за счет использования линейки устройств *SIMATIC S7*, что оптимально подходит для задач автоматизации;
- универсальность управления приводом – за счет возможности управления цифровыми, аналоговыми и шаговыми двигателями;
- простота – за счет знакомой и дружелюбной пользователю конструкции.

Область применения:

- благодаря своему конструктиву *SIMOTION C* максимально гибок в своей конфигурации;
- задачи с большим количеством входных и выходных сигналов.

2. Системная платформа *SIMOTION D* на базе привода (рис. 11).



Рис. 11. Системная платформа на базе *SIMOTION D*

SIMOTION D – это вариант *Motion Control Systems* на базе привода семейства *SINAMICS*. Линейка контроллеров *SIMOTION D* сочетает в себе два устройства: контроллер и модуль управления приводом *SINAMICS S120*. На базе такой техники совокупная система становится очень компактной и быстрой. Линейка *SIMOTION D* начинается с одноосевого *D410* и заканчивая 128-осевым *D455-2 DP/PN* (табл. 7).

Таблица 7. Линейка *SIMOTION D*

Характеристика	Тип							
	<i>SIMOTION D410-2 DP</i>	<i>SIMOTION D410-2 DP/PN</i>	<i>SIMOTION D425-2DP</i>	<i>SIMOTION D425-2 DP/PN</i>	<i>SIMOTION D435-2DP</i>	<i>SIMOTION D435-2 DP/PN</i>	<i>SIMOTION D445-2 DP/PN</i>	<i>SIMOTION D455-2 DP/PN</i>
заказной номер	6AU1410-2AA00-0AA0	6AU1410-2AD00-0AA0	6AU1425-0AA00-0AA0	6AU1425-2AD00-0AA0	6AU1435-2AA00-0AA0	6AU1435-2AD00-0AA0	6AU1445-2AD00-0AA0	6AU1455-2AD00-0AA0
кол-во осей	8	8	16	16	32	32	64	128
мин. <i>IPO</i> цикла	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.25 ms	0.25 ms	0.25 ms
мин. цикл регул. положения	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.5 ms	0.25 ms	0.25 ms	0.25 ms
минимальный цикл опроса <i>ProfiBus</i>	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms	1 ms
минимальный цикл опроса <i>ProfiNET</i>	–	0.25 ms	–	0.25 ms	–	0.25 ms	0.25 ms	0.25 ms

Область применения этих систем варьируется от простых одноосевых машины до сложных многоосевых агрегатов и производственных линий. В зависимости от версии *SIMOTION D* имеет 2 встроенных интерфейса *PROFIBUS*, поддерживающих профиль *PROFIdrive*, один или два интерфейса *Industrial Ethernet* и один интерфейс *PROFINET*.

Используется:

- в машинах, построенных по модульному принципу, например, как дополнение к *SIMOTION P* или к *SIMOTION C*;
- при решении задач с высокими требованиями по синхронизации осей и по точности систем позиционирования.

3. Системная платформа *SIMOTION P* на основе персонального компьютера (ПК).

SIMOTION P – это система управления движением на базе персонального компьютера (рис. 12). На этом ПК одновременно работают и функции *Motion Control* и функции *HMI*. В данном контроллере могут обрабатываться специализированные программы, написанные на платформе ПК. Для *SIMOTION P*

можно использовать несколько вариантов панели визуализации: размеры 12 или 15 дюймов, различных типов: сенсорные панели или с мембранными кнопками.



Рис. 12. Системная платформа *SIMOTION P* на основе персонального компьютера

Серия контроллеров *SIMOTION P* выпускается в двух исполнениях:

- *SIMOTION P320* – в конструктиве промышленного ПК *microbox* без единой движущейся части;
- *SIMOTION P350* – в классическом исполнении промышленного контроллера. Контроллер имеет два интерфейса *PROFIBUS* и *PROFINET* для коммуникаций с приводами, распределенной периферией и любыми другими устройствами.

Преимущества:

- вычислительная мощность за счет использования высокопроизводительного процессора;
- надежная работа даже в самых жестких условиях за счет использования специальных аппаратных компонентов, пригодных к промышленной среде;
- открытая архитектура за счет доступности стандартных приложений на базе *Windows*.

Область применения:

- крупные многоосевые задачи;
- задачи, требующие малые времена опроса;
- кроссплатформенные решения.

Среда разработки (рис. 13):

- *SIMOTION SCOUT* является мощным инструментом программирования контроллеров *SIMOTION*. Программное обеспечение *SCOUT* содержит в себе инструмент ввода в эксплуатацию и параметрирования приводов *Starter*. Также *SCOUT* имеет систему тестирования, отладки и диагностики программ, что включает в себя отображение статуса программы, вывод текущих значений всех переменных, управление переменными при выполнении команд в реальном времени, панель управления осями и приводами и многое другое;
- навигатор проекта *SCOUT* включает в себя все необходимые средства разработки и является навигационным центром, откуда выполняются все этапы проекта.

Таким образом, среда разработки *SCOUT* – это единый инструмент для выполнения всех задач от конфигурирования и программирования до диагностики контроллеров *SIMOTION*.

Языки программирования *SIMOTION*:

- графический язык программирования *Motion Control Chart (MCC)* – это средство описания процесса в виде диаграммы последовательности действий; *MCC* позволяет начинающему программисту быстро достичь желаемого результата;
- языки контактных схем и функциональных блоков *LAD/FBD* – стандартные языки программирования для ПЛК;
- структурированный текст *STL* – язык программирования высокого уровня.

Интегрированные средства тестирования и диагностики:

- диагностический буфер;
- функция статуса переменных;
- точки остановки (*ST*, *MCC*);
- цифровой осциллограф (*TRACE*).

Например, с помощью инструмента «Цифровой осциллограф» можно отображать и сохранять сигналы входов, выходов и переменных. В настройках осциллографа можно указать длину кривой, нужную переменную, условие начала записи, смещение, масштаб и т.д.

Функции цифрового осциллографа:

- задание переменных, условий включения и временных интервалов;
- графическое представление содержания буфера;
- оценка, хранение, экспорт и импорт осциллограмм;
- диаграммы *BODE* (ЛАЧХ, ЛФЧХ), Фурье-анализ, генератор функций, математические функции над снятыми характеристиками.

Основные задачи, выполняемые системой управления позиционированием:

- точное перемещение и *позиционирование*;
- синхронизация осей движения;
- синхронная работа осевых двигателей;
- векторное управление натяжением по нескольким осям;
- быстрое и точное позиционирование;
- системы позиционирования манипуляторов и роботов.

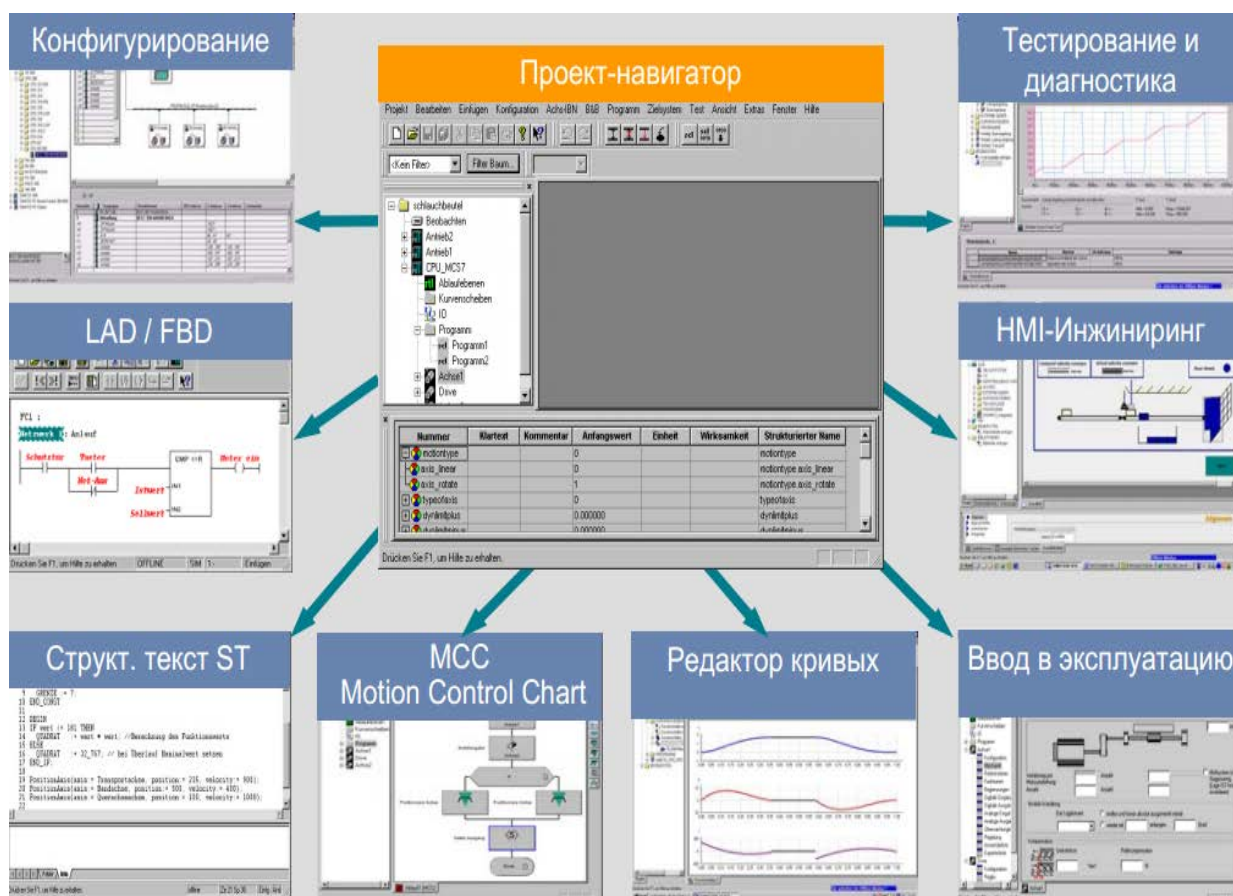


Рис. 13. Структура среды разработки *SIMOTION SCOUT*

1.3.7. Программа конфигуратор *NCSD* для семейств систем автоматизации *SINUMERIK* и *SIMODRIVE*

Для выбора и настройки параметров компонентов *SINUMERIK* и *SIMODRIVE* фирма *Siemens* предлагает интерактивную интеллектуальную конфигурационную программу *NCSD* [56]. Эта программа позволяет собрать индивидуальную конфигурацию системы автоматизации, начиная с выбора управления ЧПУ и вплоть до настройки дисков.

Преимущества программы *NCSD* заключаются в следующем (рис. 14):

- простая структура дерева и четкая навигация;
- выбор и последовательность выбора модуля;
- конфигурация подкомпонентов и полных систем;
- оптимизация заказа благодаря автоматическому перерасчету при изменении конфигурации;

- постоянное тестирование всех выбранных компонентов на согласованность и надежность взаимодействия;
- списки сгенерированных деталей могут быть загружены в интерактивный каталог CA 01;
- список запасных частей заполняется путем свободного ввода номеров статей.

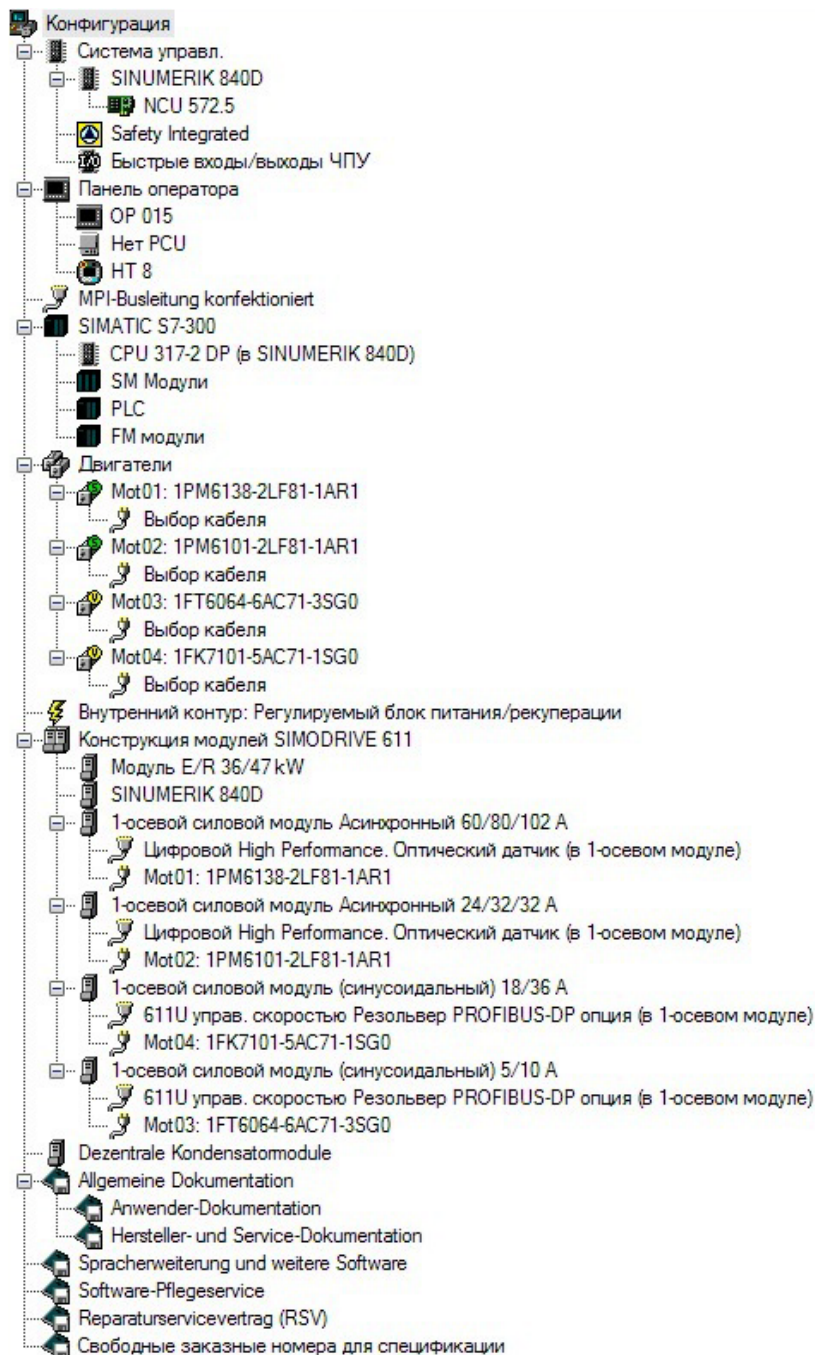


Рис. 14. Дерево конфигурации NCSD

Двигатели могут быть выбраны с использованием номера артикула или с помощью моторного мастера, основанного на скорости, вращающем моменте или выходе. Соответствующая силовая часть и соответствующие кабели автоматически назначаются двигателю. Длина кабеля может быть указана конкретно. Поддерживается создание специальных двигателей. Линейные двигатели могут быть подключены параллельно, чтобы улучшить выходную мощность.

Конфигуратор NCSD предоставляет самую свежую информацию, например, такую как:

- структура компонентов SINUMERIK;
- данные двигателя и опции для типов сердечников двигателя;
- мощность и емкость промежуточного контура;
- расчет потерь мощности для компонентов шкафа управления.

Использование конфигуратора *NCSD* при выполнении задачи курсового проектирования позволяет более профессионально выбрать компоненты системы автоматизации, давая возможность избежать многих ошибок согласования отдельных компонентов и экономя время.

1.4. Особенности управления электроприводами основных и вспомогательных движений

Особенности управления электроприводами основных и вспомогательных движений станков с ЧПУ определяются необходимостью обеспечения основных показателей качества механообработки заготовки (точность и шероховатость) при существующих кинематических погрешностях станка, изменениях сил и моментов сопротивлений, усилий резания и подач из-за неоднородности обрабатываемого материала и изменения качества инструмента.

Точность определяется оценками соответствия размеров и формы деталей заданным значениям, шероховатость – это разность между максимальными и минимальными высотами кривой сечения обработанной поверхности.

1.4.1. Электроприводы главного движения

В металлорежущих станках с ЧПУ применяются три варианта конструктивного исполнения электропривода (ЭП) главного движения [2]:

- 1) использование электродвигателя и коробки скоростей в качестве устройства, передающего движение шпинделю (ступенчатое регулирование частоты вращения шпинделя);
- 2) использование электродвигателя и редуктора для передачи вращающего момента шпинделю;
- 3) непосредственное соединение валов двигателя и шпинделя без промежуточных передающих устройств, использование специализированных двигателей («мотор-шпиндель»).

В современных станках с ЧПУ, как правило, используются второй и третий варианты. Для ЭП главного движения используются специальные двигатели переменного тока с частотным управлением (параграф 1.3.2, табл. 1).

Мощность $P_{рез}$, развиваемая при резании, определяется скоростью резания $V_{рез}$ и усилием резания $F_{рез}$ и рассчитывается по формуле $P_{рез} = V_{рез} \cdot F_{рез}$. Она определяется при разработке технологического процесса обработки детали. Для приводов главного движения рациональным является способ регулирования скорости с постоянной мощностью $P_{рез} = const$, т.е. большим скоростям резания соответствуют меньшие усилия резания, а меньшим скоростям – большие усилия.

При выборе двигателя по частоте вращения необходимо использовать диаграмму частоты вращения/мощности (рис. 15), приводимую в каталоге для выбираемого типа двигателя [1].

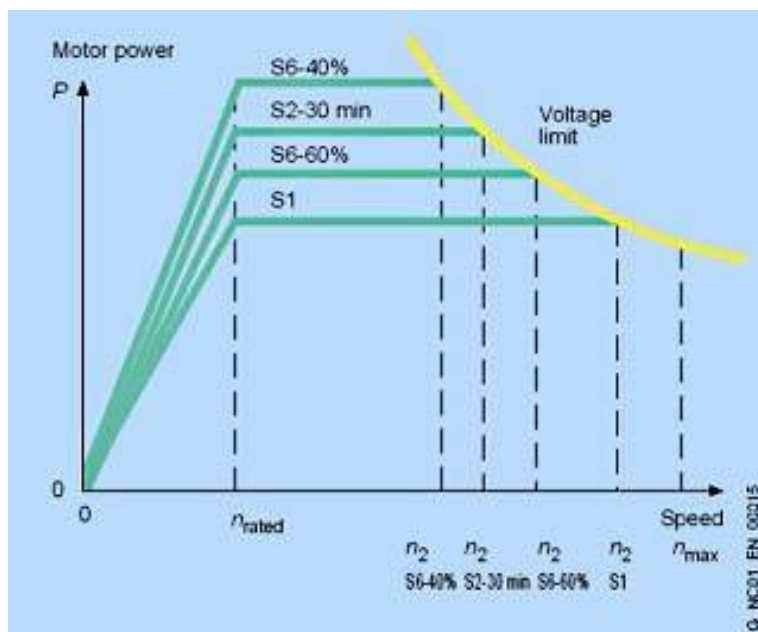


Рис. 15. Типичная диаграмма частоты вращения/мощности для асинхронных двигателей (n_{rated} – номинальная скорость асинхронного двигателя; n_2 – достигаемая частота вращения при номинальной мощности при использовании регулируемого питания)

Диаграмма показывает типичную зависимость между частотой вращения двигателя и мощностью привода в двигателях 1PH7 при регулировании с постоянной мощностью для следующих режимов работы согласно IEC 60034-1:

- режим непрерывной работы S1, $P_{\text{ном}} = F_{\text{рез1}} \cdot n_{\text{rated}} = F_{\text{рез2}} \cdot n_2(S1)$;
- режим работы с прерывистой нагрузкой S6 и относительной продолжительностью включения 60% (S6–60%), $k_1 P_{\text{ном}} = F_{\text{рез1}(S6-60\%)} \cdot n_{\text{rated}} = F_{\text{рез2}(S6-60\%)} \cdot n_2(S6-60\%)$, где $k_1 > 1$; или 40% (S6–40%) при максимальной продолжительности цикла 10 минут;
- кратковременный режим работы S2 с продолжительностью включения 30 мин (S2–30 мин) и последующим остановом, $k_2 P_{\text{ном}} = F_{\text{рез1}(S2-30 \text{ min})} \cdot n_{\text{rated}} = F_{\text{рез2}(S2-30 \text{ min})} \cdot n_2(S2-30 \text{ min})$, где $k_2 > k_1$;
- режим работы с прерывистой нагрузкой S6 и относительной продолжительностью включения 40% (S6–40%),
 $k_3 P_{\text{ном}} = F_{\text{рез1}(S6-40\%)} \cdot n_{\text{rated}} = F_{\text{рез2}(S6-40\%)} \cdot n_2(S6-40\%)$, где $k_1 > k_2$.

На скоростях ниже номинальных регулирование скорости осуществляется с постоянным моментом. В этом случае величина скорости определяется только задающим сигналом. Этот режим используется при небольшой мощности главного привода. Таким образом получается двухзонное регулирование скорости.

Диапазон регулирования частоты вращения шпинделя определяется пределами скоростей резания и диаметров обрабатываемых изделий. Это обусловлено тем, что на универсальных станках могут обрабатываться детали из различных материалов и разных размеров, в частности разных диаметров. Для обработки изделий одинакового диаметра из различных материалов необходимо обеспечить определенный диапазон регулирования скорости резания. С другой стороны, рациональная обработка изделий из одного и того же материала, но разных диаметров, требует постоянной скорости резания ($V_{\text{рез}} = \text{const}$). Соблюдение этого условия достигается регулированием скорости привода с диапазоном D , определяемым диапазоном диаметров обрабатываемых заготовок. Требуемый диапазон D регулирования частоты вращения шпинделя определяется из выражения

$$D = \frac{n_{\text{max}}}{n_{\text{min}}},$$

где n_{max} , n_{min} – соответственно наибольшее и наименьшее число оборотов шпинделя для наименьшего и наибольшего диаметров обработки.

Так, для токарных станков с диаметром устанавливаемых изделий 320–1000 мм требуемый диапазон регулирования частот вращения $D \approx 50$, для токарно-карусельных станков с диаметром обрабатываемого изделия от 1250 до 4000 мм диапазон $D \approx 80$.

В современных станках с ЧПУ функции, выполняемые ЭП главного движения, значительно усложнены. Кроме стабилизации частоты вращения требуется обеспечение возможности нарезания резьбы метчиками и резцами, а также обеспечение режимов точного позиционирования шпинделя при смене инструмента и производстве легких долбежных и строгальных работ. Это неизбежно ведет к увеличению требуемого диапазона регулирования частоты вращения. Так, при требуемой точности позиционирования шпинделя 0.1% и максимальной скорости вращения двигателя 3000–5000 об/мин диапазон изменения частоты вращения должен быть не менее $D = 10000$.

Отличительной особенностью главного привода для высокоавтоматизированных станков с ЧПУ является необходимость применения реверсивного привода даже в тех случаях, когда по технологии обработки реверс не требуется. Требование обеспечения эффективного торможения и подтормаживания при снижении частоты вращения и режимов поддержания постоянной скорости резания приводит к необходимости применения реверсивного привода с целью получения нужного качества переходных процессов.

Установка инструмента в шпиндель выполняется с помощью гидропневматической системы автоматически или вручную. При смене инструмента конус шпинделя продувается сжатым воздухом. Рабочий шпиндель постоянно омывается охлаждающей жидкостью, благодаря чему достигается оптимальное выравнивание по температуре шпинделя и обрабатываемого изделия.

Стабильность работы привода главного движения характеризуется изменением частоты вращения Δn при изменении нагрузки, напряжения питающей сети, температуры окружающей среды и т.п.

Погрешность регулирования ЭП главного движения определяется суммированием следующих отклонений частоты вращения Δn :

- 1) при изменении тока нагрузки на $0.4 I_{\text{ном}}$ по сравнению со значением $0.6 I_{\text{ном}}$ при номинальном напряжении питания $U_{\text{ном}}$ и постоянной температуре окружающей среды $t = (20 \pm 5) ^\circ\text{C}$;

- 2) при изменении температуры окружающей среды $(20 \pm 5)^\circ\text{C} \leq t \leq 45^\circ\text{C}$ при питании номинальным напряжением $U_{\text{ном}}$ и номинальной нагрузке (токе $I_{\text{ном}}$);
- 3) при изменении напряжения питания на $\pm 10\%$ от номинального напряжения ($U = U_{\text{ном}} \pm 10\%$) при холостом ходе и постоянной температуре $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$;
- 4) при изменении направления вращения Δn определяется при холостом ходе привода, номинальном напряжении питания $U_{\text{ном}}$ и температуре окружающей среды $t = (20 \pm 5)^\circ\text{C}$

$$\Delta n = \frac{2(n_{\text{пр}} - n_{\text{лев}})}{n_{\text{пр}} + n_{\text{лев}}} \cdot 100\%$$

где $n_{\text{пр}}$, $n_{\text{лев}}$ – частота вращения соответственно при правом и левом направлениях вращения шпинделя.

1.4.2. Электроприводы подачи

В электроприводах подачи [2] наибольшее распространение получили передачи «винт-гайка» или «шестерня-рейка».

Для ЭП подачи используются трехфазные двигатели переменного тока с частотным управлением, как правило, синхронные (параграф 1.3.2, табл. 2).

Увеличение скорости быстрых перемещений свыше 10 м/мин с одной стороны и снижение скорости при точном позиционировании в заданную координату привело к значительному увеличению диапазона D регулирования скорости двигателя. Максимальная рабочая подача на современных многооперационных станках составляет 10–30% от скорости быстрых перемещений.

Полный диапазон регулирования скорости подач в станках фрезерной, расточной и токарной групп составляет $D = 100 \div 10000$, а в карусельных расширяется до $D = 30000 \div 40000$. Реальный диапазон регулирования скорости привода подачи каждой оси в станках с ЧПУ при контурном фрезеровании бесконечен, т.к. минимальная подача по каждой оси в двух точках обрабатываемой окружности равна 0.

Кроме широкого диапазона регулирования важнейшим параметром электропривода подач является высокое быстродействие. Это объясняется тем, что при изменении направления вращения двигателя (реверсе) под нагрузкой, *при подключении и отключении нагрузки важно обеспечить высокое быстродействие привода, чтобы избежать появления шероховатости поверхности.*

Поэтому для электроприводов подач вводятся следующие требования:

- 1) при малых скоростях $n = 0.001n_{\text{ном}}$ и при подключении и отключении нагрузки величиной $0.5M_{\text{ном}}$ изменение частоты вращения не должно превышать 100%, а время восстановления скорости вращения не должно превышать 100 мс;
- 2) при номинальной нагрузке $M_{\text{ном}}$ и при $n = 0.001n_{\text{ном}}$ время реверса не должно превышать 0.5 с.

Основные требования к электроприводам подач:

- минимальные размеры электродвигателя при высоком вращающем моменте;
- значительная перегрузочная способность привода в режимах кратковременной и повторно-кратковременной нагрузки;
- широкий диапазон регулирования скорости;
- высокая равномерность движения при различной нагрузке на всех скоростях вплоть до самых малых;
- высокое быстродействие при разгоне и торможении, подключении и отключении нагрузки при реверсе под нагрузкой на самых малых частотах вращения;
- высокая стабильность характеристик;
- высокая надежность и ремонтопригодность;
- удобство конструктивной установки двигателя на станке и встраивания управляемых преобразователей в шкафы и ниши станков;
- малые размеры.

Этим требованиям в полной мере удовлетворяют современные сервоприводы с частотным управлением (параграфы 1.3.3, 1.3.4).

1.4.3. Системы подчиненного управления

Системой подчиненного управления (СПУ) называется система автоматического управления, состоящая из нескольких вложенных друг в друга замкнутых контуров, настроенных так, что внутренний контур подчиняется внешнему контуру, который вырабатывает сигнал управления для внутреннего контура и управляет им [53]. Классическая структура СПУ для трех контуров показана на рис. 16. Каждый из контуров содержит свой собственный регулятор и датчик регулируемой величины.

В зависимости от структуры и параметров объекта, требований к статическим и динамическим свойствам контура могут быть использованы П-, ПИ-, ПИД-регуляторы.

Первый (внутренний) контур – контур регулирования момента (тока) двигателя. Этот контур содержит регулятор момента двигателя PM , датчик момента DM , объединенные в блок W_{01} силовой преобразователь и обмотку двигателя. С помощью датчика DM осуществляется жесткая обратная связь (ЖОС) по моменту (току). Задающим сигналом для первого контура является сигнал задания момента $U_{зм}$ с выхода регулятора скорости PC .

Второй контур, которому подчинен первый, – контур регулирования угловой скорости двигателя ω . Он содержит регулятор скорости PC , первый контур, двигатель с его механической характеристикой $\omega = f(M)$, датчик скорости $ДС$ для реализации ЖОС по скорости. Задающим сигналом для второго контура является сигнал задания скорости $U_{зс}$ с выхода регулятора положения объекта управления PII .

Третий (главный) контур, которому подчинен второй, – контур регулирования положения S объекта управления. Он содержит регулятор положения PII , второй контур, кинематическую передачу между валом двигателя и объектом управления (W_{03}), датчик скорости $ДП$ для реализации ЖОС по положению.

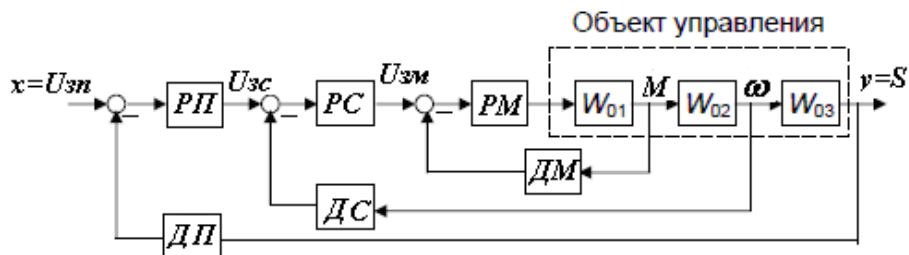


Рис. 16. Система подчиненного управления

Итак [53], СПУ содержит n контуров по числу регулируемых параметров. Каждый внутренний контур подчинен следующему по порядку внешнему. Эта подчиненность выражается в том, заданное значение переменной во внутреннем контуре определяется выходным сигналом следующего по порядку внешнего. В результате все внутренние контуры работают как подчиненные задаче регулирования выходной величины системы. Достоинства СПУ определяются возможностью реализации следующих процедур:

- 1) отдельная настройка контуров, начиная с первого самого внутреннего контура;
- 2) коррекция переходных процессов в каждом контуре, что существенно упрощает практическую настройку системы;
- 3) отдельное регулирование переменных.

Настройка контура включает выбор типа регулятора и расчет его параметров. Настройку производят так, чтобы получить технически оптимальный переходный процесс (настройка на технический оптимум). Технически оптимальным считается такой переходный процесс, при котором время t изменения регулируемой величины от 0 до установившегося значения было бы минимально возможным при перерегулировании $\sigma = (A_1/\omega_{уст}) \cdot 100\%$ не превышающим 4–10% (рис. 17).

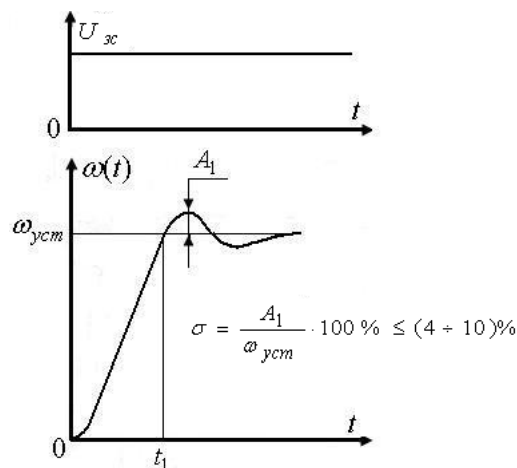


Рис. 17. К настройке на технический оптимум

Такой переходный процесс при ступенчатом входном воздействии является компромиссным между процессом более быстрым, но с большим перерегулированием, и процессом с меньшим перерегулированием, но более медленным.

Из теории автоматического управления известно [3; 23], что характер переходного процесса замкнутой системы определяется соотношением постоянных времени элементов системы. Оптимальному процессу соответствуют оптимальные соотношения постоянных времени, т.е. коэффициентов характеристического уравнения системы.

Для системы из n контуров, содержащих безинерционные, инерционные и интегрирующие звенья (это ограничение не касается регулятора) для каждого контура характеристические уравнения должны иметь соотношения коэффициентов, указанные в табл. 8 [53].

Таблица 8. Соотношения коэффициентов характеристического уравнения при технически оптимальном управлении

Порядок уравнения	Полное характеристическое уравнение	Вырожденное характеристическое уравнение	Время t_1	σ , %
2	$2T_1p(T_1p+1)+1$	$2T_1p(T_1p+1)+1$	$4,7 T_1$	4,33
3	$4T_1p[2T_1p(T_1p+1)+1]+1$	$4T_1p(2T_1p+1)+1$	$7,6 T_1$	8,00
4	$8T_1p\{4T_1p[2T_1p(T_1p+1)+1]+1\}+1$	$8T_1p(4T_1p+1)+1$	$14,4 T_1$	6,20

T_1 – наименьшая постоянная времени первого (самого внутреннего) контура системы; t_1 и σ определены при ступенчатом входном воздействии. При таких характеристических уравнениях переходные процессы в системе по управляющему воздействию будут технически оптимальными. При данном соотношении коэффициентов характеристики переходного процесса определяются не всеми членами уравнения, а вырожденным уравнением 2-го порядка. Все вырожденные уравнения (для любого порядка полного уравнения) характеризуются коэффициентом затухания $\xi = \sqrt{2}/2 \approx 0.707$, что обеспечивает технически оптимальный переходный процесс.

Исходные системы управления обычно не обладают оптимальными соотношениями постоянных времени. Их характеристические полиномы не соответствуют приведенным в табл. 8.

Для настройки контура на технический оптимум нужно подобрать такой тип регулятора и с такими параметрами, чтобы получить характеристические полиномы, приведенные в табл. 8.

Естественно физически существующую инерционность устранить невозможно, но можно компенсировать ее влияние, используя форсировку переходного процесса за счет увеличения напряжения или момента на время переходного процесса.

Рассмотрим настройку на технический оптимум внутреннего контура регулирования тока $I_{\text{я}}$ якоря (момента $M_{\text{дв}}$) двигателя постоянного тока независимого возбуждения в системе «тиристорный преобразователь – двигатель» (рис. 18).

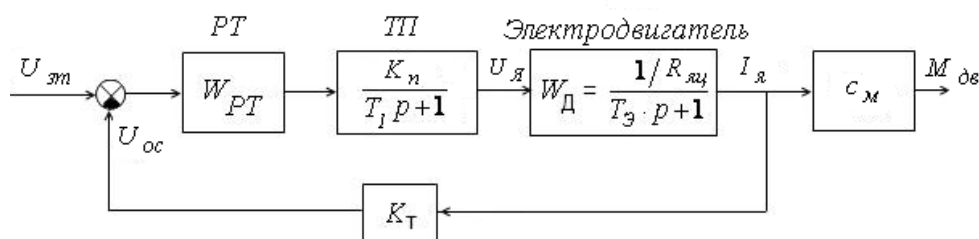


Рис. 18. К расчету внутреннего контура при подчиненном управлении:

$U_{\text{зм}}$ – задающий сигнал для контура тока; $U_{\text{ос}}$ – сигнал обратной связи по току; $U_{\text{я}}$, $I_{\text{я}}$, $M_{\text{дв}}$ – соответственно напряжение и ток в обмотке якоря, момент двигателя; $K_{\text{т}}$ – коэффициент передачи в цепи отрицательной обратной связи; $C_{\text{м}}$ – конструктивная постоянная двигателя, определяемая по номинальным параметрам

Расчет внутреннего контура производится для неподвижного якоря ($\omega = 0$). В контуре имеются 2 инерционности, характеризующиеся постоянными времени:

- электромагнитная постоянная цепи якоря $T_{\text{э}} = L_{\text{яц}} / R_{\text{яц}}$, где $L_{\text{яц}}$ и $R_{\text{яц}}$ – соответственно индуктивность и активное сопротивление якорной цепи;
- T_1 – постоянная времени, отражающая инерционность фазового управления тиристорным преобразователем $ТП$, запаздывание преобразователя, инерционность датчика и регулятора.

В реальных приводах $T_1 = (0.004 \div 0.01) \text{ с}$ и, как правило, $T_1 < T_\Sigma$ [53]. Следовательно, T_1 является наименьшей постоянной времени во внутреннем контуре (табл. 8).

В качестве регулятора тока PT используем ПИ-регулятор [23] с передаточной функцией $W_{PT}(p) = (1 + pT_0)/pT_{01}$, где $T_0 = C \cdot R_{OC}$, $T_{01} = C \cdot R_1$ – искомые постоянные времени ПИ-регулятора тока (рис. 19).

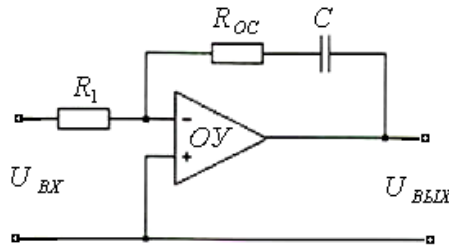


Рис. 19. Схема ПИ-регулятора на базе операционного усилителя (ОУ)

Тогда (рис. 18) для разомкнутого контура [3]

$$W_{раз}(p) = \frac{(1 + pT_0) \cdot (K_n / R_{яц})}{pT_{01} \cdot (1 + pT_1) \cdot (1 + pT_\Sigma)}.$$

Для компенсации наибольшей постоянной времени контура выбираем $T_\Sigma = T_0$. Тогда,

$$W_{раз}(p) = \frac{(K_n / R_{яц})}{pT_{01} \cdot (1 + pT_1)}.$$

Передаточная функция замкнутого контура [3]

$$W(p) = \frac{W_{раз}(p)}{1 + K_T W_{раз}(p)} = \frac{1 / K_T}{(T_1 T_{01} R_{яц} / K_n K_T) p^2 + (T_{01} R_{яц} / K_n K_T) p + 1}.$$

В знаменателе выражения для определения $W(p)$ имеем характеристический полином 2-го порядка. Из табл. 8 следует, что для обеспечения технически оптимального процесса коэффициент при p должен быть равен $2T_1$, т.е. $T_{01} R_{яц} / K_n K_T = 2T_1$.

Следовательно, $T_{01} = 2T_1 K_n K_T / R_{яц}$. Учитывая, что $T_0 = T_\Sigma$ получаем искомую передаточную функцию PT

$$W_{PT}(p) = R_{яц} (1 + pT_\Sigma) / 2pT_1 K_n K_T.$$

Задаваясь значением емкости конденсатора C (рис. 19), определяем величины сопротивлений резисторов $R_1 = T_{01} / C = 2T_1 K_n K_T / C R_{яц}$ и $R_{OC} = T_\Sigma / C$.

При таком регуляторе передаточная функция замкнутой системы

$$W(p) = \frac{W_{раз}(p)}{1 + K_T W_{раз}(p)} = \frac{1 / K_T}{2T_1^2 p^2 + 2T_1 p + 1} = \frac{1 / K_T}{[2T_1 p(T_1 p + 1) + 1]}.$$

Имеем характеристическое уравнение с оптимальным соотношением коэффициентов (табл. 8). Значит, переходный процесс при ступенчатом воздействии будет технически оптимальным с $\sigma = 4,33\%$ и $t_1 = 4,7T_1$. Полученную настройку сохраняют и при вращающемся роторе, когда проявляется противо-ЭДС вращения. Поскольку электрохимическая постоянная времени $T_{ЭМ} > 2T_\Sigma$ и $T_{ЭМ} \gg T_1$ ее влияние на переходный процесс в контуре тока при изменении задания тока оказывается несущественным и им на практике пренебрегают.

Настройка регулятора контура скорости проводится аналогично настройке внутреннего контура. В этом случае используют П- или ПИ-регуляторы. П-регулятор выбирается при малом диапазоне регулирования скорости. Действие П-регулятора сводится к следующему: при увеличении момента нагрузки на валу скорость двигателя снижается, увеличивается сигнал с выхода регулятора скорости, т.е. увеличивается задание по контуру тока, возрастает $U_{\phi 0}$ и увеличивается ток I в якорной цепи. Чем меньше коэффициент обратной связи по скорости K_ω , тем больше должна быть ошибка по скорости при одном и том же моменте нагрузки.

При использовании ПИ-регулятора система становится астатической по скорости, т.е. не имеет статической ошибки регулирования. Передаточная функция ПИ-регулятора скорости $W_{PC}(p) =$

$= k(1 + pT_0) / pT_0$, где $k = T_{эм}K_n c_e / 4T_1 R_{яц} K_{\omega} = R_{ос} / R_1$; $T_0 = CR_{ос} = 8T_1$; c_e – конструктивная постоянная двигателя. Тогда

$$W_{PC}(p) = \frac{k(1 + pT_0)}{pT_0} = \frac{T_{эм}K_n c_e (1 + 8T_1 p)}{32T_1^2 p R_{яц} K_{\omega}}.$$

При таком регуляторе при скачке входного сигнала время регулирования составит $t_1 = 6,2T_1$, а перерегулирование по угловой скорости 43%. Перерегулирование уменьшают до 6,2%, что соответствует техническому оптимуму, установкой на входе регулятора фильтра (инерционного звена) с передаточной функцией $W_{\phi}(p) = 1/(1 + 8T_1 p)$. Характеристическое уравнение контура скорости при таком ПИ-регуляторе получается 4-го порядка, перерегулирование 6,2%, время регулирования $t_1 = 14,4T_1$ (табл. 8).

Если на вход ПИ-регулятора скорости подается задающий сигнал $U_{зс}$ (см. рис. 16) скачком, то угловая скорость установится за указанное время и с указанным перерегулированием, но при отсутствии ограничений на ток якоря и ускорение исполнительного механизма. Практически ток I_a якоря превзойдет допустимое значение. Поэтому должно быть предусмотрено его ограничение. Для этого нужно ограничить максимальный уровень сигнала задания тока $U_{зт}$, т.е. сигнала на выходе РС. Для ограничения в цепь ОС усилителя устанавливают навстречу друг другу 2 стабилитрона СТ (рис. 20). При такой схеме ограничения тока и изменении $U_{зс}$ скачком РС сразу входит в ограничение, т.е. устанавливается значение $U_{зт}$, соответствующее допустимому току I_a . Контур тока обрабатывает это задание за время $t_1 = 4,7T_1$ с перерегулированием 4,33% (табл. 8). Привод разгоняется с постоянным значением тока. Ускорение привода будет зависеть от приведенных к валу двигателя моментов инерции и сопротивления. При достижении заданной угловой скорости за счет сигнала ОС по скорости регулятор выйдет из зоны ограничения и будет уменьшать $U_{зт}$ до уровня, определяемого нагрузкой.

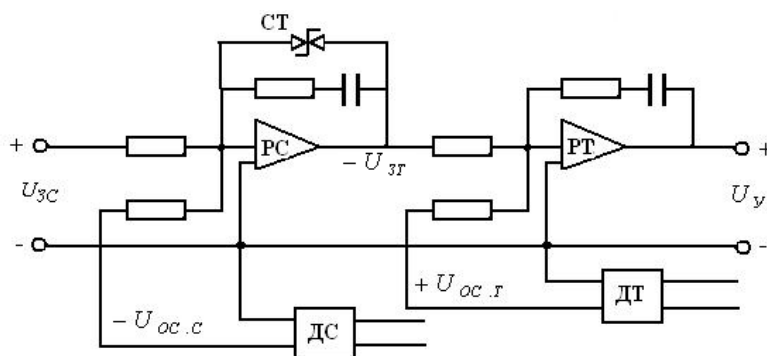


Рис. 20. Схема подчиненного управления с ограничением тока в обмотке двигателя ДС, ДТ – датчики скорости и тока соответственно; $U_{ос.с}$, $U_{ос.т}$ – сигналы обратной связи по скорости и току соответственно

При перегрузке или стопорении привода моментом $M_{стоп}$ резкое снижение сигнала $U_{ос.с}$ также вводит РС в зону ограничения. Привод работает с постоянным допустимым моментом.

Ограничение тока при пусках и торможениях в системах подчиненного регулирования достигается не ограничением выходного сигнала РС (это ограничение сохраняется как средство защиты от перегрузки), а применением задатчика интенсивности (ЗИ) входного сигнала [53]. Посредством ЗИ сигнал задания скорости изменяется не скачком, а линейно во времени до требуемого уровня. Ток якоря при этом устанавливается и спадает в конце пуска или торможения по оптимальному закону, а угловая скорость привода при постоянном моменте сопротивления ($M_c = \text{const}$) изменяется по линейному закону, следуя за задатчиком интенсивности. Основным достоинством применения ЗИ является независимость ускорения привода от статического момента сопротивления. Механические характеристики привода с подчиненным регулированием представлены на рис. 21, где характеристика 1 соответствует разомкнутой системе, а 2 – замкнутой системе подчиненного регулирования с ПИ-регулятором.

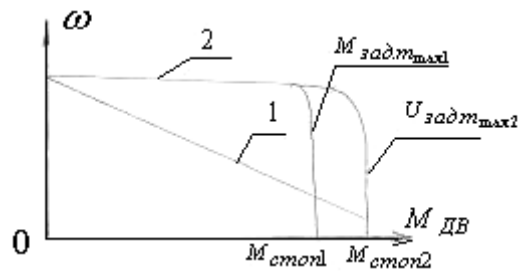


Рис. 21. Механические характеристики привода с подчиненным регулированием

Системы подчиненного управления имеют следующие недостатки:

1. Уменьшение быстродействия системы примерно в 2^{m-1} раз по мере роста числа последовательных контуров, где m – номер контура. Поэтому на практике используется число контуров не более трёх-четырёх.

2. При использовании ПИ-регулятора скорости при ударном приложении нагрузки перепад угловой скорости может достигнуть характеристики разомкнутой системы и даже превысить ее. Этот процесс сопровождается 53% перерегулированием тока якоря. Время восстановления угловой скорости равно $15,5T_1$. В настоящее время разработаны схемы, позволяющие уменьшить динамическое падение угловой скорости в астатической по скорости системе.

Однако достоинства систем подчиненного управления превалируют над недостатками, что способствуют их широкому применению во всех видах систем регулирования скорости и положения приводов постоянного и переменного токов [53].

Особенно следует отметить тот факт, что в настоящее время фирмы-производители станочных приводов (например, Siemens [31]) поставляют программы для оптимизации работы контуров подчиненного управления. Встроенные средства настройки параметров позволяют осуществлять быструю настройку регулятора на оптимальные режимы работы, сокращая затраты на проектирование. Новый тип алгоритма пошагового управления позволяет существенно увеличить срок службы исполнительных устройств.

1.4.4. Интеллектуальные цифровые приводы основных движений станков с ЧПУ

Цифровые приводы работают циклически, а циклом служит интерполяционный цикл системы ЧПУ. В каждом цикле значения переменных обновляются для каждого привода. Цифровой интерфейс обеспечивает синхронизацию циклов контроллера и следящих приводов. Синхронизация осуществляется с микросекундной точностью, поскольку влияет на координацию приводов и одновременное выполнение команд [40; 51].

Эволюция привела к созданию интеллектуальных цифровых приводов, обеспечивающих высокие скорость и точность при минимальных затратах [40]. Для их использования необходим быстродействующий цифровой открытый и стандартный интерфейс, который обеспечивает:

- синхронизацию циклов контроллера и следящих приводов с микросекундной точностью;
- возможность подключения приводов от любых производителей.

Всем этим требованиям отвечает *SERCOS* интерфейс (*Serial Realtime Communication System*) для цифровых следящих приводов [4]; он стал для систем ЧПУ международным стандартом *IEC 61491* и европейским стандартом *EN 61491*.

Обязательной частью цифрового привода является цифровой интерфейс *SERCOS*, представляющий собой локальную кольцевую оптоволоконную связь, узлами которой являются программно-аппаратные модули (рис. 22). Движение информации в кольце возможно со скоростью до 16 Мб/с. Оптоволоконный кабель выбран из соображений устойчивости от помех.

Наибольшее расстояние между модулями:

- 60 м при световодах на полимерной основе;
- 250 м при световодах на основе стекла.

Ведущий модуль интерфейса *SERCOS* обычно оформлен в виде печатной платы в составе УЧПУ. Программно-управляемые модули *SERCOS* действуют циклически. Возможные длительности циклов: $62\mu s$, $125\mu s$, $250\mu s$, $500\mu s$, $1ms$, $1ms \times n$, где n – целое число. Длительность цикла задается на этапе инициализации УЧПУ и зависит от числа приводов станка. Управлять пятью приводами можно с периодом 1 мс, а восьмью – с периодом 2 мс.

В каждом цикле для каждого привода могут быть заданы:

- максимальная скорость подачи;

- предельное значение крутящего момента;
- максимальное перемещение.

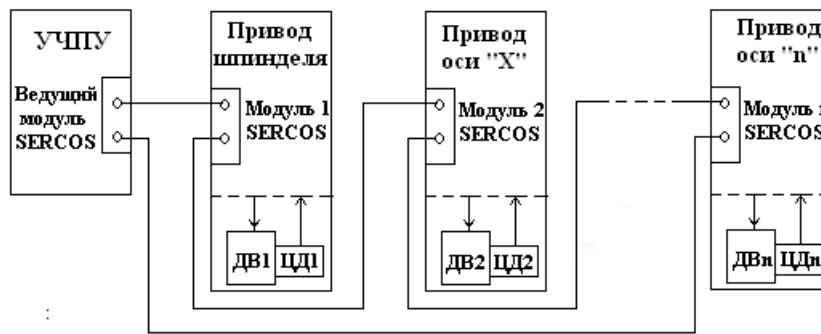


Рис. 22. Блок-схема цифрового интерфейса SERCOS: ДВ – электрический двигатель; ЦД – цифровой датчик

В каждом же цикле от каждого привода отбирается информация об истинных значениях скорости подачи, крутящего момента и величины перемещения.

Синхронизация между УЧПУ (контроллером) и приводами имеет микросекундную точность, поскольку точная координата привода гарантируется только в том случае, если фактические величины измеряются одновременно. Все задающие воздействия становятся эффективными (активными) одновременно.

В соответствии со стандартами IEC 61491 и EN 61491 каждый привод имеет свой микроконтроллер, кроме общего микроконтроллера в УЧПУ. Микроконтроллер привода (рис. 23) [4; 40] реализует подчиненное управление, осуществляя:

- тонкую интерполяцию с исключительно коротким вычислительным циклом;
- управление моментом двигателя (1-й контур, внутренний);
- управление скоростью подачи (2-й контур);
- управление позиционированием объекта (3-й контур, внешний).

В результате в сравнении с традиционными приводами достигается большая точность, причем различие особенно заметно при высоких скоростях подачи.

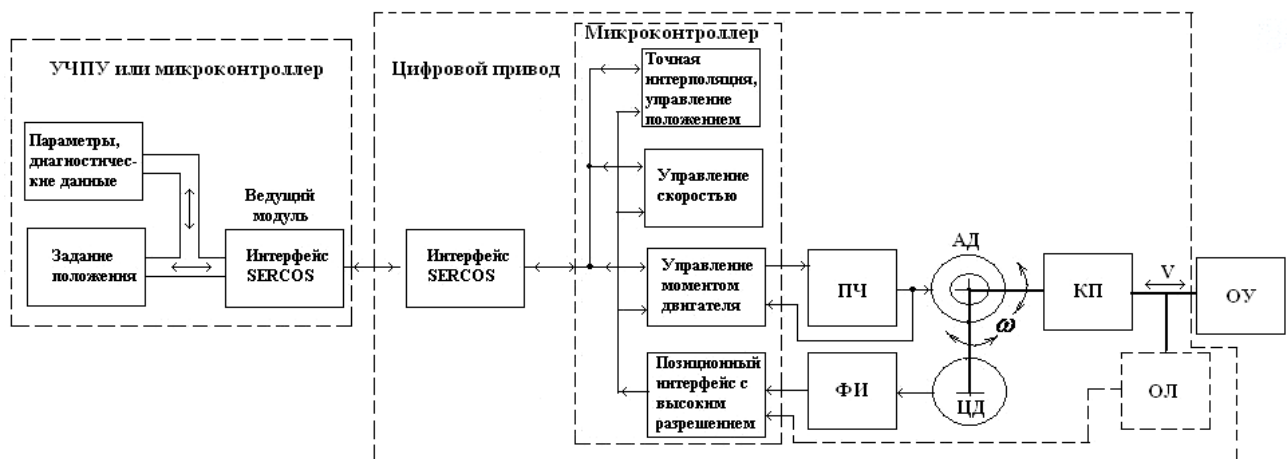


Рис. 23. Интеллектуальный цифровой привод на базе 3-фазного асинхронного двигателя, выполненный в соответствии со стандартами IEC 61491 и EN 61491:

линиями — показаны механические связи; ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный 3-фазный двигатель с короткозамкнутым ротором; КП – кинематическая передача; ОУ – объект управления; ФИ – формирователь импульсов; ЦД – цифровой датчик; ОЛ – оптическая линейка; ω – угловая скорость вала двигателя; V – скорость поступательного движения ОУ

Благодаря настройке на технический оптимум в приводе устанавливается жесткое соотношение между моментами двигателя $M_{\hat{a}\hat{q}}$ и нагрузки $M_{\hat{n}}$ и суммарным моментом инерции $J_{\Sigma} = J_{\hat{a}\hat{a}} + J_{\hat{i}}$, где $J_{\hat{a}\hat{a}}$ – момент инерции ротора АД; $J_{\hat{i}}$ – приведенный к валу АД момент инерции нагрузки.

При управлении прецизионными приводами вместо расположенного на валу двигателя АД цифрового датчика ЦД с формирователем импульсов ФИ в качестве датчика скорости и истинного положения

ОУ используется оптическая линейка ОЛ (на рис. 23 выделено пунктиром), непосредственно связанная с поступательно перемещающимся объектом управления. При использовании ОЛ положение ОУ определяется с учетом погрешностей кинематических передач между валом двигателя и нагрузкой.

Для удобного использования *SERCOS* интерфейса в системе ЧПУ разработаны быстродействующий модуль *SERCANS*, выполненный в виде карты, и терминал *DRIVETOP* настройки и диагностики на базе *Windows*-компьютера [40]. *SERCANS* представляет собой операционный блок, который поддерживает управление интеллектуальными цифровыми приводами со стороны систем ЧПУ, компьютеров и контроллеров с *VME*-шинами или др. *SERCANS* осуществляет коммуникацию, синхронизацию и восстановление отказов при совместной работе контроллера и приводов. *DRIVETOP* обеспечивает сбор, параметризацию и диагностику цифровых приводов, загрузку и хранение параметров приводов. Он располагает также мощными функциями осциллографа и спектрального анализатора. *SERCANS* имеет собственный микропроцессор и расширенную двух-портовую память. В этой связи *SERCANS* самостоятельно выполняет инициализацию, коммуникацию и диагностику в коммуникационном пространстве между системой управления и приводами. Аппаратура *SERCANS* служит для самостоятельного выполнения функций «ведущего». *SERCANS* представляет собой подключаемую карту, состоящую из БИС *SERCON 410B*, интерфейса оптоволоконного кольца, микропроцессора, памяти программ и данных, двух-портовой памяти *RAM*, индикаторов ошибок, системы диагностики, последовательного интерфейса (*RS-232*). Карта может быть установлена на шину микропроцессора, на *ISA*-шину, на *VME*-шину. При подаче синхронизирующего сигнала система управления циклически формирует новые значения команд, загружает их в двух-портовую память *RAM*, а затем эти значения считываются из памяти.

Дальнейшим шагом в развитии системы коммуникации стал переход от *SERCANS* к *SoftSERCANS*. Новый проект объединяет высокотехнологичный *SERCOS*-интерфейс со стандартом *Ethernet* для того, чтобы перейти к новому поколению *SERCOS*, получившему наименование *SERCOS-III*. *SERCOS-III* выстроен на базе существующего механизма реального времени *SERCOS*-интерфейса, работающего циклически с постоянной частотой. При этом стандартная *IP*-телеграмма (соответственно протоколу *TCP/IP*) может быть передана в выделенном временном промежутке «не-реального» времени параллельно с информацией реального времени для управления следящими приводами. Контроллер *SERCOS-III* поддерживает обмен подобными телеграммами между любыми сетевыми устройствами. Дальнейшие планируемые расширения *SERCOS*-интерфейса состоят в следующем: интеграция офисных протоколов и протоколов микролокальных сетей (т.е. *TCP/IP* и *Profibus*). Базовые идеи состоят в объединении хорошо зарекомендовавших себя *SERCOS*-механизмов с широко известными сетями *Ethernet*.

С момента внедрения стандарт *IEC 61491/EN 561491* был использован во многих тысячах приложений. Каждая координатная ось управляется циклическими командами, генерируемыми интерполятором системы управления. При этом обеспечиваются совокупная точность интерполируемого движения.

1.4.5. Системы стабилизации мощности и усилия резания

В современных металлообрабатывающих станках управление мощностью $P_{рез}$ и усилием $F_{рез}$ резания осуществляется с помощью электроприводов шпинделя (ЭПШ) и подачи (ЭПП) (рис. 24) при изменении глубины резания h и твердости материала HB [2].

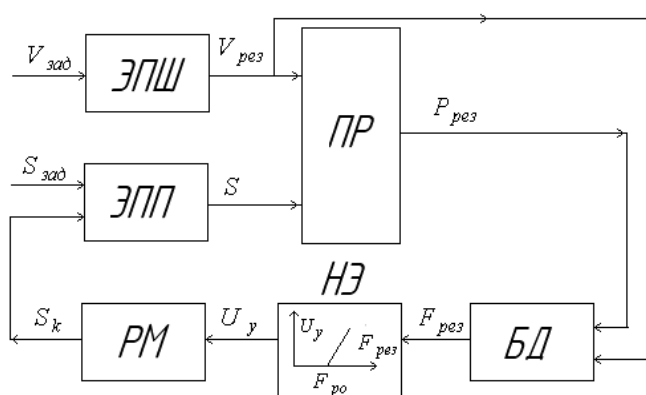


Рис. 24. Управление мощностью и усилием резания при помощи электроприводов шпинделя и подачи ($V_{зад}$ и $S_{зад}$ — заданные скорость резания и величина подачи соответственно)

Стабилизируя мощность резания, следует иметь в виду, что $P_{рез} = V_{рез} \cdot F_{рез}$. Если осуществляется стабилизация скорости $V_{рез}$, то выполнить условие $P_{рез} = \text{const}$ можно соблюдением условия $F_{рез} = \text{const}$. Таким образом, стабилизируя переменные $V_{рез}$ и $F_{рез}$ при изменении переменных h и $HВ$, можно считать, что стабилизируем и сам процесс резания (ПР).

Автоматическая стабилизация мощности (усилия) резания возможна, если применить нелинейную обратную связь, действие которой начинается после превышения мощностью $P_{рез}$ некоторого значения $P_{ро}$, соответствующего рабочему режиму резания [2]. Нелинейную коррекцию подачи удобно выполнять по усилию $F_{рез}$, которое может быть получено с помощью блока деления БД, реализующего зависимость $F_{рез} = P_{рез} / V_{рез}$.

При условии $F_{рез} > F_{ро}$ (рис. 24) на выходе нелинейного элемента НЭ появляется напряжение U_{δ} и на выходе регулятора мощности РМ появляется сигнал коррекции S_k , уменьшающий подачу S так, чтобы обеспечит выполнение условия $P_{рез} = \text{const}$. Регулятор мощности обеспечивает требуемую динамику процесса стабилизации.

Непосредственно измерять мощность или усилие резания сложно, поэтому применяют косвенные оценки по мощности электропривода шпинделя $P_{шп}$ и значению потерь в двигателе $\Delta P_{дв}$ и передаточном механизме $\Delta P_{пм}$

$$P_{рез} = P_{эш} - \Delta P_{дв} - \Delta P_{пм}.$$

Доля потерь $\Delta P_{дв}$ и $\Delta P_{пм}$ существенна, когда металлообработка происходит при малых усилиях резания. Но в этом случае нет опасности появления чрезмерных значений $P_{рез}$, нарушающих нормальный ход процесса резания. При больших значениях усилий резания можно пренебречь потерями и считать, что $P_{рез} \approx P_{эш}$.

Функциональная схема системы стабилизации мощности резания представлена на рис. 25.

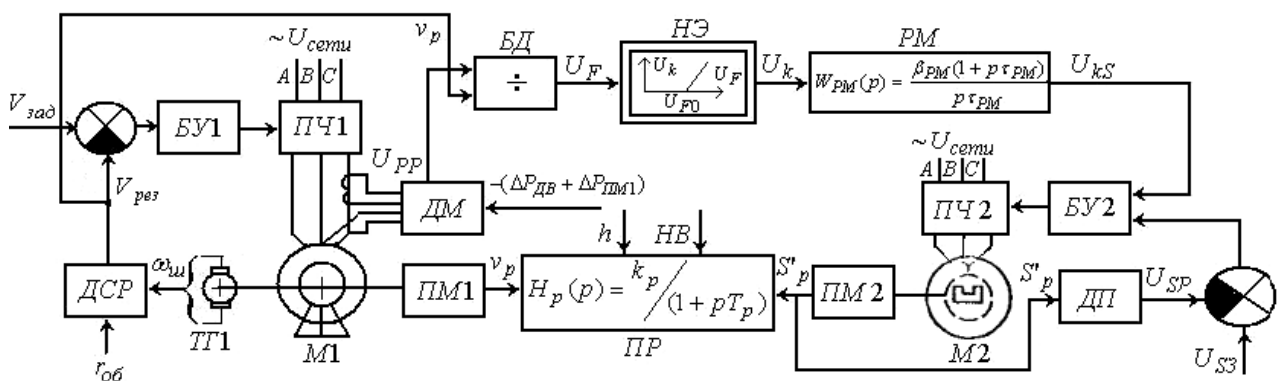


Рис. 25. Функциональная схема системы стабилизации мощности резания с включением передаточных функций ПИ-регулятора мощности (РМ) и процесса резания (ПР)

ЭПШ выполнен на базе трехфазного асинхронного двигателя М1 с короткозамкнутым ротором, который управляется от преобразователя частоты ПЧ1 (SIMODRIVE 611 с блоком управления БУ1). Преобразователь ПЧ1 выбирается по принципу электрической совместимости с управляемым двигателем М1. При заданных h и $HВ$ через передаточный механизм ПМ1 двигатель М1 осуществляет фрезерование изделия со скоростью $V_{рез}$. Измеренное значение $V_{рез} = \omega_{рез} \cdot r_{об}$ присутствует на выходе датчика скорости и радиуса обработки ДСР, на входы которого поступают значения радиуса обработки $r_{об}$ и угловой скорости $\omega_{рез}$ с выхода тахогенератора ТГ1. Сигнал обратной связи $V_{рез}$ сравнивается с заданной скоростью $V_{зад}$. В результате сигнал ошибки поступает на вход БУ1, который управляет частотой и амплитудой напряжения на выходе ПЧ1 и скоростью вращения вала М1 (скоростью резания $V_{рез}$).

Для связи систем управления ЭПШ и ЭПП введены датчик мощности ДМ, блок деления БД, нелинейный элемент НЭ и регулятор мощности РМ. Индуктивный датчик мощности ДМ (трансформатор тока) измеряет мощность привода шпинделя $P_{эш}$ и формирует сигнал U_{pp} , пропорциональный мощности резания $P_{рез}$. На выходе БД формируется сигнал $U_F = U_{pp}/V_{рез}$, пропорциональный реальному усилию резания $F_{рез}$. Если $U_F < U_{F0}$ (сила резания $F_{рез}$ превышает соответствующее рабочему режиму значение $F_{ро}$), на выходе НЭ появляется корректирующий сигнал U_k , поступающий на вход РМ. На выходе РМ появляется сигнал коррекции U_{ks} , уменьшающий скорость подачи в ЭПП (силу резания) таким образом, чтобы обеспечить стабилизацию мощности резания $P_{рез} = F_{рез} \cdot V_{рез} = \text{const}$. Регулятор мощности РМ

обеспечивает требуемую динамику процесса стабилизации $P_{рез}$, являясь пропорционально-интегральным регулятором (ПИ-регулятором), и определяется передаточной функцией $W_{рм}(p) = \beta_{рм}(1 + p\tau_{рм})/p\tau_{рм}$, где $\beta_{рм}$, $\tau_{рм}$ – соответственно коэффициент усиления и постоянная времени интегратора.

ЭПП выполнен на базе трехфазного синхронного двигателя М2. Двигатель М2 управляется от преобразователя частоты ПЧ2 (SIMODRIVE 611 с блоком управления БУ2). Через передаточный механизм ПМ2 осуществляется перемещение детали относительно инструмента. Реальная скорость подачи S'_p (мм/мин или мм/об) измеряется датчиком подачи ДП, на выходе которого формируется сигнал U_{SP} . Сигнал U_{S3} соответствует заданной скорости подачи. Разность сигналов $U_{S3} - U_{SP}$ поступает на один вход БУ2, на другой вход поступает сигнал U_{ks} с выхода РМ.

Процесс резания характеризуется передаточной функцией $H_p(p) = \frac{F_p(p)}{S'_p(p)} = \frac{k_p}{(1 + pT_p)}$, где k_p , T_p – соответственно коэффициент и постоянная времени резания. Величина k_p определяется по эмпирической формуле [2] в зависимости от вида обработки, материала инструмента и детали.

Постоянная времени резания определяется из выражения $T_p \approx 2\pi/\omega_{ш}$, где $\omega_{ш}$ – угловая скорость вращения шпинделя, рассчитываемая при разработке технологического процесса обработки детали.

Настройка параметров РМ проводится из условия оптимизации системы стабилизации мощности по модулю [2]. В этом случае постоянная времени РМ определяется из условия $\tau_{рм} = T_p \cdot 2\pi/\omega_{ш}$, что обеспечивает компенсацию наибольшей постоянной времени системы управления (постоянной времени резания) и, в конечном счете, приводит к оптимизации по быстродействию, т.е. к увеличению производительности оборудования.

Настройка ЭПШ и ЭПП выполняется по типовым динамическим характеристикам в зависимости от значений основных возмущающих воздействий: приведенных к валам двигателей моментов сопротивлений M_{C1} и M_{C2} ; возмущений, определяемых глубиной резания h и твердостью обрабатываемого материала HB .

1.4.6. Система стабилизации упругих деформаций, возникающих в зоне резания

В системе «станок – приспособление – инструмент – деталь» в процессе резания могут возникать резонансные колебания с большой амплитудой. Такие колебания, особенно появляющиеся на малых частотах, существенно ухудшают качество обработки. Изменяя скорость резания и скорость подачи, можно существенно уменьшить амплитуду этих колебаний [2].

Применительно к тяжелым фрезерным станкам (рис. 26) осуществляется автоматическое поддержание задаваемой мощности резания $P_{рез}$ путем изменения подачи S_M стола или бабки. При этом с помощью воздействий на подачу ограничивается амплитуда A вибраций станка в допустимых пределах.

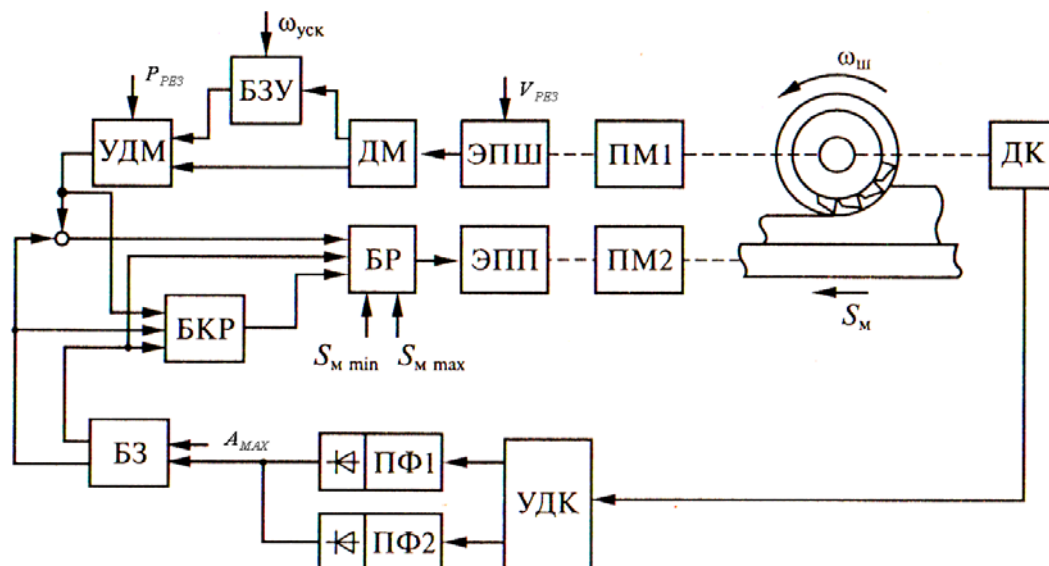


Рис. 26. Функциональная схема системы стабилизации упругих деформаций:

ДМ, ДК – соответственно датчики мощности резания и колебаний; УДМ, УДК – соответственно усилители датчиков мощности резания и колебаний; БЗ, БЗУ, БКР, БР – соответственно блоки задания, запоминающих устройств, контроля режимов, регулирования; ПФ1, ПФ2 – полосовые фильтры; ЭПШ, ЭПП – электроприводы шпинделя и подачи

Система стабилизации реализует следующий алгоритм:

- стабилизируемая мощность задается на пульте управления в следующем диапазоне $0.1P_{\text{ном}} \leq P_{\text{рез}} \leq 1.2P_{\text{ном}}$;
- скорость вращения шпинделя постоянна, $\omega_{\text{ш}} = \text{const}$;
- минутная подача S_M регулируется в пределах $S_{M\min} \leq S_M \leq S_{M\max}$ от минимально допустимой $S_{M\min}$ до максимально допустимой $S_{M\max}$ подачи;
- амплитуда максимально допустимых вибраций $A_{\max}$ задается в блоке задания БЗ. Реальная амплитуда A вибраций поддерживается не больше максимально заданной, $A \leq A_{\max}$.

Амплитуда A вибраций станка ограничивается в диапазоне резонансных частот от 10 до 100 Гц. Для этого вводятся полосовые фильтры ПФ1 и ПФ2, которые пропускают измеренные амплитуды колебаний только в этом диапазоне частот. Диапазон изменения заданного значения допустимой амплитуды $A_{\max}$ вибраций равен 1:10.

Кроме того, система обеспечивает:

- автоматическую компенсацию потерь холостого хода главного привода (привода шпинделя);
- прохождение на быстром ходу участков без резания;
- автоматическое форсированное снижение минутной подачи при врезании в изделие.

1.4.7. Приводы вспомогательных движений

Электроприводы вспомогательных движений, как правило, не требуют регулирования скорости и осуществляются от асинхронных двигателей с кинематическими передачами или без них. Исключением является привод смены инструмента, где важна точность позиционирования [2].

1.4.7.1. Устройства автоматической смены инструмента (АСИ)

Одним из узлов, определяющих технологические возможности станков с ЧПУ, являются устройства АСИ. Их использование является одним из основных средств сокращения времени простоев станков с ЧПУ.

Классификация способов и устройств АСИ зависит от типа станка, расположения шпинделя, количества и типов применяемого инструмента, времени смены инструмента [48]. Классификация способов и устройств АСИ приведена на рис. 27.

Револьверные шпиндельные головки (рис. 27а) в последние годы применяются реже из-за малого числа размещаемого в них инструмента и неточностей, вносимых индексацией головок, а также недостаточной их жесткостью.

Сменные многошпиндельные головки (рис. 27б) используют в многооперационных станках при изготовлении крупных серий деталей.

Магазины шпиндельных гильз (рис. 27в) лишены недостатков, свойственных револьверным шпиндельным головкам, но имеют высокую стоимость вследствие необходимости изготовления большого числа прецизионных шпиндельных узлов.

Револьверные магазины с постоянным положением относительно шпинделя (рис. 27г) содержат большее количество инструмента, чем револьверные шпиндельные головки, и позволяют разместить шпиндель любой длины. К их недостаткам следует отнести ограниченную емкость магазина, большой вылет шпинделя, что снижает точность обработки, а также существенное загромождение рабочей зоны станка.

Магазины инструментов без автооператоров (рис. 27д) требуют дополнительного радиального перемещения, что ограничивает их емкость и количество вариантов компоновок.

Устройства с одним загрузочным оператором (рис. 27е) получили широкое распространение. При повороте автооператор захватывает одновременно оправки с предыдущим и последующим инструментом, затем осевым перемещением выталкивает их из магазина и шпинделя, поворотом на 180° меняет местами и обратным осевым движением посылает предыдущий инструмент в магазин, который в компоновке нельзя располагать далеко от шпинделя.

Магазин с автооператором на каждый инструмент (рис. 27ж) имеет ограниченную емкость или же получается громоздким. Обслуживание устройства, расположенного в рабочей зоне, затруднено.

Магазины с загрузочными и транспортными автооператорами (рис. 27з) могут быть размещены на достаточном удалении от шпинделя в удобном для обслуживания месте. Усложнение, связанное с дополнительным автооператором, компенсируется возможностью изготовления магазинов в виде независимых агрегатных узлов различной емкости.

Устройства с автооператором-накопителем инструмента (рис. 27и) применяют с целью исключения использования большого магазина и ускорения АСИ при повторяющемся применении наиболее характерного для данной детали режущего инструмента.

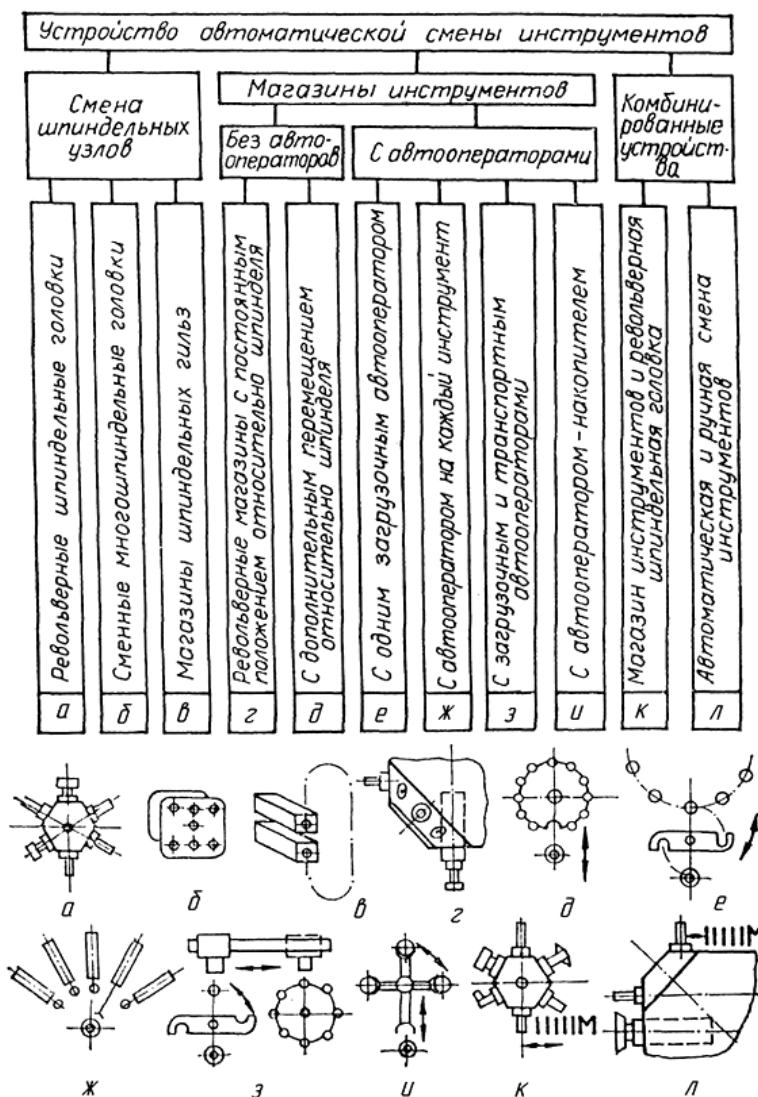


Рис. 27. Устройства автоматической смены инструмента

В комбинированном устройстве (рис. 27к) револьверную шпиндельную головку используют в сочетании с магазином М, из которого легкие инструменты автоматически загружаются поочередно в два противоположных шпинделя. В остальных шпинделях устанавливают тяжелые инструменты, закрепляемые вручную.

В комбинированном устройстве со специализированными шпинделями (рис. 27л) двух шпиндельная револьверная головка для легких инструментов автоматически загружается из магазина М, а шпиндель, предназначенный для тяжелых инструментов, загружают вручную или из особого магазина. Сочетание револьверной головки и магазина позволяет время АСИ свести к времени индексации головки, поскольку поиск и загрузка-разгрузка инструментов совмещены с работой станка. Специализация шпинделей позволяет приспособить их к условиям работы и уменьшить размеры магазина.

1.4.7.2. Устройства АСИ для станков токарной группы

На станках с ЧПУ токарной группы наиболее широко применяются многопозиционные револьверные головки, число инструментов в которых позволяет осуществить полную токарную обработку заготовок [47]. Около 70% заготовок могут быть обработаны всего восемью инструментами, а при наличии 13 инструментов можно обработать более 95% заготовок. Револьверные головки применяются четырех-, шести-, восьмипозиционные и с большим числом позиций. Наиболее широко используются восьмипозиционные головки.

При оснащении токарных станков двумя независимо программируемыми головками в обработке заготовок одновременно принимают участие два инструмента.

Револьверные головки применяются с вертикальной, горизонтальной и наклонной (корончатые) осями вращения; инструменты устанавливаются в той последовательности, в какой они используются согласно технологическому процессу.

Смена инструмента осуществляется поворотом и фиксацией головки или линейным ее перемещением (в случаях, когда в одной позиции установлено несколько инструментов). Инструментальный магазин – револьверная головка – является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания, следовательно, к нему предъявляются требования высокой прочности, жесткости и точности позиционирования. Инструменты для обработки внутренних и наружных поверхностей не должны мешать друг другу. Время смены инструмента должно быть минимальным. Замена инструмента должна осуществляться удобно и легко, для чего к нему необходимо обеспечить свободный доступ.

На рис. 28 показаны схемы различных вариантов и сочетаний револьверных головок, применяемых на токарных станках с ЧПУ. Изначально на станки устанавливалась револьверная головка, выполненная по аналогии с резцедержателем универсального станка. В такие четырехпозиционные револьверные головки с осью, перпендикулярной к оси шпинделя (рис. 28а), на каждой грани головки может быть установлено несколько инструментов. При этом можно вести обработку сразу несколькими инструментами. Попытка увеличить количество позиций револьверных головок привела к созданию 6-, 8-, 10- и 12-позиционных головок с осью, перпендикулярной оси шпинделя станка (рис. 28б). В 12-позиционной головке могут быть установлены шесть инструментов для обработки наружных поверхностей и шесть для внутренних. Дальнейшее совершенствование револьверных головок привело к созданию головок с осью, параллельной оси шпинделя (рис. 28в), 8- и 12-позиционных, обеспечивающих максимальную точность установки инструмента. Такие головки используются, в основном, на патронно-центровых станках. Шестипозиционные корончатые револьверные головки показаны на рис. 28г.

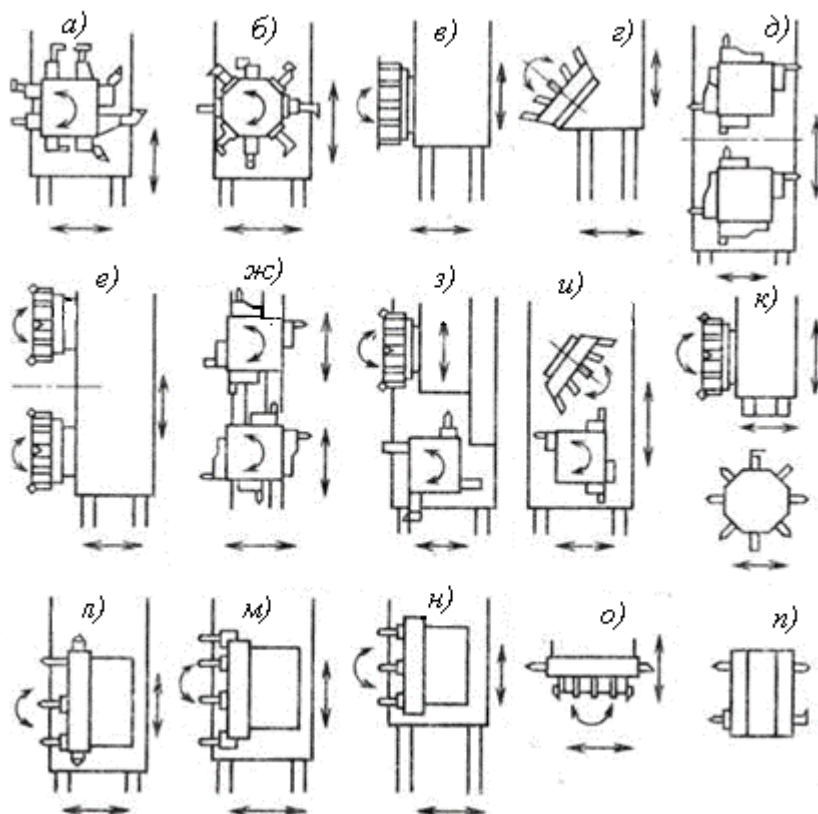


Рис. 28. Схемы конструктивного исполнения револьверных головок токарных станков

Дальнейшее стремление увеличить емкость головок привело к установке нескольких инструментальных головок на одной каретке. Две головки 4-, 5- или 6-позиционные с осью вращения, перпендикулярной к оси шпинделя, установленные на одной каретке, показаны на рис. 28д, а две головки с осью, параллельной этой оси, установленные на одной каретке – на рис. 28е. Если допустить возможность независимого перемещения головок по оси, перпендикулярной к шпинделю, то вполне возможно осуществлять обработку сразу нескольких поверхностей. Две головки (4- или 6- позиционные) с осью, перпендикулярной оси шпинделя, с независимым поперечным перемещением (рис. 28ж) обеспечивают одновременную обработку заготовки двумя инструментами.

Две головки на общей каретке, одна из которых (с восемью и большим числом позиций) с осью, параллельной оси шпинделя, предназначена в основном для обработки наружных поверхностей, а вторая четырех- или шестипозиционная с осью, перпендикулярной оси шпинделя, для внутренних поверх-

ностей, показаны на рис. 28з. Две головки на одной каретке, одна из которых корончатая, а вторая с осью, перпендикулярной оси шпинделя, представлены на рис. 28и.

На рис. 28к показаны две головки с независимым перемещением, одна из которых с осью, параллельной оси шпинделя, а вторая – с осью, перпендикулярной оси шпинделя, предназначены для обработки внутренних поверхностей.

Однако применение таких конструкций с несколькими револьверными головками ведет к значительному усложнению конструкции станка, системы ЧПУ, повышает сложность разработки управляющих программ, а количество поверхностей, допускающих совместную обработку, ограничено.

В последнее время отмечается тенденция к увеличению числа инструментов для обработки одной заготовки детали. Причиной являются усложнение обрабатываемых деталей и требование выполнения обработки заготовок с одной установки с целью сокращения цикла обработки. Для этой цели число позиций револьверных головок увеличивают до 15.

Работы по увеличению емкости одной головки были перспективными, что привело к разработке револьверных головок с осью, параллельной оси шпинделя (рис. 28л), установка инструмента на которых производится в два ряда: на периферии и на торце. На периферии устанавливается инструмент для наружной обработки, а на торце посредством цилиндрических державок закрепляют инструмент для внутренней обработки и различный осевой инструмент.

В последнее время на токарных станках с ЧПУ используются агрегатированные револьверные головки, представляющие собой полностью законченные узлы, устанавливаемые на каретке или суппорте токарного станка. Значительная часть (70–75%) обрабатываемых на токарных станках с ЧПУ видов деталей (фланцы, валы, стаканы) требуют и других отличных от токарных методов обработки, к которым относятся: сверление, резьбонарезание метчиком, фрезерование боковых поверхностей и канавок. Для сокращения цикла обработки таких деталей их целесообразно полностью обрабатывать на одном станке, что исключает время на переустановку заготовки со станка на станок. Однако если установить в револьверной головке токарного станка вращающийся инструмент, то заготовки могли быть полностью обработаны на одном станке. Практическая реализация данной идеи привела к созданию револьверных головок с приводными позициями (рис. 29). Показанная на рис. 29 головка вследствие того, что одновременно вращаются сразу все инструменты, имеет ряд существенных недостатков: представляет опасность для оператора и значительные затраты энергии на бесполезное вращение неиспользуемого инструмента.

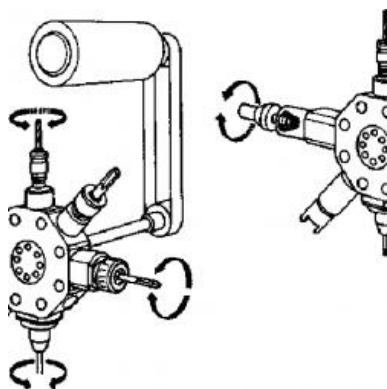


Рис. 29. Конструктивная схема револьверной головки с вращающимися шпинделями токарного станка

Данные недостатки привели к созданию револьверных головок, у которых вращается только один задействованный в обработке инструмент (рис. 30). В одну из приводных позиций может быть установлен патрон, позволяющий в процессе обработки перебазировать деталь с другой стороны и провести обработку заготовки с двух сторон.

Токарные станки с ЧПУ могут быть оснащены устройствами АСИ, состоящими из магазинов-накопителей инструмента и манипуляторов, которые автоматически заменяют инструмент в резцедержателе. Применение таких устройств АСИ имеет следующие преимущества перед револьверными головками:

- исключается возможность столкновения инструмента, что значительно упрощает программирование и составление карт наладки;
- наличие большего числа инструментов в магазине позволяет обработать максимальное число поверхностей с одной установки;

- обеспечивается возможность замены инструментов в магазине во время работы станка, что сводит к минимуму подготовительно-заключительное время на смену комплекта инструментов.

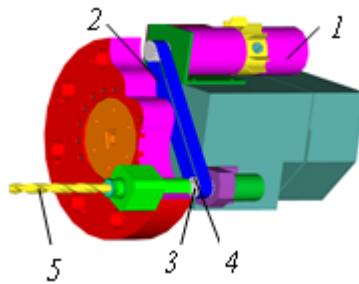


Рис. 30. Схема шестипозиционной револьверной головки с вращающимся инструментом: 1 – приводной двигатель; 2 – зубчатая ременная передача; 3, 4 – полумуфты; 5 – инструмент

В настоящее время магазины-накопители устанавливаются в основном на токарные обрабатывающие центры с вертикальным расположением оси шпинделя. На станках с горизонтальным расположением оси шпинделя используются в основном восьмипозиционные револьверные головки с горизонтальной осью вращения.

При изготовлении криволинейных пазов и поверхностей кулачков, а также для растачивания отверстий с точным угловым расположением требуется привод шпинделя, управляемый от устройства ЧПУ и обеспечивающий программируемое угловое перемещение шпинделя, частоту и направление вращения. Для этого используется следящий привод с обратной связью по угловому положению шпинделя.

При фрезеровании и нарезании резьбы гребенкой, при точении многогранников или фрезеровании винтовых канавок применяется синхронизация вращения инструмента и заготовки.

1.4.7.3. Устройства АСИ для фрезерно-сверлильно-расточных станков

В общем случае устройства АСИ многоцелевых станков состоят из следующих компонентов [47]:

- инструментальных магазинов, являющихся накопителями инструмента (блоков режущего и вспомогательного инструмента для инструментальных шпинделей);
- инструментальных манипуляторов, предназначенных для смены инструмента в шпинделе станка;
- промежуточных транспортных манипуляторов, предназначенных для передачи инструмента от магазина к инструментальным манипуляторам или к промежуточным позициям – накопителям инструмента.

Основные требования, предъявляемые к инструментальным магазинам, следующие:

- достаточная вместимость;
- высокая точность позиционирования инструмента в рабочем органе станка;
- легкость и удобство загрузки магазинов и хороший доступ к ним;
- минимальное время, затрачиваемое на смену инструмента;
- высокая надежность;
- наименьшее число координат при смене инструмента.

Вместимость инструментальных магазинов весьма различна (от 6 до 160 шт. и более). Наименьшую вместимость имеют револьверные головки, а наибольшую – барабанные и цепные магазины. Конструктивные исполнения устройств АСИ зависят от типов станков, рабочей зоны расположения шпинделя, необходимого числа и типа инструментов. Используются три типа устройств АСИ:

- для смены шпиндельного узла;
- для смены инструмента в шпинделе станка;
- комбинированные.

Устройства для смены шпиндельного узла подразделяются на устройства с револьверными головками (рис. 31) и с дисковыми магазинами (рис. 32).

В револьверных головках инструменты устанавливаются в требуемой последовательности обработки заготовки. Автоматическая смена инструмента осуществляется расфиксацией, поворотом и фиксацией револьверной головки. Инструменты, как правило, закрепляются в гнездах магазина и не меняются в течение всего времени обработки партии заготовок. Магазин является рабочим органом станка, воспринимающим силы резания. При применении револьверных головок необходимость наличия инструментальных и транспортных манипуляторов, а также промежуточных накопителей отсутствует.

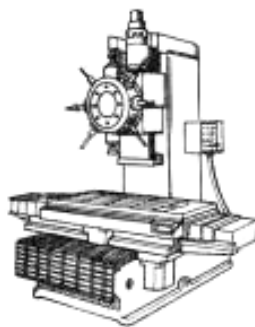


Рис. 31. Схема устройства смены шпиндельного узла в виде револьверной головки

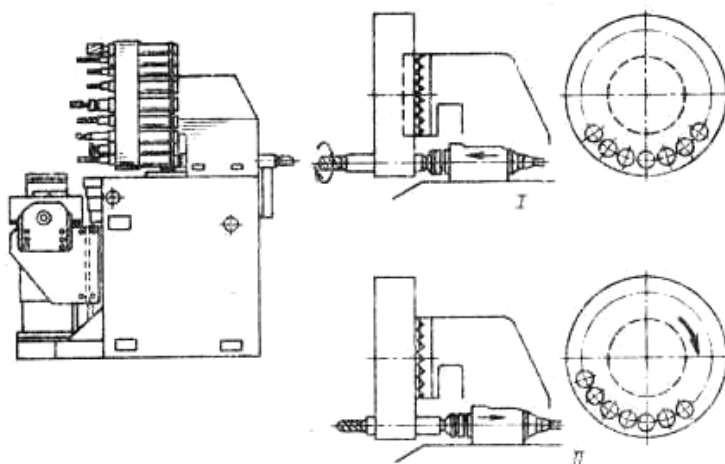


Рис. 32. Схема устройства смены шпиндельного узла в виде дискового магазина

Преимуществом таких устройств АСИ являются простота конструкции, минимальное время, необходимое для смены инструментов, отсутствие автоматической смены инструмента в шпинделе станка. *Недостатки*: небольшое число инструментов; ограниченность рабочей зоны (поскольку подача инструмента осуществляется перемещением револьверной головки); невысокая жесткость инструментальных шпинделей.

По положению осей револьверных головок эти устройства подразделяются на головки с горизонтальной и вертикальной осями вращения. Наиболее широкое применение получили револьверные головки с горизонтальной осью вращения (на многоцелевых станках с вертикальным шпинделем).

Устройства для смены шпиндельного узла в виде дискового магазина используются с горизонтальной, вертикальной или наклонной осью поворота. Шпиндели поочередно присоединяются к приводу, обеспечивающему вращение и подачу шпинделя (см. рис. 32). При смене инструмента шпиндель отсоединяется от привода. Магазин поворачивается в положение, при котором очередной шпиндель устанавливается соосно со шпинделем привода и присоединяется к последнему.

Преимуществом устройств АСИ с магазином шпиндельных гильз перед устройствами с револьверными инструментальными шпиндельными головками является увеличение числа инструментов, большая жесткость шпинделя, меньшие ограничения зоны обработки, поскольку подача инструментов осуществляется перемещением гильзы шпинделя.

На небольших и средних многоцелевых станках применяются наиболее простые конструкции устройств АСИ, в которых смена инструмента осуществляется относительным перемещением магазина и шпинделя станка (рис. 33) [47]. Применение таких устройств исключает наличие сложного узла-манипулятора. Однако увеличивается время смены инструмента, т.к. время поиска требуемого инструмента не может быть совмещено с временем работы станка.

Магазины устройств АСИ с манипулятором подразделяются на дисковые, барабанные и цепные.

Дисковые магазины (см. рис. 33) применяются с горизонтальной, вертикальной и наклонной осями вращения. В магазинах с горизонтальной осью вращения инструменты устанавливают горизонтально. В магазинах с вертикальной осью вращения инструменты могут быть установлены вертикально, горизонтально или под углом (корончатые). В магазинах с наклонной осью поворота инструменты устанавливают параллельно оси поворота или под углом (корончатые).

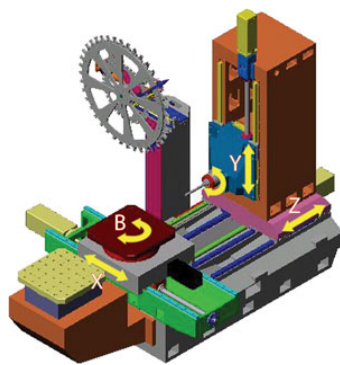


Рис. 33. Схема смены инструмента путем относительного перемещения шпинделя

Барабанные магазины выполняются многоярусными (в виде этажерок) с вертикальной осью вращения с горизонтально установленными инструментами [47].

Цепные магазины выполняются вертикальными, горизонтальными или наклонными различной конфигурации [47].

Инструментальные манипуляторы (рис. 34), предназначенные для смены инструмента в шпинделе станка, по числу захватов подразделяются на одно-, двух- и много захватные. Наиболее широкое применение получили двухзахватные манипуляторы.

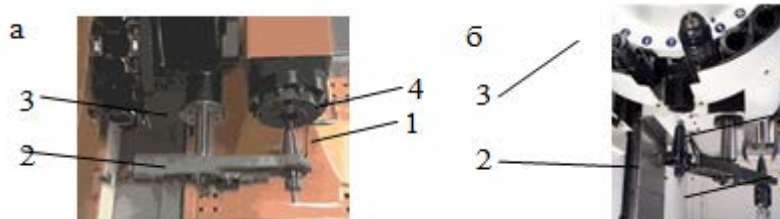


Рис. 34. Конструктивная схема смены инструмента манипулятором: 1 – инструмент; 2 – манипулятор; 3 – магазин; 4 – шпиндель

1.4.7.4. Устройство АСИ токарно-фрезерных обрабатывающих центров

Станкостроительными компаниями производится ряд многофункциональных токарно-фрезерных центров. Работа на таких станках требует меньше оснастки, меньше ручных настроек, меньше обслуживания благодаря высокой степени автоматизации и технологической оснащенности.

Типичным примером является многофункциональный токарно-фрезерный центр пятого поколения *NTX* фирмы *Nakamura*. Концепция *Super NTX* воплощает формулу «три в одном»: функциональные возможности двух токарных и фрезерного станков, что позволяет осуществлять одновременное 11-осевое управление, высокопроизводительно выполнять комплексную обработку деталей с одной установки. *Super NTX* отвечает современным требованиям к точности обработки: округлость обработки деталей составляет 0,4 мкм, а шероховатость $Ra - 0,1985$ мкм.

Конструктивно шпиндели выполнены по типу «электрошпиндель», т.е. ротор электродвигателя является единым целым с телом шпинделя. Управляемый поворот шпинделей с минимальным шагом $0,001^\circ$ в сочетании с эффективным тормозом позволяет выполнять высококачественную фрезерную обработку. Обработку деталей можно осуществлять одновременно в двух шпинделях раздельно (как на двух разных станках) либо вместе – в этом случае второй шпиндель используется в режиме дополнительной управляемой опоры (например, для обработки крупных деталей).

На каждой из револьверных головок может быть размещено 12 токарных и приводных инструментов (в том числе, с внутренней подачей СОЖ), а при использовании спаренных правок – до 24 токарных инструментов. Левая головка работает со шпинделем, а правая – с противошпинделем.

Для силового фрезерования и сверления используется инструментальный шпиндель с широкими возможностями перемещений и поворота относительно детали в шпинделе или противошпинделе. Функция контролируемого поворота шпинделя вокруг оси позволяет гибко использовать в нем не только фрезерный, но и токарный инструмент. В стандартном оснащении магазин рассчитан на 24 инстру-

мента. Магазин расположен на собственной станине, благодаря чему процесс смены инструментов, а также их вес не вызывают вибраций, не оказывают влияния на точность обработки.

Для автоматизированной непрерывной работы станка предусмотрена функция управления ресурсом режущего инструмента, позволяющая автоматически, не дожидаясь критического износа инструмента, заменять его дубликатом из другой позиции revolverной головки или инструментального магазина. Функция контроля осевых нагрузок позволяет широко использовать ее возможности в работе со станком, например:

- для контроля усилия прижима детали вращающимся центром;
- для автоматического задания глубины прохода при многопроходном сверлении в зависимости от величины нагрузки;
- для аварийного останова станка при чрезмерных усилиях во время обработки;
- для функции «воздушной подушки», позволяющей мгновенно (за 0,008 с) отследить внезапный рост нагрузки и отвести рабочий орган назад, уберегая станок от поломки;
- для запрессовки втулок и т.д.

Глава 2. Накопительные устройства ГПМ и РТК

Для обеспечения работы основного технологического оборудования в составе ГПМ, как правило, требуются разнообразные вспомогательные устройства, выполняющие следующие функции [18]: промежуточное накопление, хранение, поштучную выдачу роботу и приемку от него изделий; вспомогательное транспортирование; промежуточное поштучное хранение, базирование, ориентацию. Нередко вспомогательное оборудование бывает сложнее и дороже роботов (особенно простейших с цикловой системой управления) и даже основного технологического оборудования.

Накопительные устройства (загрузочное и приемное) играют роль входа и выхода ГПМ [18]. При комплексной автоматизации производства, в том числе в гибких производственных системах (ГПС), обрабатываемые детали поступают на ГПМ партиями в специальных контейнерах. В отдельных ГПМ накопительные устройства могут загружаться вручную с периодичностью 20–30 мин. Такие ГПМ также перенастраиваются при смене обрабатываемого изделия. В перспективе их загрузка также должна быть автоматизирована.

2.1. Конструктивно-компоновочные схемы контейнеров

Оформление контейнеров, в которых перемещаются объекты обработки между ГПМ (РТК) и складом, зависит от свойств изделий, а также методов и средств их разгрузки и загрузки. Конструктивно-компоновочные схемы контейнеров и методы их разгрузки и загрузки приведены на рис. 35 (схемы 1–5). При раскладке могут перемещаться захватное устройство робота (Р) или вспомогательного манипулятора (Р'), контейнер (К) или изделие (И).

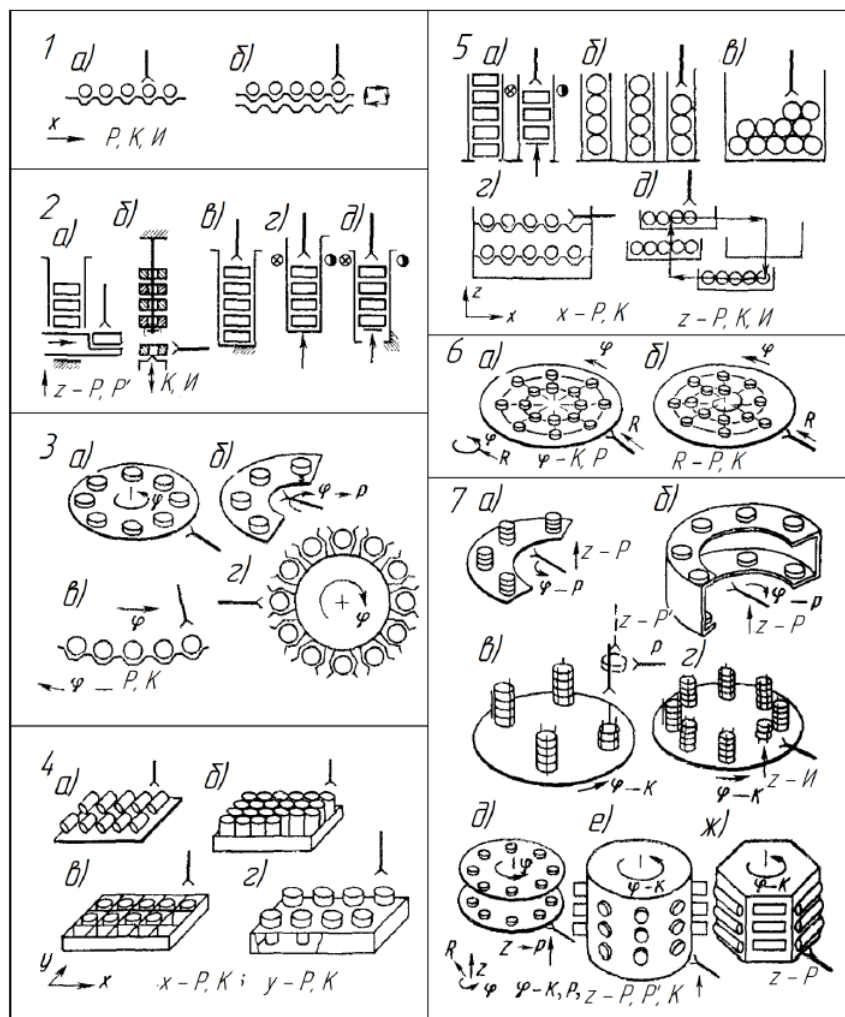


Рис. 35. Конструктивно-компоновочные схемы контейнеров и методы их загрузки и разгрузки

Наиболее просты контейнеры под укладку изделий произвольно – навалом. Более гибкой и универсальной является упорядоченная укладка изделий в контейнеры. В зависимости от размера партии изделий,

способа обработки контейнеров и систем координат роботов изделия в контейнерах могут располагаться на горизонтальных прямых линиях (рис. 35, схемы 1а, б), вертикальных прямых линиях (рис. 35, схемы 2а–д), дуговых линиях (рис. 35, схемы 3а–г); на вертикальных плоскостях (рис. 35, схемы 4а–г), на пересечениях радиальных прямых и концентрических дуг (рис. 35, схема 6а) или спирали (рис. 35, схема 6б).

При разгрузке / загрузке любого типа контейнера необходимо иметь в виду, что относительно робота, контейнера или всей партии изделий положение точки захвата каждого очередного изделия сугубо индивидуально. Процесс выведения захватного устройства в последовательность точек, соответствующих расположению изделий в контейнере, для краткости будем называть раскладкой. При размещении изделий на линии раскладка производится по одной координате (одним приводом) (рис. 35, схемы 1–3), на плоскости – по двум координатам (рис. 35, схемы 4–5).

Наиболее просто разгружать и загружать контейнер роботом (рис. 35, схема 2в). Для обработки большой партии такой робот должен обладать возможностью позиционирования во множестве точек пространства. Частично их число сокращается согласованием принципа укладки с системой координат робота (рис. 35, схемы 3б, г).

Количество программируемых точек позиционирования по вертикали можно уменьшить за счет остановки в результате упора захватного органа робота в неподвижную стопу изделий (рис. 35, схема 2в). Нагрузки, возникающие при столкновении и упоре захватного устройства в стопу изделий, могут быть недопустимыми с точки зрения прочности робота или обрабатываемых деталей. Их снижение возможно позиционированием робота по специальному дистанционному или контактному датчику положения его рабочего органа относительно изделий.

Иногда разгрузка/загрузка контейнера требует значительного расширения возможностей робота по сравнению с необходимым для обслуживания непосредственно технологического оборудования, т.е. значительного увеличения хода, количества точек позиционирования, ужесточения динамических и статических режимов его работы. В этом случае может оказаться целесообразной частичная или полная разгрузка робота введением дополнительных сервисных устройств, перемещающих контейнер (рис. 35, схема 2г), изделия в нем (рис. 35, схема 2д), извлекающих из контейнера заготовки (рис. 35, схемы 2а; 7в).

Относительно постоянной точки захвата роботом и изделия контейнеры перемещаются шаговыми транспортерами или различного рода тактовыми столами (рис. 35, схемы 2г; 3; 7а–д). В приводах таких тактовых столов обычно используют храповые или мальтийские механизмы, обеспечивающие фиксированный шаг раскладки. При укладке стопой деталей переменной высоты такой привод не годится. В этом случае применяют несколько более сложный механизм, позиционирующий в соответствии с показаниями датчика положения верхней границы стопы (рис. 35, схемы 2г, д).

Раскладывать можно перемещением относительно постоянной точки захвата и контейнера всех изделий (рис. 35, схемы 2а, д) или их части (рис. 35, схема 5г).

Детали простой формы смещаются под действием собственного веса по вертикальным или наклонным лоткам и стержням (рис. 35, схема 2б) до упора вблизи точки захвата. К этим устройствам близки вертикальные или горизонтальные бункера. В шахтных и стержневых магазинах изделия из стопы обычно передаются роботу поштучно шибером. Для предотвращения ударов стопы деталей об упор иногда вводится дополнительный питатель (рис. 35, схема 2б). Он поднимает стопу с упоров, плавно опускается, забирает нижнюю деталь и передает ее роботу. Оставшиеся детали фиксируются на направляющей штанге. При захвате таких изделий сверху в постоянной точке часто группу деталей поднимают относительно контейнера тактовыми столами (рис. 35, схема 2д).

Иногда вместо перемещения контейнера или деталей в нем более целесообразно вводить вспомогательные манипуляторы. Такие манипуляторы с одним захватом забирают деталь из контейнера и передают ее роботу непосредственно (рис. 35, схема 7в) или на дополнительной площадке, а также через дополнительную систему механического или сенсорного опознавания положения детали и ее ориентации.

Ориентация во время обработки и специфика формы изделий определяют схемы их базирования в контейнерах. Наиболее гибкой и универсальной является свободная установка изделий на плоскость (рис. 35, схемы 4а; 6). Таким образом, могут базироваться детали с различной формой и размерами. Единственное ограничение – достаточная устойчивость изделий. Фиксация от сдвига по плоскости может производиться весом или дополнительными невысокими перегородками, штифтами, профильными углублениями или выступами.

Изделия, неустойчиво стоящие на плоскости, могут базироваться в отверстиях диафрагм (рис. 35, схема 4г) или их аналогов в виде сетки, а также в ячейках, образованных относительно высокими ребрами (рис. 35, схема 3а) или вертикальными штангами (рис. 35, схема 4в). В этом случае свободно варьируется только длина изделий.

Особо сложные детали базируются в специальных полостях или выступах, соответствующих специфике их формы. Некоторые изделия, например, требующие сохранения ориентации относительно продольной оси вала, могут устанавливаться в пассивных схватах (рис. 35, схема 2з).

Наиболее проста и универсальна конструкция контейнеров в виде поддонов с укладкой изделий в один (рис. 35, схемы 1а, б; 3а, б; 4) или несколько (рис. 35, схема 5) слоев.

В контейнерах барабанного типа (рис. 35, схемы 7е, жс) изделия размещены на цилиндрической поверхности. Они несколько более громоздки и сложны, и поэтому оправданы только какими-либо компоновочными соображениями, например удобством навешивания изделий, доступа захватного устройства робота и т.п.

При многослойной укладке изделий применяют контейнеры в виде стержневых или шахтных магазинов (рис. 35, схема 2). Здесь наружные или внутренние стержни предохраняют высокие стопы изделий от потери устойчивости. Эти контейнеры не намного сложнее поддонов с индивидуальными ячейками, но имеют большую емкость. Емкость контейнера повышают увеличением числа стоп в контейнере (рис. 35, схемы 5в, з).

Выше рассматривались преимущественно процессы изъятия заготовок из контейнеров. Аналогично производится и укладка деталей после обработки. В условиях ГПС обычно стремятся укладывать изделия в те же контейнеры, из которых были взяты заготовки. Таким образом, объединяется вход ГПМ – разгружаемый контейнер и его выход – загружаемый контейнер. Это легко реализуется при незначительном изменении в процессе обработки размеров и формы базовых поверхностей изделий, а также их раскладке в один слой на поддон или лоток.

В общем случае выбор подающего (загрузочного) и приемного вспомогательных устройств определяется типом обрабатываемых деталей, их количеством, системой координат робота [18].

2.2. Разновидности накопительных устройств

В составе ГПМ (РТК) могут применяться следующие разновидности загрузочных и транспортно-накопительных устройств [22]:

1. Кассеты, стеллажи, ложементы и тому подобные устройства, выполняющие пассивные функции по хранению ориентированных заготовок.

На технологических операциях с поштучной обработкой изделий кассеты можно использовать на входе и выходе оборудования для загрузки и разгрузки деталей. В производстве используется большое число типов кассет, разнообразных по форме и размерам, емкостью 50...2000 деталей. Кассеты очень быстро и легко заменяются, могут использоваться как тара для межоперационного транспортирования без потери ориентации. В литературе [32] представлены конструкции:

- накопителя кассет, в котором из корпуса накопителя кассеты по направляющим поднимаются вверх и затем перемещаются горизонтально в позицию разгрузки; большая вместимость накопителя позволяет длительное время работать в автоматическом режиме;
- межоперационного накопления с накопителями в виде поддонов, собранных в штабеля; работа с системой поддонов для накопления происходит под управлением устройства ЧПУ.

2. Тактовые столы для хранения и поштучной выдачи заготовок в зону захвата ПР.

Тактовый стол предназначен для хранения заготовок и дискретного перемещения заготовки в зону захвата промышленного робота [22]. Он представляет собой вращающийся круглый стол с шаговым приводом (рис. 36а). В зависимости от конфигурации заготовки ее можно устанавливать либо непосредственно на пластину (рис. 36б), либо на специальные приспособления-спутники, которые крепят к пластинам тактового стола. Готовую деталь можно ставить на тактовый стол или в специальную тару. Конструктивные данные разных моделей тактовых столов приведены в табл. 9.

Заданная величина дискретного перемещения осуществляется от шагового привода, для работы в составе ГПМ тактовый стол оснащается УЧПУ.

Функции УЧПУ тактового стола:

- прием и обработка запросов от устройства управления ГПМ (РТК);
- перемещение заготовки на один шаг;
- передача информации о перемещении заготовки на один шаг, о наличии или отсутствии заготовки (детали) на конкретной пластине в устройство управления ГПМ.

Исходными данными для выбора типа тактового стола в качестве загрузочного и приемного устройств являются:

- масса, конфигурация и габаритные размеры заготовки;
- грузоподъемность одной пластины;

- размеры пластины;
- число пластин и величина шага перемещения тактового стола;
- высота стола;
- длина и ширина тактового стола.

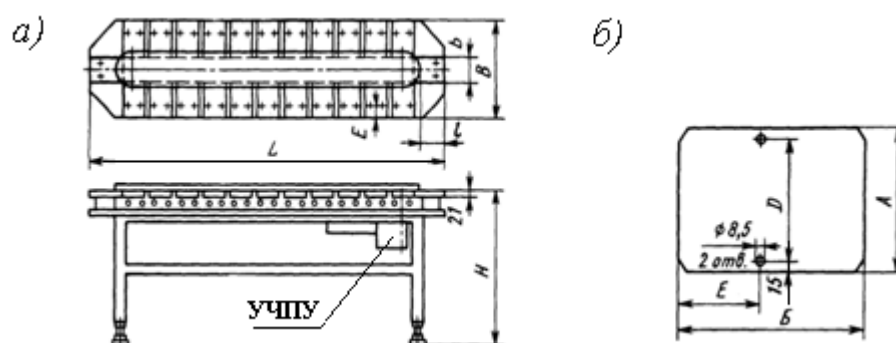


Рис. 36. Конструкция тактового стола (а) и пластины (б)

Таблица 9. Конструктивные данные разных моделей тактовых столов

Модель стола	Габаритные размеры стола, мм			Грузо- подъем- ность одной пласти- ны, кг	Число пласт- тин	Размеры пластин мм			
	L	B	H			A × B	l × b	E	D
СТ 150 СТ 150.01	2250	650	700–850 300–365	10	24	150 × 225	150 × 150	100	120 ± 0,2
СТ 220 СТ 220.01	3260	700	700–850 300–365	10	24	220 × 252	220 × 220	110	190 ± 0,2
СТ 350	3350	950	700–850	20	12	350 × 382	350 × 350	175	320 ± 0,2

3. Конвейеры дискретного действия.

В ГПМ (РТК) применяются конвейеры дискретного действия, которые имеют несколько разновидностей [15; 22]:

- шаговые конвейеры с убирающимися собачками;
- шаговые конвейеры с поворачивающимися захватными устройствами;
- переключивающие планочные конвейеры;
- пилообразные конвейеры;
- гребенчатые конвейеры;
- шаговые конвейеры (накопители с управляемыми собачками).

Шаговые конвейеры [15] наиболее распространены и бывают двух типов: с убирающимися собачками (рис. 37а) или поворачивающимися захватными устройствами (рис. 37б).

У первого типа конвейеров заготовки 3 (спутники) перемещают по направляющим 2, захваты в виде подпружиненных храповых собачек 4, укрепленных на осях в штанге 7, совершают возвратно-поступательное движение с помощью гидравлического цилиндра 5. При движении штанги вперед собачки упираются в заготовки и перемещают их на шаг. При обратном ходе собачки утапливаются в штангу и проходят под заготовкой, не передвигая ее. Основным недостатком конвейера является заострение стружкой храповых собачек.

У второго типа конвейеров (рис. 37б) заготовки 3 перемещают по направляющим 2, захватные устройства в виде флажков 4, укрепленных неподвижно на круглой штанге 1, совершают последовательно возвратно-поступательное и вращательное движения с помощью гидравлических цилиндров 5 и 7 и рычага 6. При движении штанги вперед флажки упираются в заготовки и перемещают их на шаг. Затем штанга поворачивается на угол (при котором флажки не задевают детали) и возвращаются в исходное положение. Далее флажки опускаются, и цикл повторяется. Вероятность засорения стружкой флажков в этом конвейере меньше.

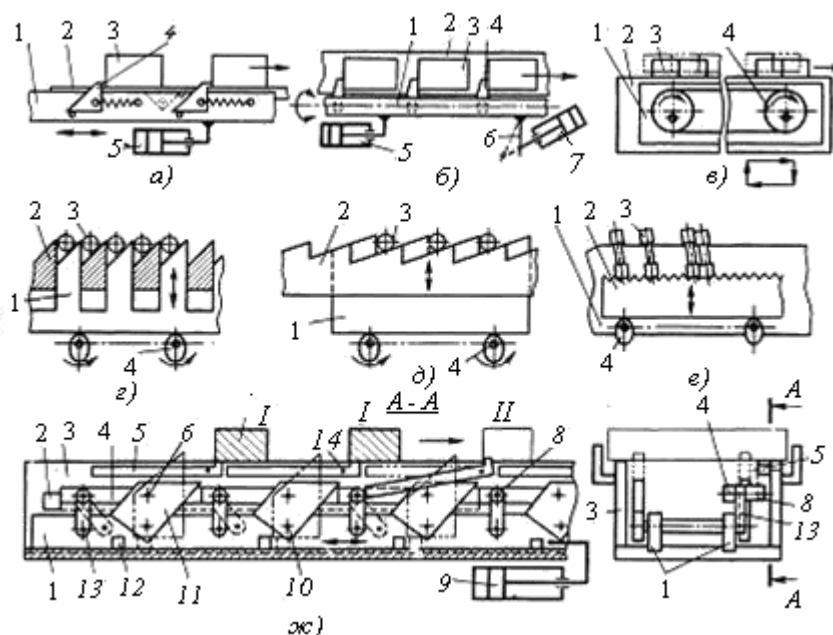


Рис. 37. Конвейеры прерывистого действия

Перекалывающие планочные конвейеры [15] обычно применяют для перемещения заготовок 3, для которых не допускается повреждение обработанной поверхности при скольжении по направляющим 2 (рис. 37в). Заготовки движутся по направляющим последовательным перекалыванием посредством планки 1, совершающей движение от вращающихся эксцентриков 4 по сложному циклу; подъем, движение вперед, опускание, движение назад.

Пилообразные конвейеры [15] применяют для перемещения заготовок типа вал поперек оси. Конвейер одинарного действия (рис. 37г) состоит из двух неподвижных пилообразных реек 2, между которыми размещены две подвижные рейки 1, перемещаемые вверх – вниз от кулачкового (кривошипного) механизма 4. В результате этого движения подвижные рейки перебрасывают заготовки 3 через вершины неподвижных реек. Для увеличения производительности в конвейерах двойного действия (рис. 37д) подвижные рейки 1 смещены относительно неподвижных 2 на полшага. Принцип работы конвейера аналогичен предыдущему. Детали скатываются по наклонной части реек под действием силы тяжести.

Гребенчатые конвейеры [15] предназначены для перемещения заготовок с заплечиками типа шатун (рис. 37е) и имеют две направляющие 1, между которыми размещена гребенка 2, совершающая движение вверх – вниз (с амплитудой 8–10 мм) с помощью приводного механизма 4. В процессе перемещения шатун 3 заплечиками большой головки опирается на гладкие направляющие 1, а нижней частью малой головки – на зубцы гребенки при наклоне шатуна на угол 6–10° от вертикальной плоскости по ходу движения. При подъеме гребенки шатун смещается большой головкой по направляющим в сторону наклона, а при опускании гребенки он смещается малой головкой в ту же сторону; в результате шатуны перемещаются вперед.

Шаговый конвейер-накопитель с управляемыми собачками [15]. Рассмотренные выше шаговые конвейеры (рис. 37а, б) не обеспечивают использование запаса заготовок, поэтому они не могут быть накопителями. Конвейер с управляемыми собачками, помимо перемещения деталей, выполняет функцию их накопления. Он включает две направляющие 3, по которым движутся детали 7 (рис. 37ж) с помощью двойной штанги 1 с собачками 11 (действующими от гидроцилиндра 9), размещаемой между направляющими. На одной из направляющих 3 на осях 14 установлены поворотные рычаги 5 контроля наличия заготовки 7. При отсутствии заготовки короткий конец рычага поднимается, а длинный опускается.

Собачки на штанге закреплены на осях 10. Над одной штангой установлены планки 4, каждая из которых шарнирно, через ось 6 связана с собачкой 11, а также со штангой 1 через звено 13, несущее ролик 8. Такое соединение образует систему параллелограммов, обеспечивающих управление положением собачек. При движении штанги 1 влево крайняя левая планка 4, наталкиваясь на неподвижный упор 2 на направляющей 3, поворачивает все звенья 13 и собачки 11 (по часовой стрелке) в нерабочее положение. При перемещении штанги вправо ролик 8 звена 13 одного из параллелограммов наталкивается на опущенный длинный конец рычага 5 на свободной позиции II. В результате этого при дальнейшем перемещении штанги происходит поворот звена 13 и собачки 11 данного параллелограмма, а также (через планки 4) звеньев и собачек последующих параллелограммов против часовой стрелки. Собачки прини-

мают рабочее положение, опираясь на упоры 12 (рис. 37ж, штриховая линия). Штанга, двигаясь вперед, захватывает на позиции I собачками заготовки 7, расположенные до позиции II, и перемещают их на шаг. Если позиция II окажется занятой, то постепенно весь конвейер заполнится заготовками. При освоении позиции II все заготовки на конвейере передвинутся на шаг.

Для перемещения деталей с окончательно обработанной опорной поверхностью применяют также проходной конвейер-накопитель с управляемыми подъемными собачками, в котором детали транспортируются переключением.

Наибольшее распространение конвейеры прерывистого действия получили в ГПМ (РТК), входящих в состав гибких автоматизированных линий.

4. Загрузочные устройства бункерного и магазинного типов.

Детали в бункер насыпаются навалом без их предварительного ориентирования [6]. С помощью бункерных загрузочных устройств осуществляется автоматическая подача роликов, колпачков, гильз, колец, шайб, втулок, трубок, валиков и т.д., т.е. деталей достаточно простой формы и сравнительно небольших габаритов. Бункерное загрузочное устройство включает следующие функциональные механизмы: бункер, механизм захвата и ориентирования, механизм отвода избыточных деталей, лоток для подачи детали на исходную позицию, отсекающий (устройство для отделения заготовки от общей массы).

Бункер должен вмещать такое количество деталей, которое может обеспечить непрерывную работу РТК в течение необходимого времени [6]. Чаще всего это время принимается кратным ритму выпуска продукции или составляет часть (0,5; 0,25) времени рабочей смены. Объем бункера $V_A = V_{\Sigma} T / t_{\text{об}} K_V$, где V_{Σ} – объем одной заготовки, см³; T – период времени непрерывной работы при одной заправке, мин; $t_{\text{об}}$ – штучное время обработки, мин; K_V – коэффициент объемного заполнения (зависит от формы заготовок и их состояния в бункере, $K_V = 0,5 \div 0,69$).

Формы бункеров весьма разнообразны. Наиболее распространены ковшеобразные и цилиндрические. Дно и стенки бункера расположены под углом к горизонтальной плоскости, благодаря чему отдельные детали под действием собственного веса и возникающих сил трения движутся в направлении к захватным органам. В процессе этого движения детали, увлекаемые силами трения вращающегося диска, пересыпаются и одновременно перемешиваются, занимая в пространстве положение, благоприятное для захвата их захватными органами.

Захватные органы могут выполняться в виде крючков, штырей, стержней, которые применяются для захвата деталей типа гильз, колпачков, колец, шайб, полых роликов.

Бункерные загрузочные устройства проектируются и изготавливаются под конкретную номенклатуру деталей. Кроме того, интенсивное перемешивание заготовок и деталей в бункере приводит к порче их внешних поверхностей. Эти недостатки бункерных загрузочных устройств явились причинами того, что они в ГПМ (РТК) применяются реже, чем магазинные загрузочные устройства.

Автоматический бункер [6] (рис. 38а) состоит из основания 1, чаши 2 с открытым верхом и скошенным дном, наклонного подъемника 3, лотка 7 выдачи деталей 6 и лотка 11 возврата в чашу деталей (типа колец), не успевших скатиться в лоток выдачи. В подъемнике имеются две замкнутые цепи 5, натянутые на верхние и нижние пары звездочек, из которых верхним звездочкам сообщается вращение от электродвигателя с редуктором 12 через цепную передачу 10. Для предотвращения заклинивания деталей 6 в чаше 2 нижняя часть цепей 5, установленных на звездочках 14, изогнута для образования подвижного дна.

Угол наклона подъемника 3 может изменяться за счет поворота его на оси 13 при навинчивании гаек 9 (с правой и левой резьбами) на тяги 8. На цепях 5 укреплены наклонные планки 4 для захвата деталей из чаши и подъема их к лотку выдачи. Наклон планок 4 может быть различным, в зависимости от исполнения бункера.

Автоматический магазин со спиральным лотком для поршней, крупных колец, гильз [6] (рис. 38б) представляет собой каркас, сваренный из четырех швеллеров 13, основания 14 и двух дисков 1, 8. На дисках жестко укреплены вертикальные стяжки 2 с кронштейнами 11, несущими один или несколько наклонных спиральных лотков 7, образующих однозаходную или многозаходную спираль (по числу лотков). На рис. 38б показан однозаходный лотковый магазин. На лотке предусмотрен отсекающий 12 для поштучной выдачи поршней 9 (или других деталей). Аналогичная конструкция магазина применяется для приема, хранения и выдачи клапанов 5. В этом случае спиральный лоток изготовляют из проволоки 6 (диаметром 8–10 мм), прикрепляемой к кронштейну 3 скобами 4 (рис. 38б, исполнение IV). Для скольжения головок клапанов 5 по спиральному проволочному лотку угол наклона равен $15 \div 20^\circ$. С целью увеличения вместимости выпускают магазины для клапанов с вращающимся барабаном, на котором смонтированы несколько спиральных лотков, образующих многозаходную спираль.

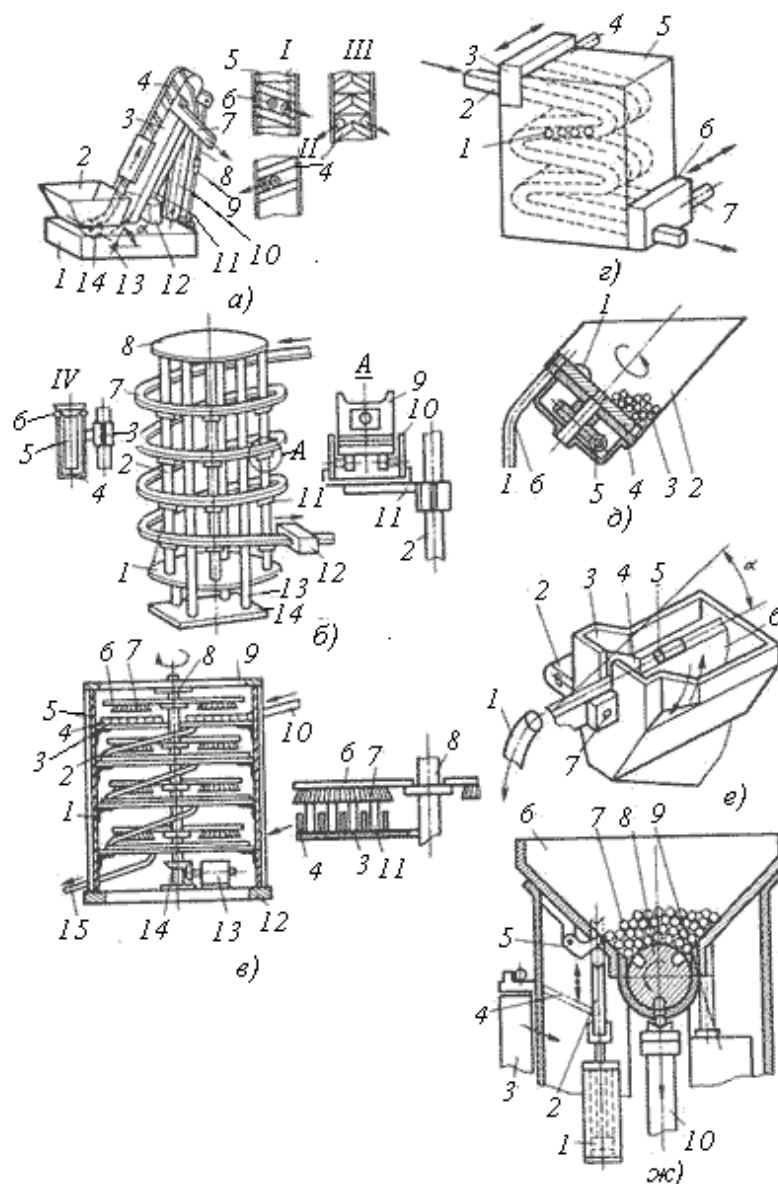


Рис. 38. Накопители деталей

Автоматический многодисковый магазин для колец, фланцев [6] (рис. 38в) состоит из каркаса, сваренного из четырех швеллеров 5, основания 12 и крышки 9. На швеллерах на углах 1 установлены диски 3 с лотками 4, выполненными из полос в виде архимедовой спирали. В центре магазина проходит вал 8, закрепленный в подшипниках крышки 9 и основания 12. На валу над каждым диском установлены четыре щеткодержателя 6, несущие щетки 7 с капроновыми нитями. Валу 8 через коническую пару зубчатых колес 14 сообщается вращение от электродвигателя с редуктором 13, смонтированным на основании. Детали 11 поступают в магазин через наклонный лоток 10, соединенный с лотком 4 верхнего диска. Выходят детали по лотку 15 из лотка нижнего диска. Все лотки дисков соединены между собой соединительными лотками 2 таким образом, что обеспечивается связь конца спирали верхнего лотка (через отверстие у центра) с началом спирали нижележащего диска (у периферии). Детали 11 в канале лотка верхнего диска перемещаются от периферии к центру под действием вращающихся щеток. Дойдя до отверстия в диске, детали проваливаются в соединительный лоток и по нему поступают к началу спирального лотка второго диска, где движение деталей повторяется.

Автоматический лотковый магазин для колец, фланцев [6] представляет собой сварной каркас 5 с установленными в несколько рядов наклонными лотками 2 зигзагообразной формы (рис. 38г). Перемещение деталей 1 по лоткам производится под действием силы тяжести. Подача деталей в магазин происходит с помощью механизма распределения 3 деталей по лоткам, а выдача – с помощью механизма соединения 6 деталей в один поток, действующих от пневматических цилиндров 4 и 7.

Автоматический бункер с дисковым захватным устройством для шариков, пальцев, шайб [6] (рис. 38д) состоит из чаши 2 с открытым верхом, на дне которой на оси размещен диск 4 с карманами по

его периферии для захвата детали 3. Диск приводится в движение от электродвигателя через червячную передачу 5. В диске укреплен ворошитель 1 для перемешивания деталей. На дне чаши 2 предусмотрено отверстие для прохода детали из кармана диска 4 в трубу выдачи 6.

Автоматический бункер с ножевым захватным устройством для роликов [6] (рис. 38е) имеет чашу 3 с открытым верхом и боковыми наклонными стенками, между которыми располагается плоский нож 6 с призматическим углублением на верхней рабочей части. Нож закреплен на оси 7 и может совершать относительно чаши 3 качательное движение от привода 2. Против переднего края ножа расположена трубка 1 выдачи деталей 5. При подъеме ножа в верхнее положение некоторые ролики оказываются в призматическом углублении вдоль ножа и по нему соскальзывают к отверстию сбрасывателя 4 и, пройдя его, поступают в трубку 1. При неправильном положении на ноже ролик 5 сбрасывателем 4 отбрасывается в чашу. Угол α наклона рабочей части ножа в верхнем положении составляет $30 \div 35^\circ$.

Автоматический магазин с барабанным захватным устройством для валиков [6] (рис. 38ж) представляет чашу 8 со скошенными к центру стенками, между которыми размещен барабан 7 с тремя продольными прорезями, выполненными по окружности валика 7. В левой скошенной стенке чаши предусмотрено отверстие для прохода валика 7 при загрузке его с помощью шибер 2, действующего от гидравлического цилиндра 1. Напротив отверстия находится защелка 5, предотвращающая выпадение деталей из чаши в то время, когда шибер находится в нижнем положении. Барабану 8 сообщается при необходимости (при загрузке деталей) вращение от привода 9. Загрузка магазина валиками может осуществляться или сверху, в чашу, или с подводящего конвейера 3 через наклонный лоток 4 или шибер 2. Выдача валиков из магазина на отводящий конвейер 10 происходит при повороте барабана 8.

Вибрационный бункер для мелких деталей (шайб, колпачков и др.) [7] (рис. 39) состоит из чаши 8, подвешенной с помощью верхних 2 и нижних 14 башмаков на трех наклонных стержнях 1 к плите 12. Между стержнями на плите смонтирован вибратор 4, состоящий из катушки электромагнита 11 с сердечником 10 и якорем 9, связанный через алюминиевую прокладку 3 с дном чаши. Внутри чаши имеется спиральный лоток 7 (в виде полки), а наверху – приемник 5 выдачи деталей. Бункер на трех пружинах 15 установлен на основании 13, которое опирается на три резиновые амортизатора 16. При включении бункера чаша под воздействием вибратора совершает вибрационное (круговое) движение, в результате чего засыпанные в чашу детали 6 начинают перемещаться по спиральному лотку 7 вверх к приемнику выдачи.

По принципу выполнения функций ориентации все существующие методы делятся на пассивные и активные. Пассивные методы ориентации заключаются в том, что при неправильном расположении заготовки или детали она удаляется из общего потока (например, обратно в бункер). На позицию захвата поступают только правильно ориентированные заготовки и детали. При активном методе ориентация осуществляется принудительным приведением последовательно всех заготовок и деталей в требуемое положение.

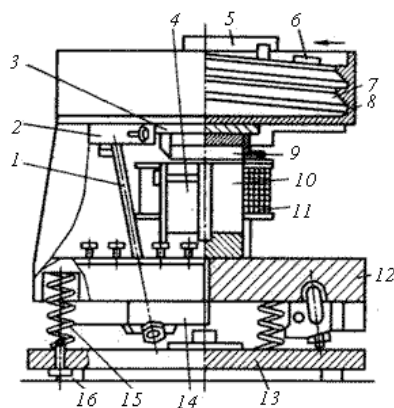


Рис. 39. Вибрационный бункер

Накопительные устройства, входящие в состав ГПМ (РТК), не имеют, как правило, между собой информационных связей и получают команды от систем управления основным технологическим оборудованием и ПР [22]. В ГПМ (РТК) с адаптивными ПР обеспечивается возможность захватывания заготовок, находящихся в накопительных устройствах в неориентированном виде.

Глава 3. Промышленные роботы в ГПМ и РТК

Робот является универсальной машиной для автоматизированного производства, которая способна быстро переналаживаться с одних операций на другие и адаптироваться к изменяющимся условиям путем взаимодействия с оборудованием и другими объектами производственного участка [18]. ГОСТ 25686–85 дает следующее определение:

Промышленный робот (далее ПР) – это автоматическая машина, стационарного или передвижного исполнения, состоящая из исполнительного устройства в виде манипулятора, имеющего несколько степеней подвижности и перепрограммируемого устройства для выполнения в производственном процессе двигательных и управляющих функций.

Перепрограммируемость – это свойство промышленного робота заменять управляющую программу автоматически или с помощью человека, т.е. изменять степень перемещения по всем степеням свободы и управляющей функции с помощью средств управления [55].

Манипулятор – механическая рука, выполняющая ориентирующие и транспортные движения [18] (рис. 40). Имеет кинематический шарнирный открытый механизм. Рабочим органом является захватное устройство.

ПР является наиболее универсальной машиной, в отличие от ЭВМ, которая не обладает физическими способностями, а также от устройств типа подъемный кран, у которых нет интеллекта. ПР ближе всех других машин к человеку. Созданный для замены человека промышленный робот часто сравнивается с человеком. Такое сравнение допустимо, прежде всего, для конструкций, манипулятор которых (рис. 40) сравним по кинематике с рукой человека (робот «Пума») [55].

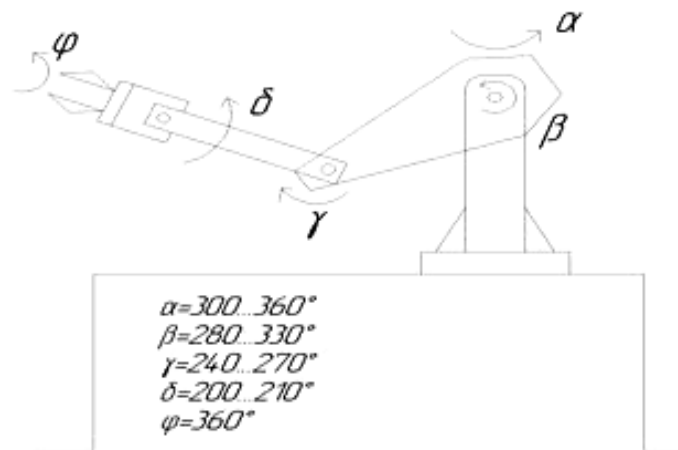


Рис. 40. Промышленный робот типа «Пума»

Степень подвижности ПР определяется степенью подвижности его кинематических пар [49]. Кинематическая пара – это подвижное соединение двух звеньев. Звено – это одна деталь или совокупность нескольких неподвижно соединённых между собой, совершающих вполне определённые по отношению к другим звеньям движения.

Основные типы кинематических пар и их условные обозначения представлены в табл. 10 [49].

Таблица 10. Основные типы кинематических пар и их условные обозначения

Элемент	Эскиз	Характеристика
1. Звено (стержень)		
2. Неподвижное закрепление звена (закрепленная стойка)		движение отсутствует
3. Жесткое соединение звеньев		движение отсутствует
4. Подвижное соединение с перемещением вдоль прямолинейных направляющих		возвратно-поступательное движение (поступательная пара V класса)
5. Винтовое подвижное соединение		возвратно-поступательное движение и взаимосвязанное вращательное движение (поступательно-вращательная пара V класса)

Элемент	Эскиз	Характеристика
6. Цилиндрическое соединение звеньев		возвратно-поступательное движение и независимое вращение вокруг продольной оси (цилиндрическая пара IV класса)
7. Плоское шарнирное соединение звеньев		вращение вокруг поперечной оси (вращательная пара V класса)
8. Шаровой шарнир с пальцем		вращение вокруг двух осей (вращательная пара IV класса)
9. Шаровой шарнир		вращение вокруг трех осей (вращательная пара III класса)
10. Захватное устройство		зажимные элементы подвижны
		зажимные элементы неподвижны

В большинстве конструкций ПР применяются кинематические пары пятого класса, обеспечивающие одну степень свободы в относительном движении каждого из двух подвижно соединённых звеньев.

Число степеней подвижности W определяют по формуле Сомова–Малышева:

$$W = 6n - 5p_5 - 4p_4 - 3p_3 - 2p_2 - p_1,$$

где n – число подвижных звеньев кинематической цепи; p_1, p_2, p_3, p_4, p_5 – число кинематических пар 1, 2, 3, 4, 5-х классов.

Для кинематической цепи, образованной только парами пятого класса: $W = 6n - 5p_5$.

Для плоских механизмов: $W_{ге} = 3n - 2p_5 - p_4$.

Число « n » подвижных звеньев в открытых кинематических цепях всегда равно числу пар: $n = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$.

Таким образом, для ПР и манипуляторов формула Сомова–Малышева [12]:

$$W = p_5 + 2p_4 + 3p_3 + 4p_2 + 5p_1.$$

Движения робота подразделяют на:

- *глобальные* – перемещения захватного устройства (ЗУ) на расстояния, превышающие размеры самого робота;
- *региональные* – перемещения ЗУ в различные зоны рабочего пространства, определяемого размерами звеньев руки;
- *локальные* – перемещения ЗУ, соизмеримые с его размерами.

Для осуществления ЗУ объёмного движения необходимо выполнение следующих условий:

- наличие двух вращательных пар, оси которых не параллельны;
- наличие двух вращательных пар с параллельными осями и поступательной пары, ось которой перпендикулярна осям вращательных пар;
- наличие двух поступательных пар с непараллельными осями и вращательной, ось которой не перпендикулярна к плоскости осей поступательных пар, или поступательной пары, ось которой не перпендикулярна той же плоскости.

3.1. Структура и функции промышленных роботов

В исполнительное устройство ПР входит манипулятор, который состоит из кинематических звеньев, имеющих несколько степеней подвижности своих сочленений, каждая имеет свое приводное пневмо-, гидро-, электроустройство [18].

Движения манипулятора делятся на манипуляционные и ориентирующие и определяют рабочую зону ПР. Манипуляционные движения манипулятора делятся на линейные движения по осям XX и ZZ и угловые φ_{xy} и φ_{xz} (рис. 41). Манипуляционные движения определяются размерами звеньев руки манипулятора, зависят от их приводов, служат для перемещения захватного устройства в различные точки про-

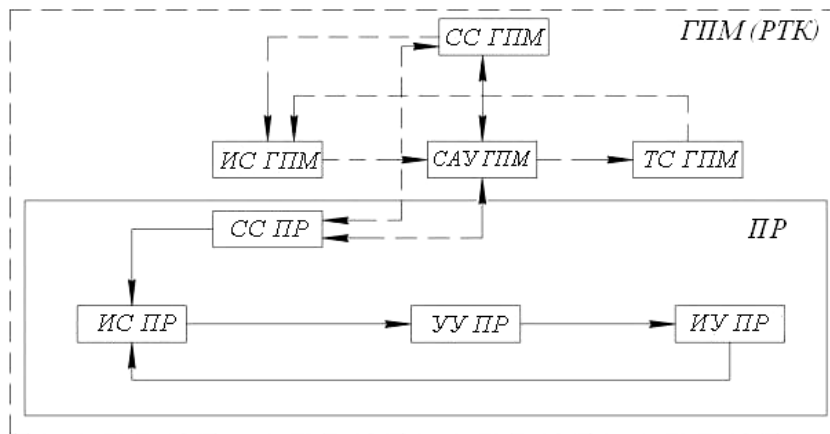


Рис. 42. Структура и функции ПР в составе ГПМ (РТК): САУ ГПМ – система автоматизированного управления ГПМ; ТС ГПМ – автоматизируемая технологическая система

Устройство управления роботом (УУ ПР) служит для выработки законов управления приводами, вырабатывает управляющие воздействия на приводы движущейся системы на основе сигналов обратной связи от информационной системы. Основная функция УУ ПР – это программирование движений, принятие целенаправленных решений (действий). УУ ПР обычно реализуется на базе микроЭВМ или программируемого логического контроллера (ПЛК), имеет входные (аналого-цифровые) и выходные преобразователи, много каналов прямой и обратной связи. Адаптационные и интеллектуальные возможности определяются теми программами, которые заложены в память УУ ПР.

Управляющие сигналы поступают от УУ ПР на исполнительные приводы (устройства) робота (ИУ ПР). Двигательная система робота должна учитывать динамические свойства манипулятора, способность совершать те движения, которые необходимы для технологического процесса. Появляется возможность роботизации широкого класса технологических операций при механообработке.

Рассмотрим обобщенную структурную схему ПР (рис. 43), на которой показаны следующие структурные блоки [18]:

- блок 1 – внешняя среда, где действуют рабочие органы, роботы вместе с объектами манипулирования (заготовки, полуфабрикаты, детали);
- блок 2 – рабочие органы, обеспечивающие захват и перемещение объекта манипулирования;
- блок 3 – система приводов для движения рабочих органов робота (количество степеней подвижности);
- блок 4 – устройство управления, исполняющее команды СУ.

Блоки 2, 3, 4 входят в состав ПР (исполнительный механизм, движущаяся система).

Основные структурные блоки, которые входят в состав системы автоматического управления роботом:

- I – роботы с программным устройством управления (блок 5). Выполняет последовательность жестко запрограммированных движений. Среда действия должна быть определенным образом организована. Объект манипулирования должен быть в заданном положении, определяемом задающими уставками (блок 9). Программное устройство должно легко перестраиваться на другой комплекс движений, строго организованный. Они могут переносить груз от 10 г до тонны. В запоминающем устройстве может включаться около 1000 движений.
- II – сенсорные роботы. Снабжаются различными датчиками. Эти датчики информируют о состоянии манипулятора и объекте манипулирования, об основных параметрах среды, в которой работает рабочий орган (блок 6). Обеспечивает обратные связи для управления действиями робота. Они могут быть вне манипулятора. Сигналы датчиков преобразуются с помощью блока 7 и обрабатываются ЭВМ (блок 10) или более простыми логическими устройствами (блок 5). Блоки 5 и 10 формируют сигналы управления, которые подаются на исполнительное устройство (блок 4). В результате робот совершает движения манипулятором с учетом обстановки. Роботы II поколения могут изменять программу действий. Это осуществляется путем переключения из одной подпрограммы в другую, которые входят в набор общей программы. По сравнению с I поколением они обладают повышенной маневренностью. Могут хранить в памяти большое число сложных программ. Могут использоваться для управления оборудованием, заменить операторов средней квалификации. Имеют упрощенную систему переналадки, почти до смены подпрограммы.

- III – роботы с искусственным интеллектом. Состав блоков может быть таким же, как у роботов II поколения. Отличие состоит в более развитом программном, математическом обеспечении. Очень сильно развита система датчиков и высокая степень «очувствления». Могут воспринимать и распознавать обстановку. Система управления роботом способна вырабатывать решение, проводить контроль операции, автоматическое планирование. Роботы работают от ЭВМ. В состав системы управления могут входить несколько ЭВМ, сопрягающихся по иерархическому принципу. Способны изменять свои действия в операторском плане. Могут одновременно управлять многими видами оборудования и следить за состоянием этого оборудования.

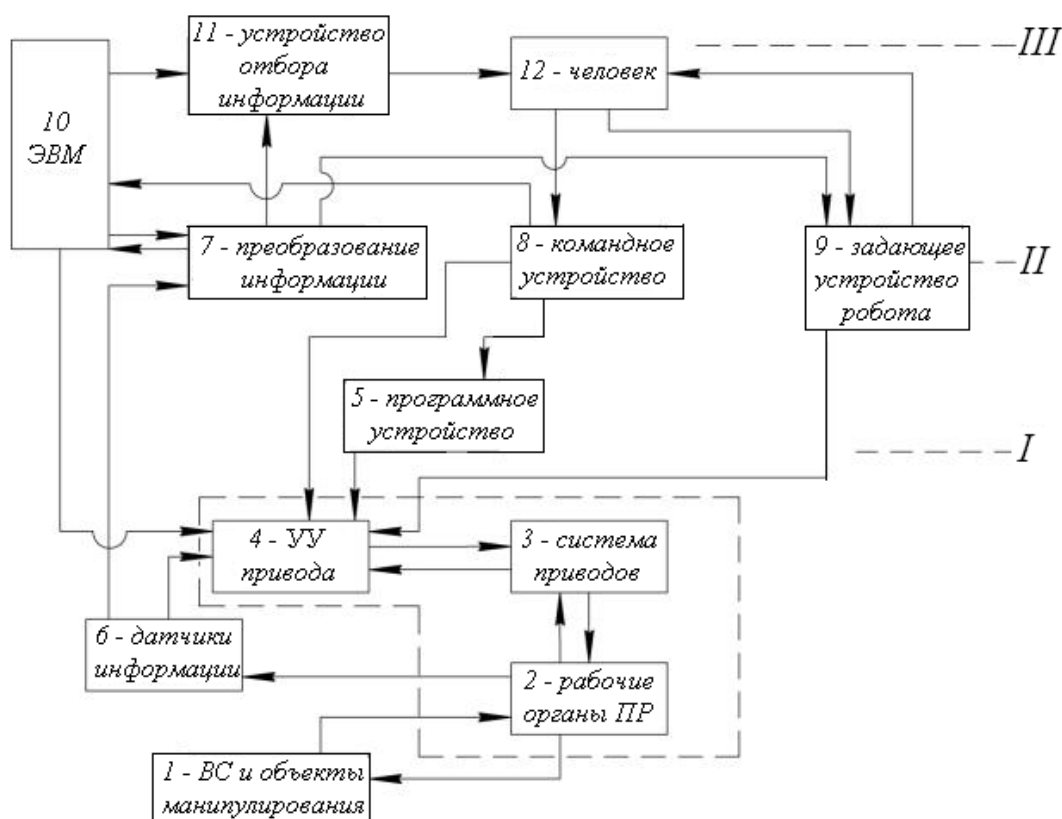


Рис. 43. Обобщенная структурная схема промышленного робота

Сенсорная система служит для оценки и измерения параметров окружающей среды, а также для оценки взаимного положения рабочих звеньев манипулятора. Схема сенсорной системы показана на рис. 44. Она состоит главным образом из двух основных частей [18]:

- датчиков, осуществляющих сбор информации об измеряемых параметрах;
- вычислительного комплекса, обрабатывающего собранную датчиками информацию и оценивающего на основании этого ситуацию.

Существуют два вида датчиков – внутренней и внешней информации. Первые из них предназначены для контроля функционирования ПР, вторые – для контроля состояния параметров внешней среды и объектов, с которыми работает робот.

Датчики внутренней информации – это устройства, определяющие линейные положения, углы поворота всех звеньев манипулятора, в том числе и рабочего органа, опорных механизмов и других узлов. В качестве таких датчиков применяются потенциометры, сельсины, резольверы, бесконтактные переключатели, герконы, фотореле, вращающие трансформаторы и др.

Датчики внешней информации обеспечивают контроль наличия заготовки в месте схвата подающего устройства, в 3-кулачковом патроне токарного станка, контроль перегрузки приемного устройства, правильность положения манипулятора относительно станка и др.

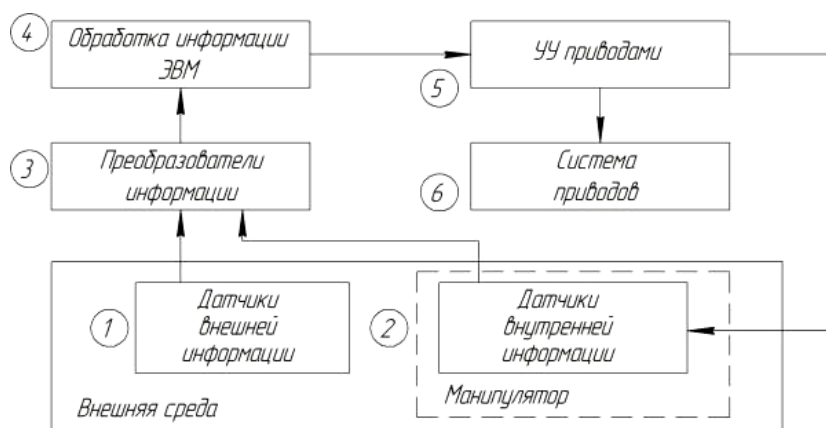


Рис. 44. Схема сенсорной системы промышленного робота

3.2. Системы координат промышленных роботов

Система координат ПР определяет кинематику основных движений и форму рабочей зоны, в которой может находиться рабочий орган робота при его функционировании.

Системы координат должны соответствовать правилу правой руки [10] (рис. 45а). Буквами A , B и C обозначены вращательные движения вокруг осей, параллельных соответственно осям координат X , Y и Z . Положительные направления A , B и C должны совпадать с направлением вращения винтов с правой резьбой при их завинчивании в положительных направлениях осей X , Y и Z соответственно (рис. 45б).

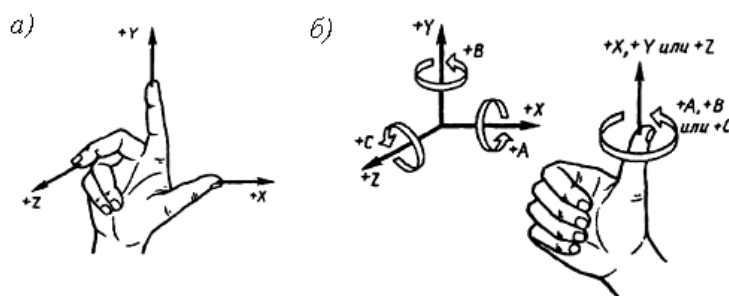


Рис. 45. Правила формирования систем координат: а – правая система координат, б – обозначения вращательных движений

По виду систем координат ПР подразделяют на работающие в прямоугольной, цилиндрической, сферической, угловой и комбинированной системах координат.

Системы координат делят на прямоугольные и криволинейные [10; 49].

В прямоугольной плоской (рис. 46а) или пространственной (рис. 46б) системах координат объект манипулирования помещается в точку пространства P путем прямолинейных перемещений по взаимно перпендикулярным осям (рис. 47). Рабочее пространство имеет форму прямоугольника или параллелепипеда (рис. 46а, б соответственно). Число степеней подвижности робота m определяется из выражения [18] $m = n - 3$, где n – число степеней свободы (для $n = 6$ (рис. 47) $m = 3$).

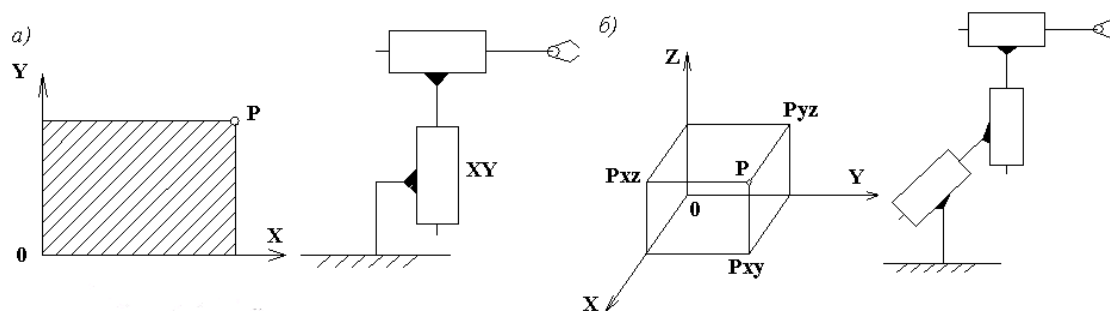
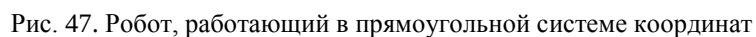


Рис. 46. Прямоугольная система координат: а) плоская; б) пространственная



1. *Плоские полярные координаты* (рис. 48).

Рис. 48. Плоская полярная система координат

Объект манипулирования перемещается в основной координатной плоскости в направлениях R и φ , а также по нормали Z (рис. 49а, б). Рабочее пространство – цилиндр или, в общем случае, цилиндрический сегмент.

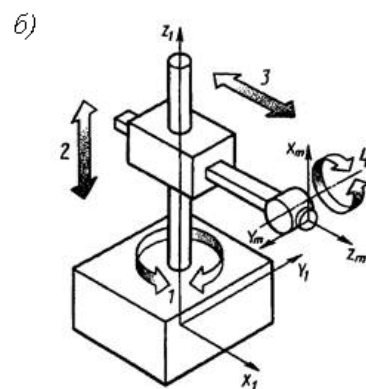


Рис. 49. Цилиндрическая полярная система координат:
а) условное обозначение; б) робот, работающий в цилиндрической системе координат

3. Сферические полярные координаты.

Перемещение объекта осуществляется за счет линейного движения руки на величину R и ее угловых перемещений Θ и φ в двух взаимно перпендикулярных плоскостях (рис. 50). Рабочее пространство – сферический сегмент, число степеней подвижности робота m определяется из выражения [18] $m = n$.

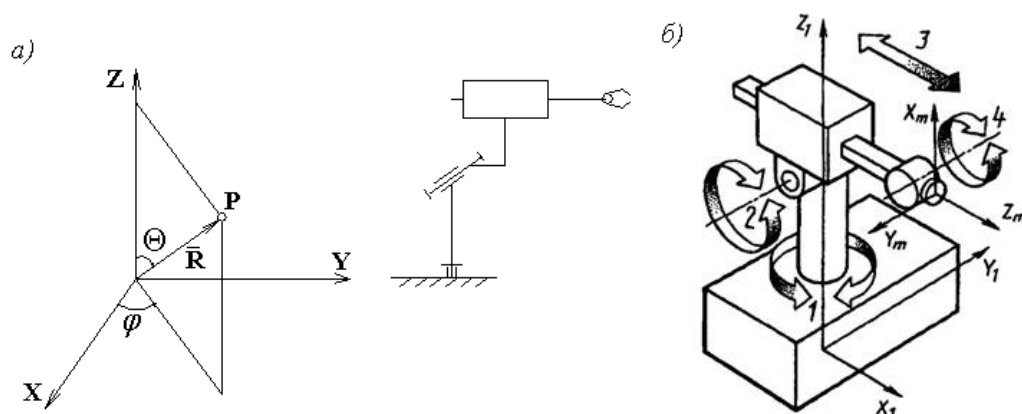


Рис. 50. Сферическая полярная система координат:

а) условное обозначение; б) робот, работающий в сферической системе координат

4. Ангулярная (угловая) плоская система координат

Объект управления перемещается (рис. 51) благодаря относительным поворотам φ_i , φ_{21} , φ_{32} звеньев руки, имеющих постоянную длину r_1 , r_2 , r_3 . Рабочее пространство – круг (кольцо).

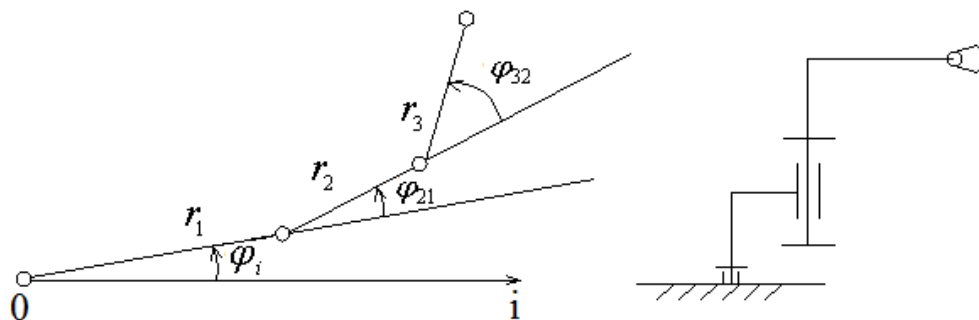


Рис. 51. Ангулярная (угловая) плоская система координат

5. Ангулярная цилиндрическая система координат

Характеризуется дополнительным смещением относительно основной координатной плоскости XU (рис. 52) в направлении перпендикулярной к ней координаты (оси) Z . Рабочее пространство – цилиндрическое, число степеней подвижности робота m определяется из выражения [18] $m = n$.

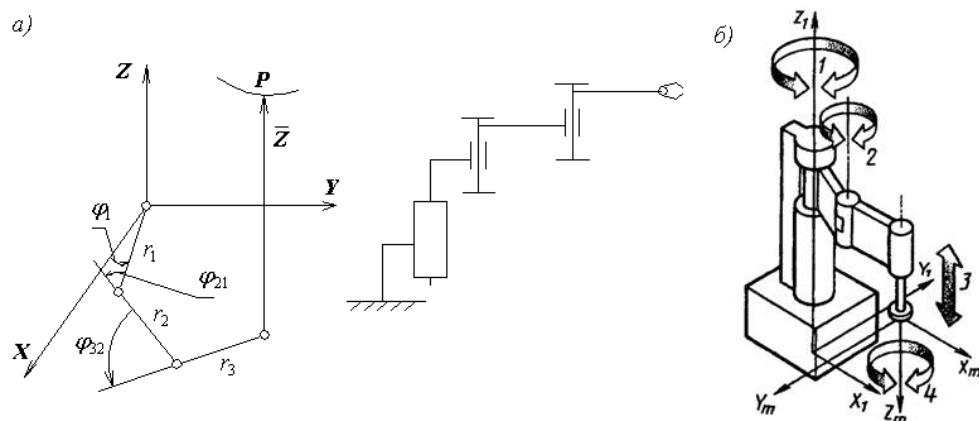


Рис. 52. Ангулярная цилиндрическая система координат:

а) условное обозначение; б) робот, работающий в ангулярной цилиндрической системе координат

6. Ангулярная сферическая система координат.

Перемещение объекта манипулирования в пространстве происходит только за счет относительных угловых поворотов звеньев руки, при этом хотя бы одно звено (например, r_1 на рис. 53) имеет возможность поворота на углы φ_1 и Θ_1 в двух взаимно перпендикулярных плоскостях. Рабочее пространство – шар (сферический сегмент).

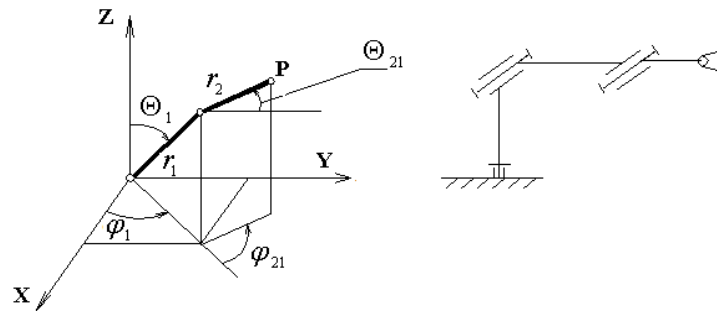


Рис. 53. Ангулярная сферическая система координат

3.3. Захватные устройства промышленных роботов

Роботы применяются на самых разнообразных операциях и работают с деталями, резко отличающимися по прочности, массе, габаритам, конфигурации, расположению центра масс, шероховатости поверхности [18]. Поэтому обычно для каждой модели робота создается большое число всевозможных схватов, которые при необходимости легко и быстро заменяются и монтируются на кисти. В некоторых конструкциях роботов схваты могут меняться автоматически в соответствии с записанной программой. Во многих случаях схваты должны приспосабливаться к изменению размеров детали после обработки. В схватах нередко вводятся гибкие элементы, что делает их самоустанавливающимися.

Применительно к задачам захвата и удерживания объекта схватом важное значение имеют особенности формы поверхностей, по которым происходит захватывание, наличие точек, осей и плоскостей симметрии, распределение инерционных характеристик по осям объекта (оно различно для плоских, удлиненных и объемных объектов).

Набор количественных показателей для различных объектов формируется из числа следующих [52]:

- 1) габаритные размеры;
- 2) положение и ориентация характерных линий, осей и поверхностей;
- 3) диапазоны изменения погрешностей формы и положения поверхностей;
- 4) диапазоны изменения погрешностей установки;
- 5) масса и другие инерционные характеристики;
- 6) допустимые значения контактных усилий.

Схваты можно подразделить на следующие виды [18]:

- механические с жесткими или пружинящими губками;
- с вакуумными присосами;
- с электромагнитами;
- с сенсорными датчиками;
- прочие схваты, в том числе схваты, несущие инструмент.

В качестве приводов механических схватов используются гидро- и пневмо-цилиндры, штоки которых через систему рычагов или других механизмов приводят схваты в действие. На рис. 54а представлен схват с рычажно-кулисным приводом и сменными губками 2, 3 к нему. Для деталей, имеющих параллельные плоскости, применяются самоустанавливающиеся губки схвата 3. Если диаметр детали меняется после обработки, то используются губки 2 для деталей разных диаметров.

В некоторых случаях на кисти рационально иметь два или четыре схвата. Схема кисти с двумя схватами приведена на рис. 54б. Один схват, например, может снять крышку с контейнера, второй – вынуть из контейнера деталь. Этот же принцип применяется при обслуживании станка: один схват вынимает деталь из патрона и отводит ее в сторону при развороте кисти, второй – устанавливает в патрон станка заготовку.

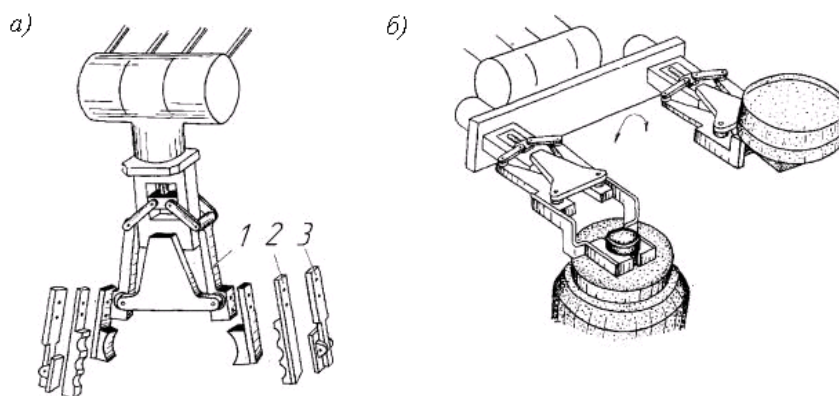


Рис. 54 Типы механических схватов:

а) схват с рычажно-кулисным приводом; 1 – рычаг; 2, 3 – губки; б) кисть с двумя схватами

Вакуумные схваты применяются преимущественно при работе с листовыми деталями. Эти схваты отличаются простотой конструкции и небольшой массой. Наиболее распространенная конструкция вакуумного схвата показана на рис. 55а. Одним из основных элементов этих схватов является чашка-присоска 5, которая делается обычно из резины или пластмассы. Присоски используются также для захвата стеклянных деталей со сложной наружной поверхностью или для захвата нескольких разных по форме, но близких по размеру деталей. Иногда присоски делают в виде пластин с большим количеством отверстий, каждое из которых предназначено для захвата одной детали.

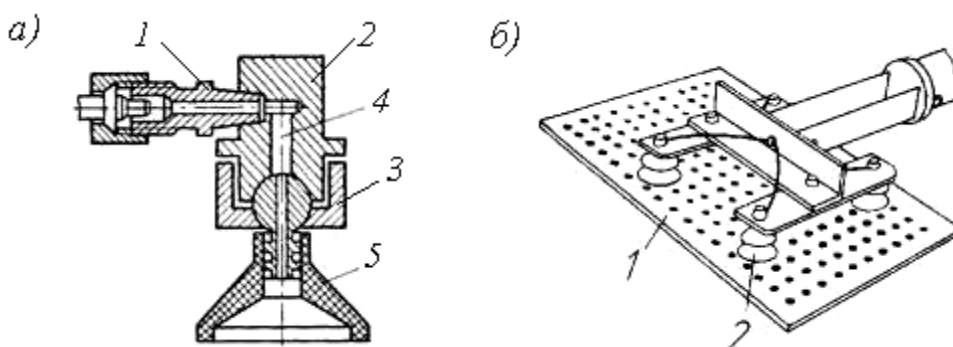


Рис. 55. Вакуумный и электромагнитный схваты:

а) вакуумный схват; 1 – штуцер; 2 – корпус; 3 – гайка; 4 – шарнир со штуцером; 5 – присоска; б) электромагнитный схват; 1 – деталь; 2 – магнит

Откачивание воздуха из-под присоски производится вакуумным насосом через шланг, протянутый вдоль руки робота, или с помощью эжектора, работающего от цеховой сети сжатого воздуха. Для запуска и выключения вакуумного насоса в магистраль насоса встраивается датчик, который при образовании заданной степени вакуума подает сигнал в систему управления роботом.

У схватов, работающих с помощью электромагнитов, область применения аналогична с вакуумными схватами. Преимуществом электромагнитных схватов является большая сила притяжения на единицу площади, быстрота срабатывания и простота конструкции (рис. 55б). К их недостаткам следует отнести возможность использования схватов только для работы с деталями из магнитных материалов и наличие остаточного магнетизма на перемещаемых деталях. Менее удобны схваты с постоянным магнитом, т.к. в этом случае снятие детали должно производиться с помощью приспособления.

В обычных конструкциях смена захватного устройства с его базированием и закреплением производится вручную и является трудоемкой [22]. Развинчивание и свинчивание при приложении больших усилий приводит к снижению надежности соединений.

Сменные захватные устройства по способу замены подразделяют на заменяемые вручную и заменяемые автоматически.

Быстросменные ЗУ применяют в мелкосерийном производстве при обработке изделий небольшими партиями. К быстросменным относятся ЗУ с цилиндрическими хвостовиками, диаметры которых следует выбирать из ряда 6,0; 10,0; 12,5; (14,0); 20,0; 25,0; 30,0; 40,0; 50,0; 60,0; 80,0; 100,0; 125,0; 160,0. К настоящему времени разработано немало конструкций быстросменных ЗУ, узлы крепления которых

позволяют соединять ЗУ с рукой ПР простейшими движениями и часто без применения специального инструмента.

В некоторых случаях необходимо, чтобы робот наряду с выполнением основных функций выдавал разного рода информацию. Например, об исправности работы оборудования в момент установки и обработки детали, а также о соблюдении заданных параметров в процессе обработки и т.д. Роль контрольных органов могут исполнять специальные датчики, выдающие сигналы о всевозможных отклонениях от заданного режима или об изменении условий обработки или внешней среды. В ряде случаев, когда требуется информация о взятии и установке детали, об усилии сжатия, температуре, скорости перемещения детали или о положении схвата относительно детали и так далее, используются сенсорные датчики, которые устанавливаются непосредственно на схватах.

3.4. Управление промышленными роботами в ГПМ (РТК)

3.4.1. Взаимодействие основных частей манипулятора и управляющего устройства

В состав манипулятора входят приводы. Все остальное оборудование робота, которое предназначено для формирования и выдачи управляющих воздействий мы объединяем в устройство управления УУ (рис. 56) [18]. Таким образом, УУ получает сигналы от датчиков и выдает сигналы на приводы манипулятора.

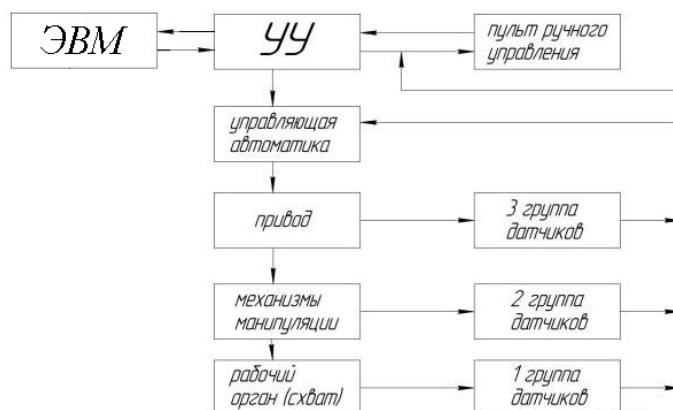


Рис. 56. Взаимодействие основных частей манипулятора и управляющего устройства

Рабочий орган (схват) перемещается приводами манипулятора. Непосредственное управление приводами осуществляет управляющая автоматика (см. рис. 56).

Датчики 1-й группы располагаются в рабочем органе, либо могут быть вне робота. Это датчики, которые определяют наличие предмета манипулирования. Они выдают сигнал, когда заготовка в схвате, о положении ее относительно схвата, о состоянии схвата (включен–выключен).

Датчики 3-й группы находятся на элементах приводов. Это датчики положения этих элементов, угла или скорости. Обеспечивают нормальную работу приводов – практически безинерционное плавное движение.

Датчики 2-й группы контролируют положение звеньев манипулятора в пространстве. Могут быть самостоятельными или вместе с группой 3.

Управляющее устройство вырабатывает сигналы на блок управляющей автоматики. Этот блок усиливает сигнал и преобразует в ту форму, которая необходима для движения привода, а он приводит в движение определенное звено механизма манипулятора, а затем и сам рабочий орган. В простых системах программного управления датчики всех групп могут отсутствовать. В этом случае положение звеньев манипулятора не измеряется, а задается по упорам. Датчики могут отсутствовать в системах с шаговым приводом. Со следящим приводом система имеет датчики с обратной связью.

Первая группа датчиков относится к датчикам очувствления. Обычно они устанавливаются на программные роботы, чтобы повысить их точность и надежность. С пульта ручного управления осуществляют ввод программы и настройку. Туда же поступают сигналы о выполнении различных движений робота, о нарушениях и отказах. На УУ робота могут поступать сигналы от датчиков, которые являются внешними по отношению к роботу. УУ робота, как правило, связано по локальной сети с ЭВМ, которая может выполнять следующие функции:

- разработка программы управления роботом;
- загрузка программы управления роботом в УУ;

- координация работы нескольких единиц оборудования.

ЭВМ находится на более высоком иерархическом уровне, на следующем уровне управления. Многоуровневая система управления характерна для ГПС.

Движения робота задаются управляющей программой (УП), которая вводится в устройство управления либо через пульт, либо от ЭВМ. Команды УП чаще всего выполняются в одной последовательности, что определяет жесткую программу. Если предусматривается изменение последовательности выполнения команд в зависимости от поступившего сигнала, то программа обладает гибкостью. Для робота важным требованием является перепрограммируемость системы управления. Робот должен иметь средства ввода или набора программ. При работе робот действует в соответствии с управляющей программой.

3.4.2. Цикловое программное управление

Цикловое программное управление самое простое. Программируется только последовательность команд и определяется только вид движений, а крайние их положения задают на звеньях манипулятора [18].

При цикловом программном управлении последовательность команд создается по этапам. После выполнения одной команды сразу выполняется следующая команда [18].

Однако можно управлять и по времени. При управлении позиционированием подвижных частей манипулятора по времени для расчета и оценки продолжительности работы ГПМ необходима цикловая диаграмма. Циклограммы можно изображать разными способами. На рис. 57 приведена циклограмма, которая показывает взаимодействие отдельных компонентов робота и их работу во времени для ГПМ штамповки деталей.

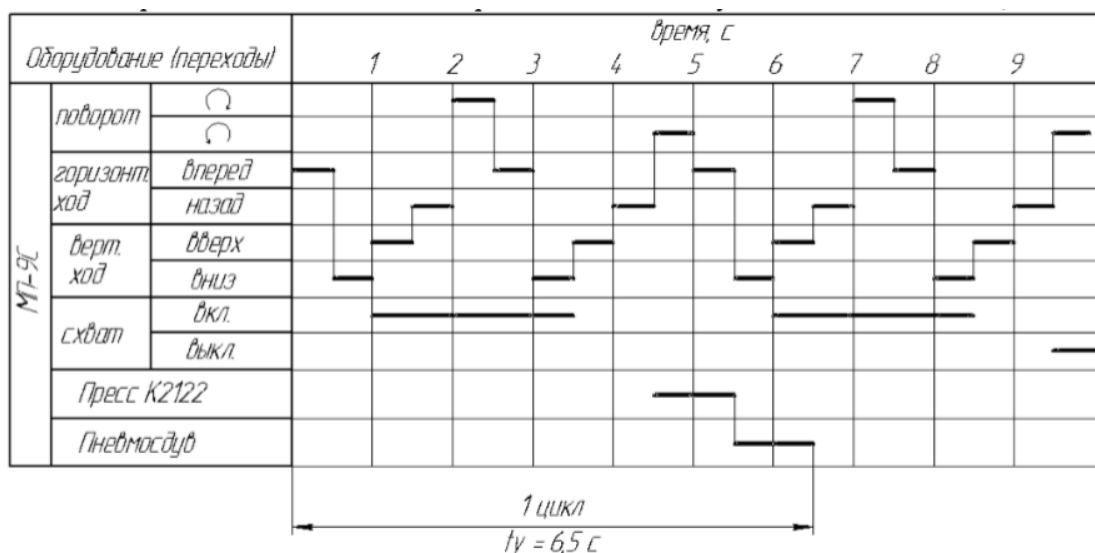


Рис. 57. Цикловая диаграмма работы ГПМ штамповки деталей

Большинство современных устройств циклической программы управления поставлены на программные логические контроллеры ПЛК. Преимущества программируемых контроллеров известны. Практически отсутствуют ограничения по числу команд и по числу этапов. Программы можно хранить на любых носителях.

Рассмотрим пример, когда робот-перекладчик имеет три степени подвижности и, соответственно, три привода на манипуляторе (рис. 58). Четвертый привод имеет схват манипулятора. На схеме показана определенная последовательность движений для манипулятора, который работает в цилиндрической системе координат: R , Z , ϕ . Исходное положение манипулятора: рука втянута и находится напротив заготовки (место для ее захвата). Выдвижение руки вперед, опускание, захват заготовки (позиция B), подъем схвата, рука втягивается, поворот в сторону пресса (по часовой стрелке), выдвижение руки, опускание руки, раскрытие схвата для освобождения заготовки, которая попадает прямо в штамп (позиция A). Далее в обратном порядке – к исходному положению перед захватом следующей заготовки.

Совершается определенный цикл, определяемый последовательностью движений манипулятора, которые привели его к исходному положению. Части цикла называются его этапами. При поочередном выполнении движений на каждом этапе работает только один привод и изменяется только одна координата. Однако для сокращения времени цикла может оказаться целесообразным на некоторых этапах одновременно выполнять движение по двум или нескольким координатам, т.е. совмещать движения во

времени, если система управления роботом позволяет. В цикле возможно, что система управления роботом выдаст сигнал на включение пресса, после того как манипулятор выложит заготовку в штамп, а сам выйдет из штампового пространства.

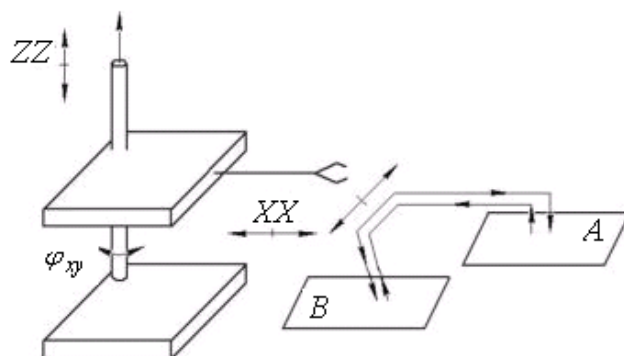


Рис. 58. Схема манипуляционных движений робота

Специфика рассматриваемого примера заключается в том, что важно точно задавать положение рабочего органа лишь в начальной и конечной точках. При этом для каждой координаты должна быть предусмотрена точная остановка только в двух точках (для механизма поворота) или в трех точках (для механизма подъема и выдвижения руки). В простейшем случае при использовании пневмопривода фиксирование положений осуществляется упорами, в которые упираются подвижные части при остановках. При необходимости задавать различные положения точек упоры должны быть переставляемыми. В этих случаях управление сводится к заданию последовательности команд. Каждая команда указывает на то, какой из приводов и в какую сторону должен задавать перемещение. При этом каждая последующая команда может быть дана или по сигналу выполнения предыдущей, или после заданной выдержки по времени, или по разрешающему сигналу от другого оборудования.

Каждое этапное движение по программе может выполняться по упорам или по сигналу датчика, когда выходное звено привода находится в крайнем положении. Может быть предусмотрено два датчика для крайних положений, например, рука втянута и рука вытянута. На этапе поворота по часовой стрелке с захваченной заготовкой: движение поворота должно выполняться при условиях, когда от датчиков поступят сигналы: 1) рука втянута; 2) механизм подъема находится в верхнем положении; 3) схват включен. Таким образом, команда поворота по часовой стрелке должна выдаваться при наличии одновременно сигналов с трех определенных датчиков, поступающих на входы УУ, например, на входы ПЛК.

Точки (упоры) остановки подвижной части привода задаются на самом манипуляторе.

При использовании пневмопривода такие остановки осуществляют по упорам. Чтобы исключить жесткие удары с упорами, устанавливаются демпферы. Жесткие упоры могут переустанавливаться для других типов приводов, например для электромеханического привода. При подходе к задней точке двигатель привода отключается. Для этого применяют путевые переключатели.

Часто используют обычные электроконтактные микровыключатели. Электроконтактный микропереключатель устанавливается неподвижно, и он срабатывает от кулачка, который закреплен на подвижной части привода. Если на разных этапах цикла требуется остановить подвижную часть привода в разных положениях, то устанавливается несколько кулачков при одном переключателе. Для точности остановки в конечном положении перед остановкой привод переходит на уменьшенную скорость, а при включении останавливается.

Повышение надежности может быть достигнуто при установке путевых переключателей другого типа. В роботах с цикловым управлением используют в качестве датчиков герметичные магнитоуправляемые (герконы). Герметизированные контакты замыкаются при приближении к нему магнита, закрепленного на подвижной части. Точность герконовых датчиков не очень велика, однако они выдерживают значительно большее число включений и выключений, чем обычные микропереключатели. Используются также индуктивные и генераторные датчики, которые также являются бесконтактными.

3.4.3. Позиционное и контурное программное управление

Общим для позиционного и контурного программного управления является то, что для выполнения движений необходимо запомнить большое число точек для каждой степени подвижности. Эти точки не задаются на манипуляторе, а являются элементами самой системы управления. В этих системах программируется вся информация о движениях, которые необходимо совершить, а именно, последовательность движений, условия выполнения движения и значение перемещения и углов поворота [18]. Для

контурного управления программируется также скорость перемещения. Программирование может быть аналитическим, а может осуществляться методом обучения. В настоящее время большинство систем позиционного и контурного управления представляют собой системы ЧПУ.

Для ПР характерны системы ЧПУ трех типов:

- 1) *HNC* – с ручным заданием программ с пульта управления, они называются также оперативными системами управления;
- 2) *DNC* – имеет память для хранения программы;
- 3) *CNC* – автономная система построена на базе микроЭВМ.

Принципы и технические средства ЧПУ были разработаны применительно к станкам, распространение их на промышленные роботы позволяет унифицировать УУ для роботизированных технологических комплексов.

Рассмотрим УУ, вырабатывающее сигналы на приводы, не затрагивая пока вопросов исполнения программ. Исходной является алфавитно-цифровая запись УП. Программирование выполняется по адресному принципу, по кадрам. Адрес указывает на то, к какому приводу или степени подвижности относится команда. После адреса (буквы) пишутся числа, которые показывают, на сколько должно произойти перемещение по координате.

Большинство систем ЧПУ допускает программирование как в абсолютных координатах в базовой системе координат, так и в приращениях от исходного положения. Числа дают значения координат перемещений в дискретных отсчетах, обычно в микрометрах. Обозначения адресов (букв) указываются в следующем виде: *N015X+01000 F10*, что означает, что в кадре с номером 15 привод должен задать перемещение в положительном направлении по оси *X* на 100 мм. Адресом *F* задается скорость перемещения в см/с. Для описания траектории предусматриваются специальные режимы интерполяции. Так, если адресом задан режим линейной интерполяции, то заданы координаты начальной и конечной точки. Рабочий орган будет двигаться с постоянной скоростью, заданной адресом *F*. При этом приводы будут работать согласованно, по степеням подвижности.

Системы ЧПУ допускают также круговую интерполяцию. Возможность работы в режимах интерполяции является особенностью контурного управления. Система выбора адресов и составления программ стандартизирована. Составляющая программа может быть введена вручную или дистанционно с центральной ЭВМ по сети. Сама программа упрощается за счет введения типовых подпрограмм, каждая из которых реализует постоянный цикл.

Все современные ЧПУ имеют разветвленную систему контроля. При выявлении отказов система автоматической диагностики выявляет причины отказа. Габариты ЧПУ выведены за пределы оборудования, но они уменьшаются от поколения к поколению. Современные ЧПУ имеют роботы II и III поколения [18].

Существенную специфику имеет программирование в случаях, когда оно осуществляется методом обучения. Во время обучения оператор перемещает рабочий орган с помощью пульта или вручную. Система управления автоматически вводит в память значения координат через равные промежутки времени (обычно через 0,1 сек). Эти значения получаются из сигналов датчиков перемещения и углов поворота приводов манипулятора. Оператор обучает робота последовательности действий. Если важна плавность движения, то при воспроизведении осуществляется интерполяция по точкам. Когда плавности движений не требуется, то движения должны производиться с остановками. В этом случае интерполяция не производится, и система работает как позиционная. Движения манипулятора воспроизводятся в первом цикле, а последующие циклы выполняются автоматически.

В системах ЧПУ используется два вида приводов: разомкнутые (обычно шаговые) и замкнутые (следающие). Шаговые электромеханические приводы управляются последовательностью импульсов, которые вырабатываются специальным коммутатором. Сигнал, который составляет числа дискретных перемещений по данной координате, преобразуется в пропорциональное число импульсов. Коммутатор превращает их в ступенчатые напряжения, так что угол поворота шагового двигателя получается пропорциональным числу импульсов с частотой, примерно равной 1000–2000 Гц [18].

В следающих приводах сигналы заданного перемещения или угла поворота сравниваются с сигналами датчиков. По результатам сравнения вал двигателя поворачивается так, чтобы эти два сигнала стали равными друг другу. Таким образом, перемещение выходного звена привода следит за входным электрическим сигналом. Это является методом обратной связи в системе управления. Точность следающего привода зависит от точности датчика. В системе ЧПУ применяют специальные кодовые (цифровые) датчики, выдающие сигнал угла поворота в двоичном коде, а также применяются импульсные датчики, выдающие число импульсов, пропорциональное углу поворота или перемещению и аналоговые датчики

(потенциометры и вращающиеся трансформаторы). В последнем случае приходится ставить АЦП на вход в вычислительный блок.

3.4.4. Характеристики систем управления промышленными роботами

Системы управления ПР представляют собой унифицированные устройства, характеризующиеся следующими параметрами:

1. Тип. Определяются функциональные возможности системы управления и робота (цикловые: УЦМ–10, УЦМ–20, УЦМ–30, УЦМ–663, УЦМ–1000, ЭЦПУ–6030; позиционные: УПМ–331, УПМ–552, УПМ–772, ПУР–2М; контурные: УКМ–552, УКМ–772).
2. Система отсчета координат: абсолютные величины или относительные величины.
3. Общее количество одновременно управляемых координат.
4. Количество степеней точности, пропорциональное числу 1.6 (Н, П, В, А, С – квалитеты точности движений манипулятора).
5. Число скоростей перемещения рабочего органа.
6. Количество каналов связи или выхода для технологического оборудования.
7. Способ ввода программ.
8. Вид внешней памяти.
9. Тип привода манипулятора, с которым может работать система управления.
10. Тип датчика обратной связи.
11. Наличие опции «выдержка временем», которая зависит от технологических переходов и обычно задается таймером.
12. Вид индикации для обеспечения интерфейса оператора (табло, дисплей).
13. Потребляемая мощность и габариты.

3.5. Технические характеристики и классификация промышленных роботов

Для установления рациональной области применения роботов необходимо знать их основные технические характеристики и классификацию по различным признакам [12].

Технические характеристики

Технические характеристики промышленных роботов согласно ГОСТ 25685—83 включают следующие параметры [12; 18; 22; 32]:

1. *Конструктивное исполнение.*

По конструктивному исполнению выделяют следующие типы ПР: однорукий, двурукий; подвесной, напольный, подвижный, стационарный, встроенный в оборудование.

2. *Номинальная грузоподъемность.*

Это наибольшая масса захватываемого ПР объекта производства, при которой гарантируется захватывание, удерживание и обеспечение установленных значений эксплуатационных характеристик ПР. Следует иметь в виду, что в грузоподъемность робота кроме массы объекта входит и масса захватного устройства [22]. В технических характеристиках робота часто указывается не только номинальная, но и максимальная нагрузка, которая может существенно превосходить номинальную. Так, отечественный робот модели *TUR 15* имеет номинальную грузоподъемность 15 кг, а дополнительная нагрузка при номинальной грузоподъемности составляет 10 кг.

3. *Рабочая зона робота.*

Это пространство, в котором может находиться рабочий орган робота при его функционировании. Рабочая зона может иметь объем от 0.01 м^3 (при особо точных операциях) и свыше 10 м^3 (для передвижных роботов) [12]. Рабочая зона ПР определяется системой координат (см. параграф 3.2), в которой работает его манипулятор.

4. *Зона обслуживания ПР.*

Это пространство, в котором рабочий орган выполняет свои функции в соответствии с назначением робота и установленными значениями его характеристик.

5. *Число степеней подвижности ПР.*

Это сумма возможных координатных движений захваченной детали относительно неподвижного звена: стойки, основания и т.д. (движение зажима детали захватным устройством здесь не учитывается).

Число степеней подвижности промышленного робота определяет количество кинематических пар в манипуляторе (поступательных и вращательных). Чтобы перемещать предмет из одной точки в другую, достаточно трех степеней подвижности – транспортирующие движения, переносные движения. Кроме переносных движений еще имеются ориентирующие степени подвижности, это достигается поворотом кисти манипулятора вокруг оси *X*. Может быть перенос плюс ориентирование – 6 степеней по-

движности. В основном для большинства промышленных роботов имеются 1 или 2 ориентирующих степеней подвижности. 30% ПР имеет от 3 до 5 степеней подвижности.

6. Скорости линейных и вращательных движений.

Линейная скорость V_E исполнительного механизма у большинства ПР составляет $(0,5 \div 1) \text{ м/с}$, а угловая $\omega = (90 \div 180)^\circ / \text{с}$.

Зная величину перемещения S или угла поворота φ , можно определить время t движения (табл. 11) по формулам $t = S/V$ или $t = \varphi / \omega$.

Таблица 11. Вид движения

Вид движения	S или φ	Время t , с
Выдвижение руки	80 мм	0,17
Опускание руки по вертикали	20 мм	0,08
Поворот	90 град	1,0
Зажим	10 мм	0,035–0,04

7. Погрешность позиционирования.

Это отклонение положения рабочего органа от заданного управляющей программой.

Выбор робота той или иной точности зависит от технологических условий сопряжения робота и оборудования. Различают следующие виды роботов:

- высокоточный с погрешностью позиционирования до $\pm 0,01$ мм;
- точный с погрешностью позиционирования до $\pm 0,1$ мм;
- нормальной точности с погрешностью позиционирования до $\pm 1,0$ мм;
- низкой точности с погрешностью позиционирования более 1,0 мм.

8. Время на переналадку.

Сложность переналадки зависит от условий технологического процесса. Например, [18], при штамповке это время складывается из времени перепрограммирования плюс времени смены захвата, плюс времени переналадки прессы, плюс времени переналадки другого вспомогательного оборудования, плюс времени смены штампа. Приблизительно оно составляет от 20 мин. до 1,5 часов. Если переналадка выполняется один раз в смену (8 часов), то время на переналадку составляет от 10 до 20% времени. Со-кращение времени на переналадку – важная проблема совершенствования роботов – современная тенденция адаптивных и интеллектуальных роботов.

Классификация ПР

1. По характеру выполняемых операций.

- 1.1 *Производственные ПР*, непосредственно участвующие в производственном процессе и выполняющие основные операции типа сварки, гибки, окраски, сборки и т.д.
- 1.2 *Подъемно-транспортные (вспомогательные) ПР*, используемые для установки-снятия деталей и инструмента, обслуживания транспортеров и складов и т.д.
- 1.3 *Универсальные роботы*, выполняющие как основные, так и вспомогательные операции.

2. По виду производства.

Различают ПР, используемые при механической обработке, в литейном, кузнечно-прессовом, сварочном производствах, термообработке, нанесении покрытий, сборке, автоматическом контроле, транспортно-складских работах и т.д.

3. По степени специализации.

- 3.1 *Специальные ПР*, выполняющие определенную технологическую операцию или вспомогательный переход и обслуживающие конкретную модель оборудования.
- 3.2 *Специализированные ПР*, выполняющие операции одного вида, например сварку, окрашивание, сборку, и обслуживающие определенную группу моделей оборудования, например станки с горизонтальной осью шпинделя.
- 3.3 *Универсальные ПР*, служащие для выполнения разнородных операций и функционирующие с оборудованием различного назначения. Универсальные ПР, несмотря на их большую сложность и стоимость, легче приспособить к работе со станками без особой их модернизации и изменения конструкции. Гибкие универсальные или с широкой специализацией ПР используют в автоматизированных производствах высокого уровня, например, в гибких производственных системах.

4. По грузоподъемности различают ПР [12]:

- сверхлегкие (номинальная грузоподъемность до 1 кг);

- легкие (номинальная грузоподъемность свыше 1 до 10 кг);
- средние (свыше 10 до 200 кг);
- тяжелые (свыше 200 до 1000 кг);
- сверхтяжелые (номинальная грузоподъемность свыше 1000 кг).

5. По числу степеней подвижности.

Выпускаются роботы с двумя, тремя, четырьмя и более четырьмя степенями подвижности.

6. По возможности передвижения.

ПР подразделяют на стационарные и подвижные. Стационарные ПР имеют ориентирующие и транспортирующие движения, а подвижные ПР дополнительно к этим двум движениям еще и координатные перемещения.

7. По способу установки на рабочем месте.

Различают ПР напольные, подвесные и встроенные. Встроенные роботы компактны, но обслуживают только один станок. Напольные роботы обычно имеют более сложные задачи, например, обеспечивают смену инструмента, контрольные операции, межстаночное транспортирование.

8. По виду систем координат.

ПР подразделяют на работающие в прямоугольной, цилиндрической, сферической, угловой и комбинированной системах координат. Роботы, работающие в прямоугольной системе координат, отличаются жесткостью и имеют грузоподъемность свыше 80 кг; их часто используют для транспортно-складских работ или для штабелирования. Наиболее распространена цилиндрическая система координат. В этой системе работают роботы с грузоподъемностью до 60 кг. ПР со сферической системой координат имеют высокую жесткость, большой объем рабочей зоны, распространены для грузоподъемности от 10 до 140 кг. ПР, работающие в угловой (угловой) системе координат, компактны, имеют увеличенный объем рабочей зоны; применяются при грузоподъемности от 5 до 160 кг [12].

9. По виду привода.

ПР подразделяют на роботы с электромеханическим, гидравлическим, пневматическим и комбинированным приводами.

10. По виду управления.

ПР подразделяют на роботы с программным управлением (цикловым, числовым, позиционным, контурным) и роботы с адаптивным управлением (позиционным, контурным).

11. По способу программирования.

Различают роботы, программируемые обучением и аналитически (путем расчета программ). При программировании по методу обучения оператор, управляя ПР с ручного пульта, последовательно проводит захватное устройство из одного конечного положения в другое через серию точек в пространстве, которые фиксируются в запоминающем устройстве ПР. При обработке последующих деталей захватное устройство робота будет двигаться по этим зафиксированным точкам.

По методу самообучения программа формируется на основе информации о внешней среде, запоминающейся устройством ЧПУ, которое затем и выдает соответствующие команды.

Расчет программ для ПР аналогичен подготовке программ для металлорежущих станков. При программировании используют широкий набор от языков высокого уровня (*Fortran* и др.) до ориентированных языков.

Индексация моделей ПР проводится в следующем порядке: 1) целевое назначение; 2) вид оборудования; 3) грузоподъемность; 4) тип системы ПУ; 5) условная компоновочная схема; 6) исполнение.

Например, модель СМ40Ф2.80.01 расшифровывается следующим образом: СМ – станочный манипулятор; 40 – грузоподъемность; Ф2 – с позиционной системой программного управления; 80 – индекс схемы компоновки; 01 – конструктивное исполнение.

3.6. Требования к промышленным роботам ГПМ (РТК) по металлообработке

При использовании робота в конкретном ГПМ или конкретной РТК к нему предъявляются требования, которые зависят от условий производства, уровня автоматизации и т.д. В механообрабатывающем производстве наблюдаются самые разнообразные варианты структур ГПМ (РТК), что связано со специфическими особенностями производства [22]. Особенности применения роботов при обслуживании металлорежущих станков определяются перечнем выполняемых роботом операций, характеристикой обрабатываемых деталей, технологией обработки, составом оборудования и другими организационно-техническими и экономическими факторами.

Основные факторы, влияющие на схемы загрузки станков, следовательно, и на выбор ПР и компоновки ГПМ (РТК), следующие:

- характер ориентации заготовки перед загрузкой;
- тип загрузочных и разгрузочных устройств;
- вид выполняемых операций (например, перенос заготовки из тары на станок и обратно без изменения базовой поверхности или дополнительный перенос с изменением базовой поверхности, обеспечение кантования заготовки вне или внутри цикла обработки на одном станке и др.);
- компоновка станков (вертикальное или горизонтальное положение оси шпинделя и стола);
- число обслуживаемых станков.

Компоновка ГПМ (РТК) определяется также конструктивно-кинематическим исполнением ПР, определяющим форму и размеры рабочей зоны.

При обслуживании металлообрабатывающего оборудования ПР могут выполнять следующие вспомогательные операции:

- установку заготовок в рабочей зоне станка и снятие обработанной детали с укладкой ее на конвейер или в ориентирующий магазин приемного устройства и т.п.;
- контроль размеров заготовок и обработанных деталей;
- очистку базовых поверхностей деталей, заготовок и фиксирующих приспособлений станка от грязи и стружки;
- проверку правильности базирования и фиксации заготовок в зажимных приспособлениях станков;
- смену захватных устройств, а также инструментальных комплектов;
- поиск, опознавание обрабатываемой детали и перебазирование ее в процессе обработки;
- межстаночное транспортирование деталей при обслуживании группы станков.

Опыт внедрения ПР в производственных условиях показал [34], что нельзя поставить ПР к полуавтоматическому станку, не изменяя организационной структуры подразделения, где должен действовать робот, и не проведя технических мероприятий по модернизации станков для использования их в составе ГПМ (РТК).

Как правило, выполнение технологического цикла обработки изделий на металлорежущих станках обеспечивается группой станков. В связи с этим при создании станочных ГПМ (РТК) целесообразно использовать ПР, способные обслуживать группу однотипных или разнотипных станков.

Выделим следующие требования к ПР [18]:

1. *Функциональное назначение и тип работа.*

Большинство промышленных роботов не обладают высокой универсальностью, поэтому робот должен быть приспособлен к типу оборудования, например, к фрезерному или токарному станкам заданных типов. Для ПР нужно использовать вспомогательное устройство для его установки. Также нужно обеспечить точную фиксацию заготовки для ее захвата.

2. *Тип рабочего органа.*

Захват нужен для зажима заготовок, полуфабрикатов и деталей, чтобы осуществить локализацию предметов манипуляции. Захваты определяются множеством конфигураций форм и свойств обрабатываемых изделий.

Механические захваты: пневмопривод, устройство зажима, захватывающие губки, демпфирующие элементы, с помощью которых уменьшается усилие при захвате детали. Губки могут быть с поступательным и вращательным движением, с рычажным механизмом, зубчатыми рейками, двойным рычажным механизмом.

Вакуумные захваты: присоски с разреженным воздухом – пассивные и активные (имеют устройства, создающие разрежение под манжетой присоски).

Магнитные зажимы: предназначены для захвата деталей из ферромагнитных материалов (существует остаточная намагниченность).

Большинство схватов не имеют датчиков и поэтому их необходимо ими оснастить.

3. *Грузоподъемность.*

Нередко допускают очень большие запасы по грузоподъемности, из-за чего работы становятся громоздкими.

4. *Число степеней подвижности.*

5. *Геометрические параметры манипулятора.*

К ним относятся: длина звеньев; величина вылета; ход; угол поворота; габариты робота.

6. *Значения параметров быстродействия.*

К ним относятся:

- средние скорости по степени подвижности;
- максимальные значения времени по степеням подвижности;

- время цикла работы робота, т.е. суммарное время всех перемещений.

7. *Показатели точности.*

8. *Возможности управления.*

К ним относятся:

- число точек позиционирования для циклового управления;
- способ программирования движения;
- ограничение памяти на объем программирования;
- число хранимых программ.

9. *Возможности осязания.*

Требуется наличие различных датчиков, которые позволяют контролировать положение схвата относительно объекта (заготовки, оборудования) и их взаимодействие и необходимое число каналов связи с оборудованием. При проектировании ГПМ (РТК) появилась тенденция использовать модульные промышленные роботы.

10. *Модульная структура.*

Функционально-законченным является звено манипулятора, совершающее одно поступательное либо одно вращательное движение. Модуль может иметь привод. Роботы модульной конструкции лучше приспособлены к изменению технологии и к гибким автоматизированным производствам. Возможна быстрая компоновка из отдельных роботов.

Например, «Гном» – робот модульного типа нашел применение для листовой штамповки (грузоподъемность 0.1–0.5 кг). Он имеет пневмосистему модульного типа, пневмопривод, блок подготовки воздуха, электронную систему управления по модульному типу (отрабатывает до 24 шагов). Манипулятор «Гнома» может монтироваться на оборудование и состоит из линейных вращательных модулей.

ГПМ, который будет построен по модульному принципу, можно скомпоновать из отдельных технологических ячеек в целую автоматическую линию. Создание на основе модулей типовых моделей роботов и отдельных комплексов является основным направлением успешного решения комплексной автоматизации, которое обеспечивает производительность и гибкость при мелкосерийном производстве.

Под специальную задачу можно применить и специальный робот. Однако доработок избежать нельзя, и робот, который был универсальным, становится специальным, приспособленным только для данного оборудования. Это уже ограничение гибкости производства.

Применение модульных роботов облегчает их приспособление к оборудованию. Для обеспечения адаптивности робота необходимо использовать системы сенсорного типа – средства технического зрения и т.д. Кроме этого, важны данные о проведении монтажа, наладки и регулировки.

Глава 4. Организация курсового проектирования по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве»

При выполнении курсового проекта по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве» решаются следующие задачи:

- овладение навыками проектирования систем управления автоматизированными технологическими комплексами, включая выбор аппаратных и программных средств;
- овладение навыками разработки алгоритмов и программ управления оборудованием и процессом обработки изделий;
- закрепление навыков в использовании банков данных и знаний, подборе научной и справочной литературы, оформлении технической документации согласно ГОСТ.

Тематика курсовых проектов разделяется на следующие направления:

- проектирование системы управления оборудованием ГПМ (РТК) на базе металлообрабатывающего(их) станка(ов) с ЧПУ и промышленного робота заданных типов;
- модернизация системы ЧПУ металлообрабатывающим станком на базе оборудования компании *SIMENS* с использованием ПЛК семейств S7-200, S7-300 для управления вспомогательными операциями, например автоматической сменой инструмента.

4.1. Проектирование системы управления оборудованием ГПМ (РТК)

При выполнении курсового проекта по данному направлению используются результаты предыдущих курсовых проектов по дисциплинам «Технологические процессы автоматизированных производств» и «Технические средства автоматизации». Таким образом, студент приобретает навыки самостоятельного решения задач, возникающих при автоматизации технологических процессов в механообработке.

4.1.1. Исходные данные и порядок изложения материала в курсовом проекте

Исходными данными для проектирования систем управления оборудованием ГПМ (РТК) являются:

1. Выходные данные курсового проекта по дисциплине «Технологические процессы автоматизированных производств»:

- чертежи заготовки и детали;
- массы заготовки и детали;
- объем производства деталей;
- технологический процесс изготовления детали;
- тип(ы) металлообрабатывающего(их) станка(ов) и его(их) технические характеристики.

2. Выходные данные курсового проекта по дисциплине «Технические средства автоматизации»:

- типы загрузочного и разгрузочного устройств и их технические характеристики;
- тип промышленного робота и его технические характеристики;
- компоновочная схема ГПМ (РТК) на базе заданных металлообрабатывающего(их) станка(ов) и промышленного робота.

3. Программируемый логический контроллер (ПЛК) семейства S7-200(300) компании *Siemens* для управления ПР в сочетании с промышленным блоком автоматики (ПБА).

Его тип выбирается в процессе проектирования системы управления после определения числа и типов входных и выходных сигналов ПЛК, требуемых функций ПЛК, его объема памяти, типов и количества портов.

Предлагается следующий порядок изложения материала в курсовом проекте по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве».

Введение.

1. Исходные данные для курсового проектирования и их анализ.
2. Разработка программы управления обработкой детали на станке с ЧПУ.
3. Проектирование системы управления обработкой детали в ГПМ.
 - 3.1. Разработка структурной схемы системы управления.
 - 3.2. Разработка алгоритма управления оборудованием ГПМ.
 - 3.3. Выбор типа ПЛК.
 - 3.4. Разработка текста программы управления промышленным роботом.

Заключение.

Список литературы.

Приложения

В качестве примера рассмотрим исходные данные для курсового проекта «Проектирование системы управления оборудованием ГПМ для токарной обработки детали «Червячное колесо-гайка».

Чертежи заготовки (отливка) и детали представлены в Приложении А (рис. А.1). Масса заготовки составляет 0,75 кг.

По результатам разработки технологического процесса изготовления детали «Червячное колесо-гайка» для обработки заготовки был выбран токарный станок типа 16К20Ф3.

Токарный станок 16К20Ф3 и его характеристики [43]

Станок 16К20Ф3 (рис. 59) предназначен для токарной обработки в автоматическом режиме наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения со ступенчатым и криволинейным профилем различной сложности по заранее составленной управляющей программе. Обработка происходит в один или несколько проходов в замкнутом автоматическом цикле. Установка заготовок осуществляется в патроне, а длинных – в центрах. Область применения станка: мелкосерийное и серийное производство. Технические характеристики станка представлены в табл. 12.

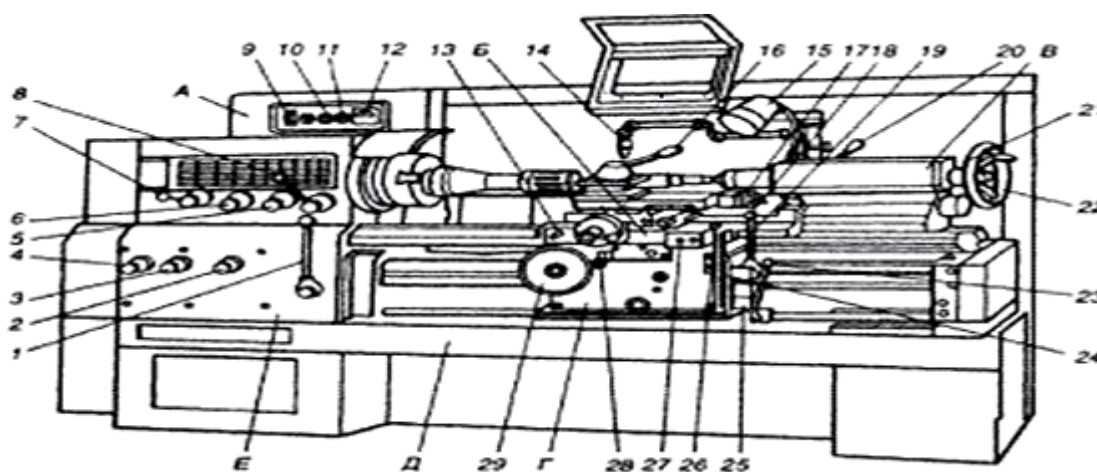


Рис. 59. Токарный станок 16К20Ф3:

А – передняя (шпиндельная) бабка; Б – суппорт; В – задняя бабка; Г – фартук; Д – станина; Е – коробка подачи; 1 – рукоятка управления фрикционной муфтой главного привода; 2 – вариатор подачи, шага резьбы и механизма отключения подачи; 3 – вариатор подачи и типа нарезаемой резьбы; 4 – вариатор подачи и шага резьбы, 5 – переключатель на левую, правую и другие резьбы; 6 – рукоятка установки нормального и увеличенного шага резьбы и положение при делении на заходы резьбы; 7, 8 – рукоятки установки частоты вращения шпинделя; 9 – вводный автоматический выключатель; 10 – лампа сигнальная; 11 – включение насоса СОЖ; 12 – указатель нагрузки станка; 13 – ручное перемещение поперечных салазок суппорта; 14 – регулируемое сопло СОЖ; 15 – освещение местное; 16 – рукоятка поворота и зажима резцедержателя; 17 – рукоятка перемещения верхних салазок суппорта; 18 – рукоятка включения двигателя ускоренного входа; 19 – рукоятка управления перемещением каретки и салазок суппорта; 20 – зажим пиноли задней бабки; 21 – рукоятка закрепления задней бабки на станине; 22 – маховичок перемещения пиноли задней бабки; 23 – рукоятка включения и отключения муфты главного привода; 24 – рукоятка включения и отключения муфты главного привода; 25 – включение подачи; 26 – винт закрепления каретки на станине; 27 – кнопочная станция двигателя главного привода; 28 – рукоятка включения и выключения реечной шестерни; 29 – маховичок ручного перемещения каретки

Таблица 12. Характеристики токарного станка 16К20Ф3

Характеристика	Значение
Диаметр обработки над станиной, мм	500
Диаметр обработки над суппортом, мм	200
Наибольшая длина обработки, 6-позиционная головка, мм	900
Наибольшая длина обработки, 8-позиционная головка, мм	750
Наибольшая длина обработки, 12-позиционная головка, мм	850
Наибольшая длина обработки в центрах, мм	1000
Диаметр цилиндрического отверстия в шпинделе, мм	55
Наибольший поперечный ход суппорта, мм	210

Характеристика	Значения
Наибольший продольный ход суппорта, мм	905
Максимальная скорость продольной рабочей подачи, мм	2000
Максимальная скорость поперечной рабочей подачи, мм	1000
Количество управляемых координат, шт.	2
Количество одновременно управляемых координат, шт.	2
Дискретность задания перемещения, мм	0,001
Пределы частот вращения шпинделя, об/мин	20–2500
Скорость быстрых перемещений суппорта - поперечного, мм/мин	2400
Максимальная скорость быстрых продольных перемещений, мм/мин	15000
Максимальная скорость быстрых поперечных перемещений, мм/мин	7500
Количество позиций инструментальной головки	8
Мощность электродвигателя главного движения, кВт	11
Класс точности по ГОСТ 8-82	П
Габаритные размеры станка (Д × Ш × В), мм	3700 × 2260 × 1650
Масса станка, кг	4000
Высота оси шпинделя относительно основания, мм	1000

Для числового программного управления станком 16K20Ф3 используем УЧПУ NC-201M [50; 57], выполненное на отечественной фирме «Балт-Систем» и полностью заменяющее устаревший вариант «Электроника НЦ-31».

NC-201M – высокотехнологичное устройство ЧПУ с использованием современных компьютерных технологий для комплексных и высокопроизводительных решений управления станками токарной и фрезерной групп с количеством входов выходов не более 48/32.

Также при проектировании ГПМ (РТК) на базе станка 16K20Ф3 и ПР типа М20П40.01 в качестве УЧПУ станка могут быть использованы выполненные на современной элементной базе устройства отечественных производителей:

- модуль программного управления типа «МПУ НЦ-31 v9.0» [21];
- систему ЧПУ НЦ31-10Р [19].

Перечисленные УЧПУ стыкуются с модернизированным шкафом электроавтоматики станка с габаритами 610×450×1200 мм.

В процессе курсового проектирования требуется разработать программу управления обработкой детали «Червячное колесо-гайка» на станке с ЧПУ 16K20Ф3.

Тактовые столы СТ 220 и их характеристики

В качестве загрузочного и разгрузочного устройств выбраны тактовые столы типа СТ 220 (параграф 2.2, рис. 36, табл. 9). Стол имеет 24 пластины, грузоподъемность и размеры которых обеспечивают загрузку и перемещение заготовок и деталей типа «Червячное колесо-гайка» (рис. А.1). Заготовки на загрузочном столе и детали на приемном столе устанавливаем на специальные подставки, располагаемые на пластинах стола. Подставки позволяют расположить ось заготовки (детали) на высоте оси шпинделя токарного станка, что позволяет упростить алгоритм работы робота. Снятие заготовки промышленным роботом осуществляется с определенной (загрузочной) пластины загрузочного устройства, а выгрузка заготовки ПР осуществляется также на строго определенную (разгрузочную) пластину приемного тактового стола. Загрузочная и разгрузочная пластины стола снабжаются датчиками, фиксирующими наличие заготовки (детали).

Оценим, с какой периодичностью по времени необходимо осуществлять загрузку заготовок на 24 пластины стола. Длительность t_0 цикла обработки одной заготовки в ГПМ равняется

$$t_0 = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6 + t_7 + t_8 + t_9,$$

где t_1 – время взятия заготовки роботом с пластины стола и подъема руки в верхнее положение (при начальном нахождении руки в исходном состоянии); t_2 – время транспортирования заготовки к 3-кулачковому патрону, располагаемому в шпинделе станка; t_3 – время закрепления заготовки в 3-кулачковом патроне; t_4 – время вывода руки робота из рабочей зоны станка; t_5 – время обработки заготовки на станке; t_6 – время перемещения руки к 3-кулачковому патрону; t_7 – время взятия детали из 3-кулачкового патрона; t_8 – время перемещения руки к пластине разгрузочного стола; t_9 – время размещения детали на разгрузочном столе и перемещения руки в исходное положение к загрузочному столу.

Наибольшую длительность имеет время t_5 обработки заготовки на станке, которое рассчитано при разработке технологического процесса и является заданной величиной. Остальные временные интервалы определяются после разработки алгоритма управления роботом.

При выборе типа загрузочного устройства рекомендуется [6] соблюдать условие

$$t_{\text{заг}} = 24t_{\text{об}} \geq (0.25 \div 0.5)t_{\text{см}},$$

где, $t_{\text{непр}}$ – время непрерывной работы ГПМ (время обработки 24 заготовок), $t_{\text{см}}$ – продолжительность рабочей смены (как правило, $t_{\text{см}} = 8$ час.). Рекомендуемое условие выполняется, поскольку при $t_{\text{ц}} > 0.3$ час $t_{\text{заг}} = 7.2 \div 0.5 > (0.25 \div 0.5)t_{\text{см}}$.

УЧПУ тактового стола СТ 220 располагается внутри стола (раздел 2.2, рис. 36). При работе тактового стола в составе ГПМ УЧПУ должно выполнять следующие функции:

- по запросу устройства управления ПР передавать логический сигнал «0» или «1» о наличии заготовки (детали) на загрузочной (разгрузочной) пластине тактового стола;
- по командам от устройства управления ПР осуществлять перемещение пластин тактового стола на один шаг;
- передавать в устройство управления ПР логический сигнал «0» или «1» о завершении перемещения пластин на один шаг.

Промышленные роботы М20П.40.01 и их характеристики [33]

Промышленный робот с ЧПУ М20П.40.01 предназначен для автоматизации процессов установки / снятия заготовок и деталей, смены инструментов и других вспомогательных операций при обслуживании станков с ЧПУ. Устройство данного типа может обслуживать один или два станка и образовывать вместе с накопительными и транспортными устройствами гибкий производственный обрабатывающий комплекс, предназначенный для продолжительной работы без участия оператора. ПР М20П.40.01 работает в цилиндрической системе координат и обеспечивает 5 степеней подвижности (рис. 60):

- поворот относительно вертикальной оси на угол Θ° ;
- подъем/опускание по вертикальной оси Z ;
- выдвижение руки R ;
- поворот кисти относительно продольной оси α° ;
- поворот кисти относительно поперечной оси β° .

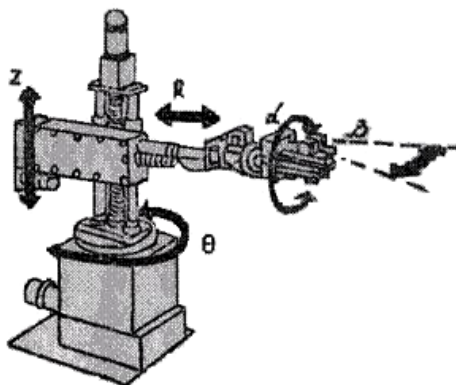


Рис. 60. Промышленный робот модели М20П.40.01

Его основные характеристики представлены в табл. 13.

Таблица 13. Основные характеристики ПР модели М20П.40.01

№ п/п	Название характеристик	Значение
1	Номинальная грузоподъемность, кг	20
2	Число степеней подвижности	5
3	Наибольшие линейные перемещения, мм:	
	по вертикальной оси Z	500
	диапазон перемещений по оси Z	950–1450
	по горизонтальной оси R	800

№ п/п	Название характеристик	Значение
4	Наибольшее угловое перемещение, град: руки относительно вертикальной оси кисти относительно продольной оси кисти относительно поперечной оси	$\Theta = 300$ $\alpha = 90; + 180$ $\beta = \pm 3.5$
5	Длина руки (без схвата), мм наименьшая наибольшая	1040 1840
6	Диапазон скорости линейных перемещений, м/с: по вертикальной оси по горизонтальной оси	0.005–0.5 0.008–1.0
7	Диапазон скорости угловых перемещений, град/с: руки относительно вертикальной оси кисти относительно продольной оси кисти относительно поперечной оси	60 60 30
8	Наибольшая абсолютная ошибка позиционирования, мм	± 1
9	Усилие зажима схвата, Н	350; 500
10	Время зажима-разжима, с	2
11	Диапазон размеров захватываемых деталей по наружному диаметру, мм	50–268
12	Масса (без устройства ЧПУ), кг	570

Общий вид ПР типа М20П.40.01-01 представлен на рис. 61.

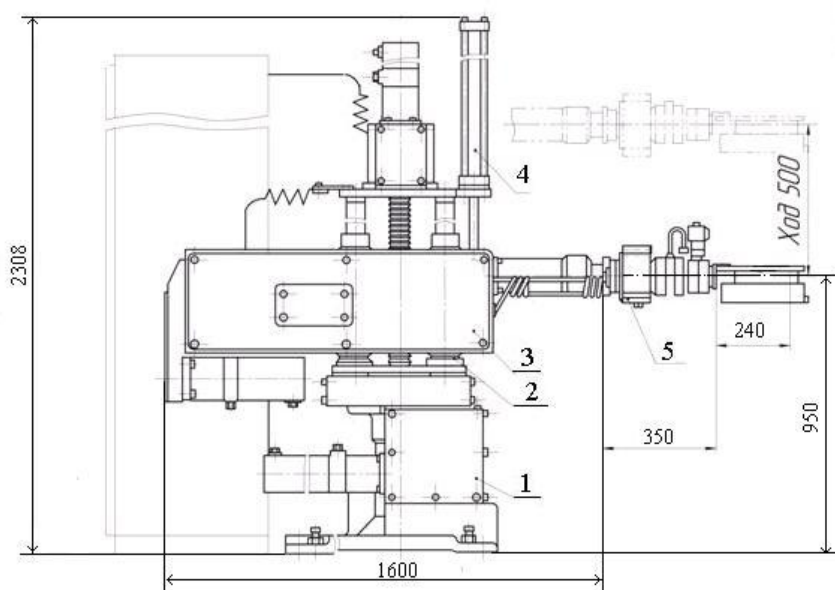


Рис. 61. Общий вид ПР М20П.40.01-01:

1 – механизм поворота вокруг вертикальной оси; 2 – механизм подъема и опускания; 3 – механизм выдвижения руки; 4 – балансир; 5 – блок поворота кисти руки

Возможны 3 режима работы ПР:

1. «Обучение» – возврат в нулевую точку, ручное управление и шаговое перемещение по каждой оси координат, ввод в память заданных значений координат, скорости перемещений, количества обрабатываемых деталей (циклов) и др.
2. «Автомат» – автоматическое управление по заданной программе.
3. «Редактирование» – подготовка и корректирование данных управления роботом.

В соответствии с техническим заданием устройство управления промышленным роботом должно строиться на базе ПЛК и промышленного блока автоматики (ПБА). Для промышленного робота типа М20П.40.01-01 используем модернизированный ПБА позиционного типа (аналог УПУ марки УПМ-552) с габаритными размерами 600×470×1700 мм.

Компоновочная схема ГПМ

Компоновочная схема – это система взаимного расположения элементов ГПМ [17]. Для разработки компоновочной схемы ГПМ необходимы характеристики используемого оборудования. В структуру ГПМ для токарной обработки детали типа «Червячное колесо-гайка» входят:

- токарный станок типа 16К20Ф3 (16К20Ф3С239) с УЧПУ NC-201М и шкафом электроавтоматики;
- загрузочное/разгрузочное устройство типа СТ 220 (тактовый стол с УЧПУ);
- промышленный робот типа М20П40.01 с устройством управления, включающим ПЛК семейства S7-200 фирмы *Siemens* и промышленный блок автоматики (ПБА).

Компоновка подразделяется на технологическую и конструкционную [17].

В процессе технологической компоновки на основании исходных данных определяются структура ГПМ, состав рабочих и установочных движений, количество исходных, рабочих и конечных положений изделия, характер обслуживания ГПМ человеком.

Второй вид компоновки отражает конструктивное исполнение ГПМ. Конструкционные компоновки ГПМ весьма многообразны. Однако необходимо стремиться к типовым решениям хотя бы для однородных операций и деталей одного конструктивного класса. При этом нужно придерживаться некоторых общих принципов:

- принципа минимума, заключающегося в том, что при компоновке следует стремиться использовать как можно меньше вспомогательных устройств, предусматривать минимальное количество движений при манипуляции предметами труда или инструментом, сокращать время выполнения операций и производственную площадь, занимаемую элементами ГПМ;
- принципа обеспечения удобства обслуживания и ремонта ГПМ и, в первую очередь, соблюдения правил техники безопасности.

Кроме того, требуется [17]:

- предусматривать максимальную механизацию и автоматизацию вспомогательных операций (транспортировка заготовок и деталей, загрузка ими накопителей и питателей, удаление стружки, окалины и облоя из рабочей зоны и т.д.), связанных с воздействием на работающих опасных и вредных производственных факторов, оставляя за оператором в основном функции управления и контроля;
- обеспечивать удобный и безопасный доступ обслуживающего персонала к основному и вспомогательному технологическому оборудованию, промышленным роботам (ПР) и органам аварийного отключения и управления;
- исключать пересечение трасс следования оператора и исполнительных устройств ПР;
- размещать пульт управления вне рабочего пространства ПР; вокруг него должно быть достаточно места, чтобы оператор мог беспрепятственно пользоваться кнопкой аварийного отключения и имел хороший обзор;
- предусматривать при расчете площади ограждаемой зоны необходимые расстояния между стационарным ограждением, элементами ПР и технологического оборудования для безопасного выполнения операций программирования, обучения, ремонта и контроля ПР. Необходимо учитывать систему координат, тип и количество ПР, а также антропометрические данные и рабочую позу оператора при выполнении различных операций по обслуживанию промышленного робота, основного технологического оборудования, исходя из Межотраслевых требований НОТ при проектировании.

Компоновочная схема ГПМ разработана в соответствии с технологическим процессом токарной обработки детали «Червячное колесо-гайка» на базе указанного выше основного и вспомогательного оборудования (рис. 62). Используется один тактовый стол типа СТ 220 в качестве и загрузочного и приемного устройств. ГПМ выполнен на базе ПР модели М20П40.01-01, станка модели 16К20Ф3, тактового стола СТ 220 и обеспечивает обработку заготовок деталей типа валов и фланцев массой до 20 кг. ПР берет заготовку с тактового стола, загружает ее в станок и затем возвращает обработанную деталь на тактовый стол.

В разработанной компоновочной схеме ГПМ токарной обработки заготовки обеспечиваются:

- взятие и перемещение заготовки массой $m = 0,75$ кг;
- расположение оси заготовки (детали) на тактовом столе на высоте 1000 мм при высоте оси шпинделя станка относительно основания 1000 мм и минимальной высоте оси руки ПР относительно основания 950 мм;
- выдвижение руки на длину 1840 мм для взятия заготовки и перемещения ее к 3-кулачковому патрону станка;

специфики конкретного технологического процесса и используемого оборудования. В указанном алгоритме определяется последовательность использования всей требуемой для функционирования ПР информации, включая очередность выполнения отдельных операций и длительность их реализации. Помимо этого в алгоритме предусматривается информация, необходимая для обеспечения взаимодействия ПР с основным и вспомогательным оборудованием. Существует определенное время простоя станка, связанное как с его загрузкой/разгрузкой, так и с выполнением ПР других подготовительных операций.

Разрабатываемый алгоритм УП и структура системы управления обработкой детали в ГПМ (РТК) взаимосвязаны, т.к. алгоритм УП определяет необходимый объем информации от датчиков, количество и типы управляющих сигналов для приводов используемого в ГПМ оборудования, а устройства, входящие в структуру СУ, обеспечивают физическую реализацию алгоритма управления.

Рассмотрим подробнее процедуры решения первой и второй задач.

4.1.2.1. Разработка программы управления обработкой детали на станке с ЧПУ

Исходными данными для разработки программы управления обработкой детали на станке с ЧПУ являются:

- чертежи заготовки и детали;
- технологический процесс изготовления детали на выбранном станке с ЧПУ.

Для программирования современного оборудования с ЧПУ используется буквенно-цифровой код ИСО 7 бит (*ISO 7 bit*) [27; 41], также известен как *G* или *CNC* код (ГОСТ 20999-83).

Основные единицы данного кода – *G* и *M* команды. Функции с адресом (префиксом) *G* называются *подготовительными* и определяют режим и условия работы станка и системы ЧПУ. Стандартные подготовительные функции лежат в диапазоне *G00-G99*.

Между собой *G*-коды выделяются в отдельные группы, в пределах которых действие одной функции может отменяться другой, например, ускоренное перемещение *G00* действует до тех пор, пока в программе не встретится другая функция этой группы *G01*, *G02* или *G03*. Не допускается использование в одном кадре нескольких функций из одной группы.

Функции с адресом (префиксом) *M* называются *вспомогательными* и предназначены для управления различными устройствами станка, например включение/выключение шпинделя, охлаждение и т.д.

Программа, написанная с использованием *G*-кода, имеет жесткое построение. Все команды управления объединяются в *кадры* – группы, состоящие из одной или более команд. Кадр завершается символом перевода строки (*CR/LF*) и имеет номер, за исключением первого кадра программы и комментариев. Первый (а в некоторых случаях ещё и последний) кадр содержит только один знак «%». Завершается программа командой *M02* или *M30*. Комментарии к программе размещаются в круглых скобках как после программных кодов, так и в отдельном кадре.

Порядок команд в кадре строго не оговаривается, но традиционно предполагается, что они располагаются в следующем порядке:

- 1) подготовительные команды (например, выбор рабочей плоскости);
- 2) команды перемещения;
- 3) команды выбора режимов обработки;
- 4) технологические команды.

В качестве примера рассмотрим программу управления токарной обработкой детали «Червячное колесо-гайка» на станке 16K20ФЗ.

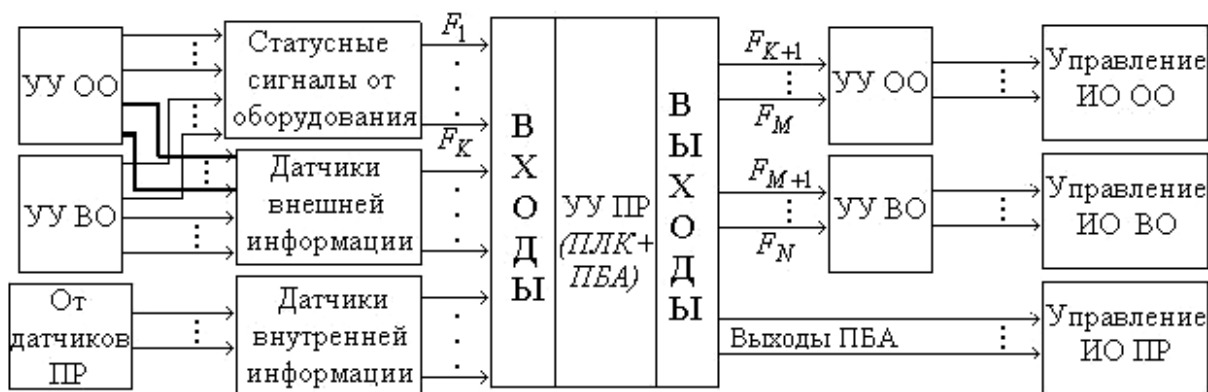
Исходными данными для разработки этой программы являются: чертежи заготовки (отливки) (Приложение А, рис. Аа) и детали (Приложение А, рис. Аб); технологический процесс обработки детали на токарном станке, разработанный при выполнении курсового проекта по дисциплине «Технологические процессы автоматизированных производств».

4.1.2.2. Разработка структуры системы управления обработкой детали в ГПМ (РТК) с выбором ПЛК

Проанализируем принципы построения структуры системы управления (СУ) обработкой детали в ГПМ (рис. 63).

Устройство управления ПР (УУ ПР) включает в себя ПЛК определенного типа и ПБА (промышленный блок автоматики). На входы ПЛК поступает информация с системы датчиков о положении механизмов ПР, ходе процесса обработки детали и статусные сигналы (флаги) о текущем состоянии основного и вспомогательного оборудования.

Датчики внутренней информации предназначены для контроля функционирования ПР, а датчики внешней информации – для контроля состояния параметров внешней среды и объектов, с которыми работает робот.



УУ ОО - устройство управления основным оборудованием;
 УУ ВО - устройство управления вспомогательным оборудованием;
 УУ ПР - устройство управления промышленным роботом;
 $F_1 \dots F_N$ - статусные сигналы (флаги);
 ИО ОО - исполнительные органы основного оборудования;
 ИО ВО - исполнительные органы вспомогательного оборудования;
 ИО ПР - исполнительные органы промышленного робота

Рис. 63. Структура СУ обработкой детали в ГПМ (РТК)

В зависимости от кода текущей команды, информации с датчиков и логического состояния статусных сигналов на определенных выходах ПЛК формируются сигналы управления, поступающие на ПБА, который их усиливает и преобразует в ту форму, которая необходима для движения соответствующих приводов, т.е. осуществляет непосредственное управление приводами ПР. Соответствующий привод приводит в движение определенное звено механизма ПР, а затем и сам рабочий орган, т.е. сигналы с выходов ПБА обеспечивают управление исполнительными органами ПР.

Аналогично на определенных выходах ПЛК формируются статусные сигналы, передаваемые на устройства управления основного и вспомогательного оборудования для последующего управления исполнительными органами.

В простых системах программного управления положение звеньев ПР не измеряется, а задается по упорам. В системах с шаговым приводом датчики могут отсутствовать.

Для повышения точности и надежности ПР используются следящие приводы, в которых применяются датчики трех групп.

Датчики 1-й группы (датчики очувствления) располагаются на рабочем органе ПР (схвате) либо могут быть вне робота. Они определяют наличие обрабатываемой детали в схвате, а именно, формируют двоичные сигналы о состоянии схвата (включен/выключен), наличии заготовки в схвате, ее положении относительно схвата.

Датчики 2-й группы контролируют положение звеньев ПР в пространстве. Конструктивно они могут выполняться в виде отдельных датчиков или вместе с датчиками группы 3.

Датчики 3-й группы находятся на элементах приводов. Это датчики положения этих элементов, угла их поворота или скорости перемещения. Они обеспечивают плавное движение выходного вала привода.

К началу разработки структуры системы управления обработкой детали в ГПМ (РТК) необходимо определить:

- 1) методику определения готовности ГПМ (РТК) к работе с указанием типов датчиков и сигналов с них, способа оповещения оператора о неготовности ГПМ (РТК) к работе;
- 2) методику определения правильности функционирования оборудования в процессе обработки с указанием типов используемых сигналов, способа оповещения оператора о сбоях в работе оборудования в процессе работы;
- 3) общее число датчиков внешней и внутренней информации, их типы (цифровой/аналоговый), параметры сигналов с выходов датчиков;
- 4) число статусных сигналов (флагов $F_1, \dots, F_K$) от основного и вспомогательного оборудования, поступающих на входы УУ ПР;
- 5) число сигналов с выходов ПЛК и УУ ПР для управления ИО ПР;
- 6) число статусных сигналов $F_{K+1}, \dots, F_N$ с выходов ПЛК для управления ИО ОО и ИО ВО ГПМ;

- 7) тип ПЛК, используемого в УУ ПР, выбираемый на основании информации, полученной при выполнении п.п. 1–6. Тип ПЛК уточняется после разработки алгоритма управления обработкой детали в ГПМ (РТК).

Информация по пунктам 1–6 определяется характеристиками основного и вспомогательного оборудования, технологическим процессом обработки детали в ГПМ.

При выборе типа ПЛК анализируются параметры, рассмотренные в параграфе 1.3.5, включая табл. 1–3 [14; 30].

Порядок разработки структуры СУ обработкой детали в ГПМ рассмотрим на конкретном примере.

Пример разработки структуры СУ обработкой детали «Червячное колесо – гайка» в ГПМ

При разработке структуры данной СУ будем придерживаться общих принципов проектирования СУ ГПМ (РТК). Для ГПМ (РТК), компоновочная схема которого представлена на рис. 62, должны быть определены:

1. Методика определения готовности ГПМ (РТК) к работе.
 - 1.1. Заготовка не должна находиться в 3-кулачковом патроне станка и он должен быть разжат. Используется дискретный датчик «3-кулачковый патрон зажат/разжат».
 - 1.2. Заготовка должна находиться на загрузочной пластине тактового стола. Используется дискретный датчик наличия изделия на загрузочной пластине тактового стола.
 - 1.3. Рука ПР:
 - находится в крайнем верхнем положении, используется дискретный датчик верхнего положения;
 - задвинута, используется дискретный датчик задвижения;
 - повернута в крайнее положение против часовой стрелки, используется дискретный датчик поворота против часовой стрелки;
 - схват разжат, используется дискретный датчик «схват разжат».

Если хотя бы одно из перечисленных условий не выполняется, на выходе ПЛК формируется аварийный сигнал *ALR1*, который:

- блокирует работу программы управления ПР (начало работы ГПМ (РТК));
 - информирует оператора о неготовности ГПМ (РТК) путем вывода на экран пульта управления соответствующей надписи, которая может сопровождаться звуковой сигнализацией.
2. Методика определения правильности функционирования оборудования в процессе обработки изделия.
 - 2.1. Контроль времени обработки заготовки на станке с использованием таймера ПЛК.
 - 2.2. Счет числа обработанных заготовок с использованием счетчика ПЛК.
 - 2.3. Могут контролироваться другие операции в процессе работы ГПМ (РТК) с использованием таймеров и счетчиков ПЛК.

При нарушении заданных условий на выходе ПЛК формируется аварийный сигнал *ALR2*, который:

- передается на вход УЧПУ станка и промышленного блока автоматики ПР, останавливая их работу;
 - информирует оператора о нарушении функционирования ГПМ (РТК) путем вывода на экран пульта управления соответствующей надписи, которая сопровождается звуковой сигнализацией.
3. Объем информации, поступающей на входы ПЛК (в УУ ПР) от датчиков и УЧПУ станком и загрузочным/приемным тактовым столом. Перечень сигналов, поступающих на входы ПЛК (УУ ПР), с указанием источников и логических имен сигналов представлен в табл. 14.

Таблица 14. Перечень сигналов, поступающих на входы ПЛК

№ входа	Название источника сигнала	Тип источника сигнала	Логическое имя входа ПЛК
1	Датчик поворота руки ПР против часовой стрелки	Концевой выключатель ТМ-1303	D1
2	Датчик поворота руки ПР по часовой стрелке	»	D2
3	Датчик задвижения руки ПР	»	D3
4	Датчик выдвижения руки ПР	»	D4
5	Датчик нижнего положения руки ПР	»	D5
6	Датчик верхнего положения руки ПР	»	D6
7	Датчик схват зажат	Микровыключатель МП 1105	D7
8	Датчик схват разжат	»	D8

№ входа	Название источника сигнала	Тип источника сигнала	Логическое имя входа ПЛК
9	Датчик наличия/отсутствия детали на загрузочной/приемной пластине тактового стола	Концевой выключатель ТМ-1323	D9
10	Датчик наличия детали в 3-кулачковом патроне	»	D10
11	Датчик перемещения заготовки в 3-кулачковый патрон (поворот руки на угол ϕ против часовой стрелки)	Концевой выключатель ТМ-1303	D11
12	УЧПУ станка (флаг – обработка детали закончена)	УЧПУ станка	F2
13	УЧПУ тактового стола (флаг – готовность после перемещения на шаг)	УЧПУ тактового	F4

4. Объем информации с выходов ПЛК на входы УЧПУ станком и загрузочным/приемным тактовым столом. Перечень сигналов, поступающих с выходов ПЛК (УУ ПР), с указанием приемников и логических имен сигналов приведен в табл. 15.

Таблица 15. Перечень сигналов, поступающих с выходов ПЛК

№ выхода	Функция сигнала	Логическое имя сигнала	Приемник сигнала
1	Направление поворота руки ПР	DIR1=1 (поворот по часовой стрелке) DIR1=0 (поворот против часовой стрелки)	Контроллер К1 в составе ПБА
2	Включение электропривода (ЭП) поворота руки ПР	RUN1=1	Контроллер К1, электродвигатель М1 серии 4 ДПУ
3	Задвижение/выдвижение руки ПР	DIR2=1 (выдвижение руки) DIR2=0 (задвигание руки)	Контроллер К2 в составе ПБА
4	Включение ЭП задвигания/выдвижения руки ПР	RUN2=1	Контроллер К2, электродвигатель М2 серии 4 ДПУ
5	Подъем/опускание руки ПР	DIR3=1 (подъем руки) DIR3=0 (опускание руки)	Контроллер К3 в составе ПБА
6	Включение ЭП подъема/опускания руки ПР	RUN3=1	Контроллер К3, электродвигатель М3 серии 4 ДПУ
7	Сжатие/разжатие схвата ПР	Z _{СХ} = 1 (включить схват) Z _{СХ} = 0 (выключить схват)	ПБА
8	Включение/выключение электромагнитного тормоза при подъеме руки ПР	T=1 (включить тормоз) T=0 (выключить тормоз)	ПБА
9	Закрепление/освобождение детали в 3-кулачковом патроне	Z _П = 1 (закрепить деталь) Z _П = 0 (освободить деталь)	УЧПУ станка
10	Разрешение на обработку детали на станке	F1 = 1 (начать обработку)	УЧПУ станка
11	Команда на перемещение пластин тактового стола на один шаг	F3 = 1 (переместить пластину на один шаг)	УЧПУ тактового стола
12	Неготовность ГПМ к работе	AL1	УЧПУ станка, ПБА
13	Возникновение аварийной ситуации при работе ГПМ	AL2	УЧПУ станка, ПБА

На основании анализа содержимого табл. 14 и 15 определяем число требуемых входов и выходов ПЛК и их типы:

- требуемое число входов – 13 (дискретные);
- требуемое число выходов – 13 (дискретные).

При разработке программы управления могут потребоваться дополнительные выходы ПЛК, в качестве которых могут использоваться не задействованные выходы.

Для загрузки программы в ПЛК и связи с технологической (центральной) ЭВМ используется коммуникационный порт RS 485.

Для контроля времени обработки заготовки на станке с ЧПУ используем таймер ПЛК, а для счета числа обработанных заготовок – счетчик.

С учетом выше приведенной информации из табл. 3 и 4 (параграф 1.3.5.1) выбираем ПЛК типа CPU 226. Тип ПЛК может быть изменен после разработки алгоритма УП, когда будут уточнены требования к ПЛК.

Структурная схема СУ обработкой детали «Червячное колесо-гайка» в ГПМ на базе станка 16K20Ф3 и ПР типа M20П.40.01 приведена на рис. 64.

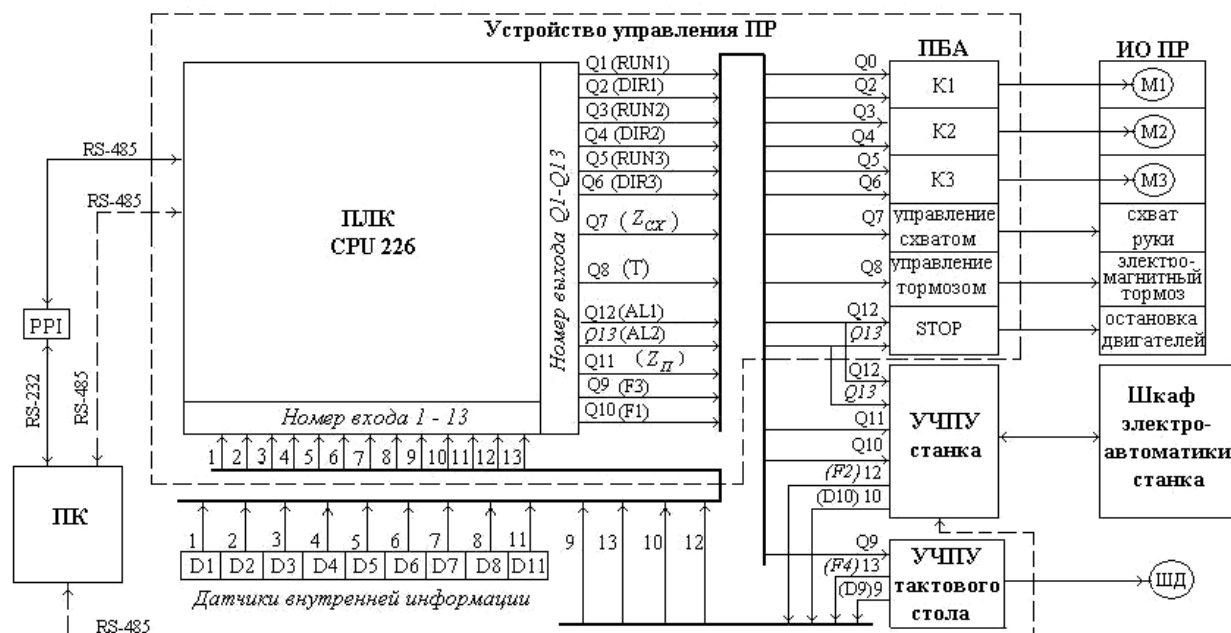


Рис. 64. Структурная схема СУ обработкой детали «Червячное колесо-гайка» в ГПМ:

ПК – персональный компьютер; для офисного ПК связь с ПЛК показана сплошными линиями, для промышленного – пунктиром; PPI – устройство согласования локальных сетей RS-232 и RS-485; ШД – шаговый двигатель

4.1.2.3. Разработка алгоритма программы управления ПР

Алгоритм управляющей программы разрабатывается на основе компоновочной схемы ГПМ (рис. 62) и структурной схемы СУ обработкой детали в ГПМ (рис. 64). Перечень, наименование, обозначение и размеры обязательных символов и отображаемые ими функции в алгоритме должны соответствовать указанным в табл. 16 по ГОСТ 19.701–90.

Кроме управления обработкой детали в ГПМ в алгоритме должны быть предусмотрены:

- проверка готовности ГПМ к работе (наличие заготовки в месте загрузки на загрузочном устройстве, отсутствие детали в месте разгрузки на приемном устройстве, отсутствие детали в обрабатывающем станке); передача соответствующей информации на пульт оператора в случае неготовности ГПМ к работе;
- приведение рабочих органов ПР в исходное состояние (подъем, задвижение и поворот руки, разжатие схвата); **перемещение выдвинутой в нижнем положении руки ПР запрещено**; вывод рабочих органов ПР в исходное положение.

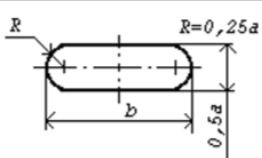
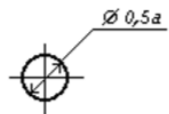
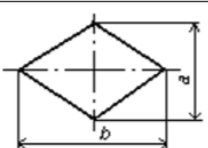
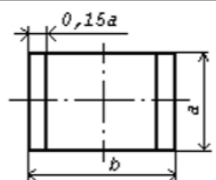
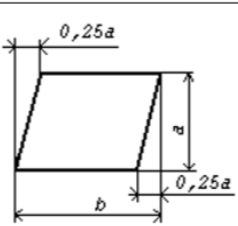
Только после выполнения указанных операций осуществляется старт управляющей программы. Кроме того, для исключения «зависания» УП в процессе ее выполнения и повторной обработки заготовки при использовании одного устройства в качестве загрузочного и разгрузочного в алгоритме предусматриваются:

- контроль времени выполнения операций при обработке детали в ГПМ, например, времени обработки детали на станке, перемещения детали от вспомогательного оборудования к основному и наоборот и т.д.;
- подсчет числа обработанных заготовок;

- остановка работы ГПМ, если реальное время обработки заготовки, перемещения детали от вспомогательного оборудования к основному и наоборот превышает заданное (расчетное) или все заготовки на загрузочном устройстве обработаны;
- выдача информации об аварийной ситуации на пульт управления.

Контроль времени выполнения операций в ГПМ предполагает использование таймеров ПЛК, а подсчет числа циклов – счетчиков ПЛК.

Таблица 16. Условные графические обозначения, используемые при построении алгоритмов

Наименование	Обозначение и размеры в мм	Функция
Пуск – останов		Начало, конец, прерывание процесса обработки данных или выполнения программы
Соединитель		Указание связи между прерванными линиями потока, связывающими символами
Процесс		Выполнение операций или группы операций, в результате которых изменяется значение, форма представления или расположение данных
Решение		Выбор направления выполнения алгоритма или программы в зависимости от некоторых переменных условий
Предопределенный процесс		Использование ранее созданных и отдельно описанных алгоритмов или программ
Ввод–вывод		Преобразование данных в форму, пригодную для обработки (ввод) или отображения результатов обработки (вывод)

Пример разработки алгоритма управления ПР в ГПМ для обработки детали «Червячное колесо-гайка»

Построение алгоритма управления ПР целесообразно начать с разработки таблицы соответствия, характеризующей функциональную связь между входами (I1 – I13) и выходами (Q1 – Q13) ПЛК (табл. 17). Перед разработкой таблицы соответствия целесообразно изучить раздел 5 методического пособия [14].

Таблица 17. Соответствие между входами и выходами ПЛК

№ стр. оид	УЧПУ станка	Такт. стол	Рука ПР										ALARМ	УЧПУ станка		Такт. стол	Тор-мод	Схват						Рука ПР																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																							
			Схват					Вращ/век										M1	M2	M3	DIR3	Q0.5	Q0.6	M0.5	M0.6	M0.7	F3	ST1	Start	Поворот					M1 (поворот)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
			D8	D9	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18	D19	D20	D21	D22	D23	D24	D25	D26	D27	D28	D29	D30	D31	D32	D33	D34	D35	D36	D37	D38	D39	D40	D41	D42	D43	D44	D45	D46	D47	D48	D49	D50	D51	D52	D53	D54	D55	D56	D57	D58	D59	D60	D61	D62	D63	D64	D65	D66	D67	D68	D69	D70	D71	D72	D73	D74	D75	D76	D77	D78	D79	D80	D81	D82	D83	D84	D85	D86	D87	D88	D89	D90	D91	D92	D93	D94	D95	D96	D97	D98	D99	D100	D101	D102	D103	D104	D105	D106	D107	D108	D109	D110	D111	D112	D113	D114	D115	D116	D117	D118	D119	D120	D121	D122	D123	D124	D125	D126	D127	D128	D129	D130	D131	D132	D133	D134	D135	D136	D137	D138	D139	D140	D141	D142	D143	D144	D145	D146	D147	D148	D149	D150	D151	D152	D153	D154	D155	D156	D157	D158	D159	D160	D161	D162	D163	D164	D165	D166	D167	D168	D169	D170	D171	D172	D173	D174	D175	D176	D177	D178	D179	D180	D181	D182	D183	D184	D185	D186	D187	D188	D189	D190	D191	D192	D193	D194	D195	D196	D197	D198	D199	D200	D201	D202	D203	D204	D205	D206	D207	D208	D209	D210	D211	D212	D213	D214	D215	D216	D217	D218	D219	D220	D221	D222	D223	D224	D225	D226	D227	D228	D229	D230	D231	D232	D233	D234	D235	D236	D237	D238	D239	D240	D241	D242	D243	D244	D245	D246	D247	D248	D249	D250	D251	D252	D253	D254	D255	D256	D257	D258	D259	D260	D261	D262	D263	D264	D265	D266	D267	D268	D269	D270	D271	D272	D273	D274	D275	D276	D277	D278	D279	D280	D281	D282	D283	D284	D285	D286	D287	D288	D289	D290	D291	D292	D293	D294	D295	D296	D297	D298	D299	D300	D301	D302	D303	D304	D305	D306	D307	D308	D309	D310	D311	D312	D313	D314	D315	D316	D317	D318	D319	D320	D321	D322	D323	D324	D325	D326	D327	D328	D329	D330	D331	D332	D333	D334	D335	D336	D337	D338	D339	D340	D341	D342	D343	D344	D345	D346	D347	D348	D349	D350	D351	D352	D353	D354	D355	D356	D357	D358	D359	D360	D361	D362	D363	D364	D365	D366	D367	D368	D369	D370	D371	D372	D373	D374	D375	D376	D377	D378	D379	D380	D381	D382	D383	D384	D385	D386	D387	D388	D389	D390	D391	D392	D393	D394	D395	D396	D397	D398	D399	D400	D401	D402	D403	D404	D405	D406	D407	D408	D409	D410	D411	D412	D413	D414	D415	D416	D417	D418	D419	D420	D421	D422	D423	D424	D425	D426	D427	D428	D429	D430	D431	D432	D433	D434	D435	D436	D437	D438	D439	D440	D441	D442	D443	D444	D445	D446	D447	D448	D449	D450	D451	D452	D453	D454	D455	D456	D457	D458	D459	D460	D461	D462	D463	D464	D465	D466	D467	D468	D469	D470	D471	D472	D473	D474	D475	D476	D477	D478	D479	D480	D481	D482	D483	D484	D485	D486	D487	D488	D489	D490	D491	D492	D493	D494	D495	D496	D497	D498	D499	D500	D501	D502	D503	D504	D505	D506	D507	D508	D509	D510	D511	D512	D513	D514	D515	D516	D517	D518	D519	D520	D521	D522	D523	D524	D525	D526	D527	D528	D529	D530	D531	D532	D533	D534	D535	D536	D537	D538	D539	D540	D541	D542	D543	D544	D545	D546	D547	D548	D549	D550	D551	D552	D553	D554	D555	D556	D557	D558	D559	D560	D561	D562	D563	D564	D565	D566	D567	D568	D569	D570	D571	D572	D573	D574	D575	D576	D577	D578	D579	D580	D581	D582	D583	D584	D585	D586	D587	D588	D589	D590	D591	D592	D593	D594	D595	D596	D597	D598	D599	D600	D601	D602	D603	D604	D605	D606	D607	D608	D609	D610	D611	D612	D613	D614	D615	D616	D617	D618	D619	D620	D621	D622	D623	D624	D625	D626	D627	D628	D629	D630	D631	D632	D633	D634	D635	D636	D637	D638	D639	D640	D641	D642	D643	D644	D645	D646	D647	D648	D649	D650	D651	D652	D653	D654	D655	D656	D657	D658	D659	D660	D661	D662	D663	D664	D665	D666	D667	D668	D669	D670	D671	D672	D673	D674	D675	D676	D677	D678	D679	D680	D681	D682	D683	D684	D685	D686	D687	D688	D689	D690	D691	D692	D693	D694	D695	D696	D697	D698	D699	D700	D701	D702	D703	D704	D705	D706	D707	D708	D709	D710	D711	D712	D713	D714	D715	D716	D717	D718	D719	D720	D721	D722	D723	D724	D725	D726	D727	D728	D729	D730	D731	D732	D733	D734	D735	D736	D737	D738	D739	D740	D741	D742	D743	D744	D745	D746	D747	D748	D749	D750	D751	D752	D753	D754	D755	D756	D757	D758	D759	D760	D761	D762	D763	D764	D765	D766	D767	D768	D769	D770	D771	D772	D773	D774	D775	D776	D777	D778	D779	D780	D781	D782	D783	D784	D785	D786	D787	D788	D789	D790	D791	D792	D793	D794	D795	D796	D797	D798	D799	D800	D801	D802	D803	D804	D805	D806	D807	D808	D809	D810	D811	D812	D813	D814	D815	D816	D817	D818	D819	D820	D821	D822	D823	D824	D825	D826	D827	D828	D829	D830	D831	D832	D833	D834	D835	D836	D837	D838	D839	D840	D841	D842	D843	D844	D845	D846	D847	D848	D849	D850	D851	D852	D853	D854	D855	D856	D857	D858	D859	D860	D861	D862	D863	D864	D865	D866	D867	D868	D869	D870	D871	D872	D873	D874	D875	D876	D877	D878	D879	D880	D881	D882	D883	D884	D885	D886	D887	D888	D889	D890	D891	D892	D893	D894	D895	D896	D897	D898	D899	D900	D901	D902	D903	D904	D905	D906	D907	D908	D909	D910	D911	D912	D913	D914	D915	D916	D917	D918	D919	D920	D921	D922	D923	D924	D925	D926	D927	D928	D929	D930	D931	D932	D933	D934	D935	D936	D937	D938	D939	D940	D941	D942	D943	D944	D945	D946	D947	D948	D949	D950	D951	D952	D953	D954	D955	D956	D957	D958	D959	D960	D961	D962	D963	D964	D965	D966	D967	D968	D969	D970	D971	D972	D973	D974	D975	D976	D977	D978	D979	D980	D981	D982	D983	D984	D985	D986	D987	D988	D989	D990	D991	D992	D993	D994	D995	D996	D997	D998	D999	D1000	D1001	D1002	D1003	D1004	D1005	D1006	D1007	D1008	D1009	D1010	D1011	D1012	D1013	D1014	D1015	D1016	D1017	D1018	D1019	D1020	D1021	D1022	D1023	D1024	D1025	D1026	D1027	D1028	D1029	D1030	D1031	D1032	D1033	D1034	D1035	D1036	D1037	D1038	D1039	D1040	D1041	D1042	D1043	D1044	D1045	D1046	D1047	D1048	D1049	D1050	D1051	D1052	D1053	D1054	D1055	D1056	D1057	D1058	D1059	D1060	D1061	D1062	D1063	D1064	D1065	D1066	D1067	D1068	D1069	D1070	D1071	D1072	D1073	D1074	D1075	D1076	D1077	D1078	D1079	D1080	D1081	D1082	D1083	D1084	D1085	D1086	D1087	D1088	D1089	D1090	D1091	D1092	D1093	D1094	D1095	D1096	D1097	D1098	D1099	D1100	D1101	D1102	D1103	D1104	D1105	D1106	D1107	D1108	D1109	D1110	D1111	D1112	D1113	D1114	D1115	D1116	D1117	D1118	D1119	D1120	D1121	D1122	D1123	D1124	D1125	D1126	D1127	D1128	D1129	D1130	D1131	D1132	D1133	D1134	D1135	D1136	D1137	D1138	D1139	D1140	D1141	D1142	D1143	D1144	D1145	D1146	D1147	D1148	D1149	D1150	D1151	D1152	D1153	D1154	D1155	D1156	D1157	D1158	D1159	D1160	D1161	D1162	D1163	D1164	D1165	D1166	D1167	D1168	D1169	D1170	D1171	D1172	D1173	D1174	D1175	D1176	D1177	D1178	D1179	D1180	D1181	D1182	D1183	D1184	D1185	D1186	D1187	D1188	D1189	D1190	D1191	D1192	D1193	D1194	D1195	D1196	D1197	D1198	D1199	D1200	D1201	D1202	D1203	D1204	D1205	D1206	D1207	D1208	D1209	D1210	D1211	D1212	D1213	D1214	D1215	D1216	D1217	D1218	D1219	D1220	D1221	D1222	D1223	D1224	D1225	D1226	D1227	D1228	D1229	D1230	D1231	D1232	D1233	D1234	D1235	D1236	D1237	D1238	D1239	D1240	D1241	D1242	D1243	D1244	D1245	D1246	D1247	D1248	D1249	D1250	D1251	D1252	D1253	D1254	D1255	D1256	D1257	D1258	D1259	D1260	D1261	D1262	D1263	D1264	D1265	D1266	D1267	D1268	D1269	D1270	D1271	D1272	D1273	D1274	D1275	D1276	D1277	D1278	D1279	D1280	D1281	D1282	D1283	D1284	D1285	D1286	D1287	D1288	D1289	D1290	D1291	D1292	D1293	D1294	D1295	D1296	D1297	D1298	D1299	D1300	D1301	D1302	D1303	D1304	D1305	D1306	D1307	D1308	D1309	D1310	D1311	D1312	D1313	D1314	D1315	D1316	D1317	D1318	D1319	D1320	D1321	D1322	D1323	D1324	D1325	D1326	D1327	D1328	D1329	D1330	D1331	D1332	D1333	D1334	D1335	D1336	D1337	D1338	D1339	D1340	D1341	D1342	D1343	D1344	D1345	D1346	D1347	D1348	D1349	D1350	D1351	D1352	D1353	D1354	D1355	D1356	D1357	D1358	D1359	D1360	D1361	D1362	D1363	D1364	D1365	D1366	D1367	D1368	D1369	D1370	D1371	D1372	D1373	D1374	D1375	D1376	D1377	D1378	D1379	D1380	D1381	D1382	D1383	D1384	D1385	D1386	D1387	D1388	D1389	D1390	D1391	D1392	D1393	D1394	D1395	D1396

В табл. 17 показаны:

- строки 1, 2 – старт и проверка готовности ГПМ к работе; сброс счетчика $C32$, сообщение оператору о неготовности ГПМ к работе ($AL1=1$) и СТОП-программы при выполнении любого из условий: отсутствие заготовки на загрузочной пластине ($D9=0$); наличие детали в шпинделе станка ($D10=1$); схват включен (зажат) ($D7=1, D8=0$);
- строка 3 – если ГПМ готов к работе ($D9=1, D10=0, D7=0, D8=1$) и $D6=0$, то подъем руки в верхнее положение ($DIR3=1, RUN3=1$);
- строка 4 – если рука в верхнем положении ($D6=1$) и не задвинута ($D3=0$), то включение тормоза ($T=1$) и задвижение руки ($DIR2=0, RUN2=1$);
- строка 5 – если рука в верхнем положении ($D6=1$), задвинута ($D3=1$), но не повернута до упора против часовой стрелки ($D1=0$), то включение тормоза ($T=1$) и поворот руки против часовой стрелки ($DIR1=0, RUN1=1$);
- строка 6 – если $D6=1, D3=1$ и $D1=1$ (рука повернута против часовой стрелки), то выключение тормоза ($T=0$) и опускание руки ($RUN3=1$);
- строка 7 – если рука в нижнем положении ($D5=1$), $D3=1$ и $D1=1$, то выдвижение руки ($DIR2=1, RUN2=1$);
- строка 8 – если рука выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$) и $D1=1$, то включение схвата ($Z_{CX} = 1$) (взятие заготовки);
- строка 9 – если схват зажат ($D7=1, D8=0$), то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) подъем руки в верхнее положение ($DIR3=1, RUN3=1$);
- строка 10 – если схват зажат ($D7=1, D8=0$), рука в верхнем положении ($D6=1$) и $D1=1$, то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) включение тормоза ($T=1$) и задвижение руки ($DIR2=0, RUN2=1$);
- строка 11 – если рука в верхнем положении ($D6=1$), схват зажат ($D7=1, D8=0$), рука задвинута ($D3=1$), то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) поворот руки по часовой стрелке ($DIR1=1, RUN1=1$);
- строка 12 – если рука повернута по часовой стрелке на угол $90^\circ + \varphi$ ($D2=1$) находится в верхнем положении ($D6=1$), схват зажат ($D7=1, D8=0$), рука задвинута ($D3=1$), то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) выключение тормоза ($T=0$) и опускание руки ($DIR3=1, RUN3=1$);
- строка 13 – если рука внизу ($D5=1$), схват зажат ($D7=1, D8=0$), рука задвинута ($D3=1$), $D2=1$, то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) выдвижение руки ($DIR2=1, RUN2=1$);
- строка 14 – если рука выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$), $D2=1$, схват зажат ($D7=1, D8=0$), то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) поворот руки против часовой стрелки ($DIR1=0, RUN1=1$);
- строка 15 – если рука повернута против часовой стрелки на угол φ ($D11=1$), выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$), схват зажат ($D7=1, D8=0$), то при включенном схвате ($Z_{CX} = 1$) формирование флага $Z_{\Pi} = 1$ (закрепить заготовку в 3-кулачковом патроне станка);
- строка 16 – если деталь в станке закреплена ($D10=1$), рука повернута против часовой стрелки на угол φ ($D11=1$), выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$), схват зажат ($D7=1, D8=0$), то выключение схвата ($Z_{CX} = 0$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 17 – если схват выключен ($D7=0, D8=1$), рука повернута против часовой стрелки на угол φ ($D11=1$), выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$) и $D10=1$, то поворот руки по часовой стрелке ($DIR1=1, RUN1=1$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 18 – если рука повернута по часовой стрелке до упора ($D2=1$), выдвинута ($D4=1$) в нижнем положении ($D5=1$) и $D10=1$, то подъем руки ($DIR3=1, RUN3=1$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 19 – если рука в верхнем положении ($D6=1$), повернута по часовой стрелке до упора ($D2=1$), выдвинута ($D4=1$) и $D10=1$, то включение тормоза ($T=1$) и задвижение руки ($DIR=0, RUN2=1$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 20 – если рука задвинута ($D3=1$) в верхнем положении ($D6=1$), повернута по часовой стрелке до упора ($D2=1$), и $D10=1$, то формирование флага $F1=1$ (начать обработку) при $Z_{\Pi} = 1$ и $T=1$; по биту $F1$ запускается таймер $T32$ на расчетное время обработки;
- строка 21 – при наличии флага $F2=1$ (обработка закончена) сброс флага $F1$ ($F1=0$) при $Z_{\Pi} = 1$ и $T=1$;
- строка 22 – контроль времени обработки, если $F1=1, F2=0$ и время таймера превышено ($T32=1$), то формирование флага $AL2=1$ (аварийная ситуация при обработке), стоп-программы;

- строка 23 – при наличии $F2=1$ и $F1=0$, $D10=1$, $D8=1$, $D6=1$, $D3=1$, $D2=1$ выдвижение руки ($DIR2=1$, $RUN2=1$) при $Z_{\Pi} = 1$ и $T=1$;
- строка 24 – при выдвижении руки ($D4=1$) и $D10=1$, $D8=1$, $D6=1$, $D2=1$ выключение тормоза $T=0$ и опускание руки ($DIR3=0$, $RUN3=1$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 25 – при опускании руки ($D5=1$), $D10=1$, $D8=1$, $D4=1$, $D2=1$ поворот руки против часовой стрелки ($DIR1=0$, $RUN1=1$) при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 26 – при повороте руки на угол ϕ ($D11=1$), $D10=1$, $D8=1$, $D5=1$, $D4=1$ включение схвата $Z_{CX} = 1$ при $Z_{\Pi} = 1$;
- строка 27 – при включении схвата ($D7=1$, $D8=0$), $D10=1$, $D5=1$, $D4=1$, $D11=1$ освобождение детали в станке ($Z_{\Pi} = 0$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 28 – при освобождении детали ($D10=0$) и $D7=1$, $D5=1$, $D4=1$, $D11=1$ поворот по часовой стрелке ($DIR1=1$, $RUN1=1$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 29 – при повороте руки по часовой стрелке в крайнее положение ($D2=1$) и $D7=1$, $D5=1$, $D4=1$ подъем руки в верхнее положение ($DIR3=1$, $RUN3=1$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 30 – при подъеме руки в верхнее положение ($D6=1$) и $D7=1$, $D4=1$, $D2=1$ включение тормоза ($T=1$) и задвижение руки ($DIR2=0$, $RUN2=1$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 31 – при задвижении руки ($D3=1$) и $D7=1$, $D6=1$, $D2=1$ поворот руки против часовой стрелки ($RUN1=1$) при $Z_{CX} = 1$ и $T=1$;
- строка 32 – при повороте руки против часовой стрелки в крайнее положение ($D1=1$) и $D7=1$, $D6=1$, $D3=1$ выключение тормоза ($T=0$) и опускание руки ($DIR3=0$, $RUN3=1$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 33 – при опускании руки в нижнее положение ($D5=1$) и $D7=1$, $D3=1$, $D1=1$ выдвижение руки ($DIR2=1$, $RUN2=1$) при $Z_{CX} = 1$;
- строка 34 – при выдвижении руки ($D4=1$) и $D7=1$, $D5=1$, $D1=1$ выключение схвата $Z_{CX} = 1$;
- строка 35 – при выключении схвата ($D7=0$, $D8=1$) и $D5=1$, $D4=1$, $D1=1$ задвижение руки ($DIR2=0$, $RUN2=1$);
- строка 36 – при задвижении руки ($D3=1$) и $D8=1$, $D5=1$, $D1=1$ выработка флага $F3=1$ (передвинуть пластины тактового стола на 1 шаг); увеличить содержимое счетчика $C32$ на 1;
- строка 37 – при передвижении пластин на 1 шаг ($F4=1$) формирование сигнала $AL1=1$ (ГПМ не готов к работе) и СТОП программы в двух случаях: при отсутствии детали на новой пластине ($D9=0$) и $D8=1$, $D5=1$, $D3=1$, $D1=1$ или если содержимое счетчика $C32$ равно 24;
- строка 38 – при передвижении пластин на 1 шаг ($F4=1$), наличии детали на новой пластине ($D9=1$) и содержимом $C32 < 24$, $D8=1$, $D5=1$, $D3=1$, $D1=1$ выдвижение руки ($DIR2=1$, $RUN2=1$), переход к новому циклу (строка 7).

Для упрощения разработки алгоритма управления обработкой детали «Червячное колесо – гайка» в ГПМ, его лучшей «читабельности» и удобства использования спроектируем алгоритмы для отдельных функций, приведенных в табл. 17 (рис. 65, 66).

В результате, алгоритм управления обработкой детали в ГПМ принимает вид, представленный на рис. 67.

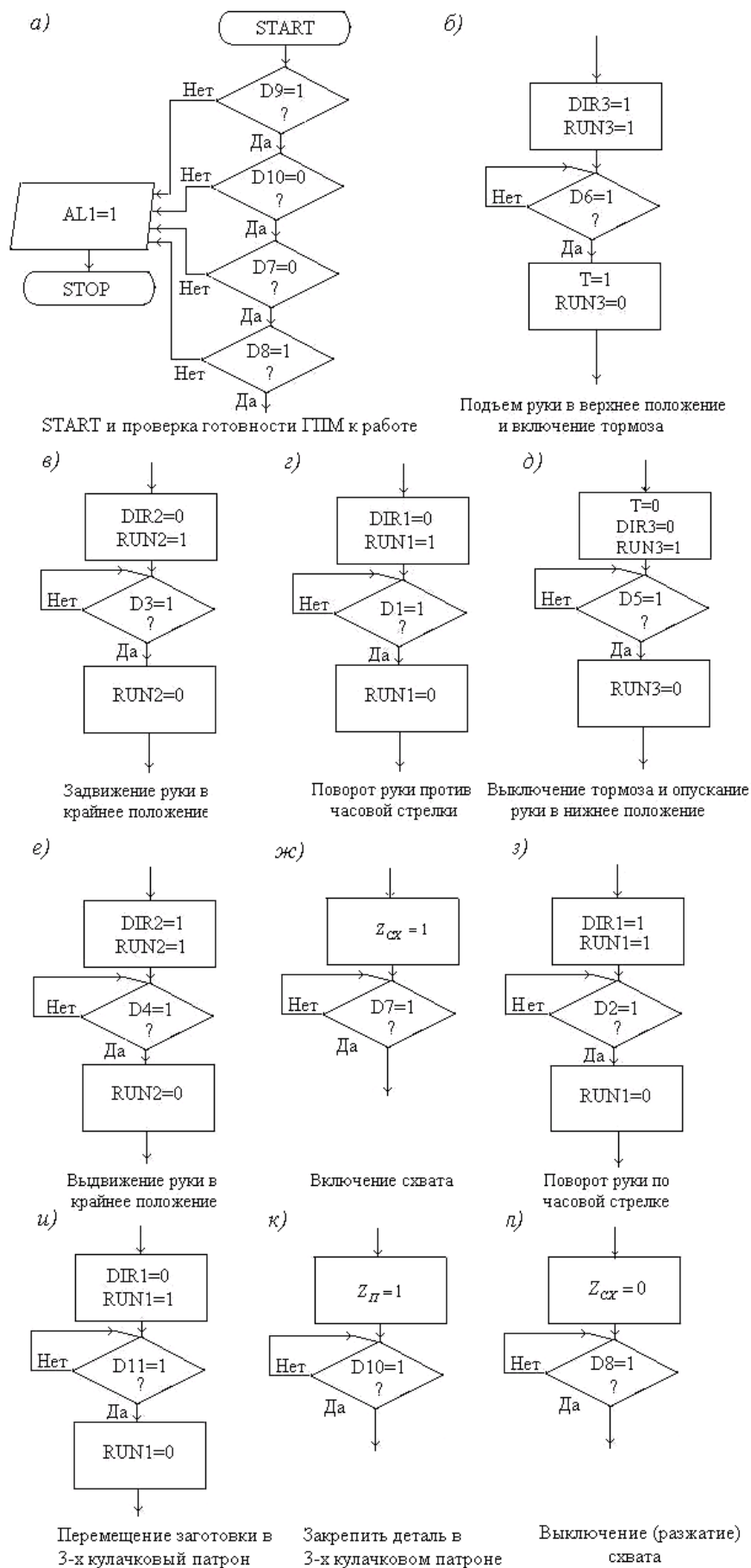


Рис. 65. Типовые алгоритмы управления обработкой заготовки в ГПМ

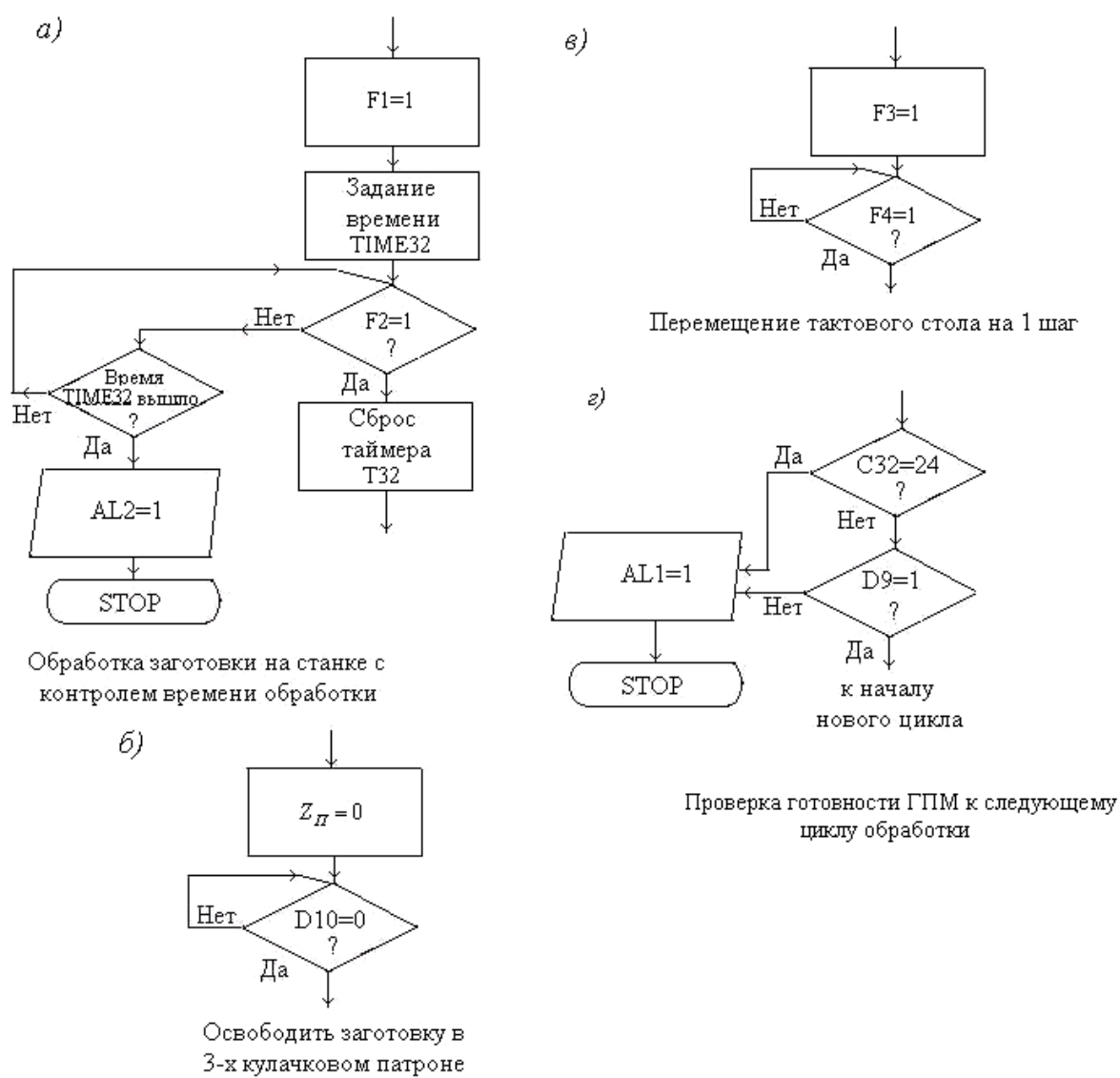


Рис. 66. Типовые алгоритмы управления обработкой заготовки в ГПМ

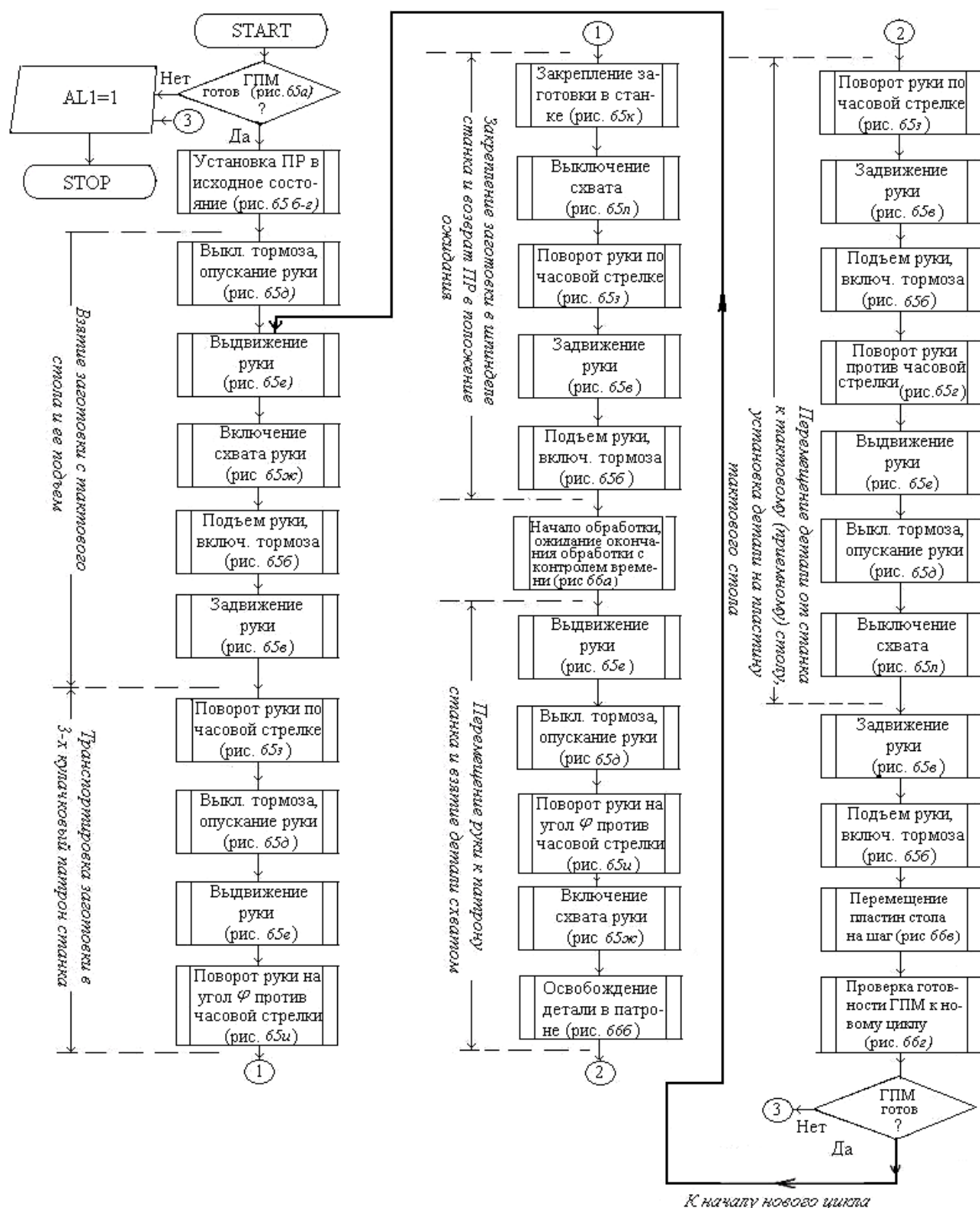


Рис. 67. Алгоритм управляющей программы для обработки детали «Червячное колесо – гайка» в ГПМ

4.1.2.4. Разработка текста программы управления ПР (вспомогательным оборудованием)

Программа для ПЛК разрабатывается в специальной среде разработки на языках промышленной автоматизации. Стандарт МЭК 61131-3 устанавливает пять языков программирования ПЛК, три графических и два текстовых [11; 39].

Основной целью стандарта было повышение скорости и качества разработки программ для ПЛК, а также создание языков программирования, ориентированных на технологов, обеспечение соответствия ПЛК идеологии открытых систем, исключение этапа дополнительного обучения при смене типа ПЛК.

Системы программирования, основанные на МЭК 61131-3, характеризуются следующими показателями:

- надежностью создаваемого программного обеспечения. Надежность обеспечивается тем, что программы для ПЛК создаются с помощью специально предназначенной для этого среды разработки, которая содержит все необходимые средства для написания, тестирования и отладки программ с помощью эмуляторов и реальных ПЛК, а также множество готовых фрагментов программного кода;
- возможностью простой модификации программы и наращивания ее функциональности;
- переносимостью проекта с одного ПЛК на другой;
- возможностью повторного использования отработанных фрагментов программы;
- простотой языка и ограничением количества его элементов.

Языки МЭК 61131-3 появились не как теоретическая разработка, а как результат анализа множества языков, уже используемых на практике и предлагаемых рынку производителями ПЛК. Стандарт устанавливает пять языков программирования со следующими названиями:

- структурированный текст (*ST – Structured Text*);
- последовательные функциональные схемы (*SFC – Sequential Function Chart*);
- диаграммы функциональных блоков (*FBD – Function Block Diagram*);
- релейно-контактные схемы, или релейные диаграммы (*LD – Ladder Diagram*);
- список инструкций (*IL – Instruction List*).

Графическими языками являются *SFC*, *FBD*, *LD*. Языки *IL* и *ST* являются текстовыми.

В стандарт были введены несколько языков (а не один) для того, чтобы каждый пользователь мог применить наиболее понятный ему язык. Программисты чаще выбирают язык *IL*, похожий на ассемблер, или *ST*, похожий на язык высокого уровня Паскаль; специалисты, имеющие опыт работы с релейной логикой, выбирают язык *LD*, специалисты по системам автоматического управления (САУ) и схемотехники выбирают привычный для них язык *FBD*.

Выбор одного из пяти языков определяется не только предпочтениями пользователя, но и смыслом решаемой задачи. Если исходная задача формулируется в терминах последовательной обработки и передачи сигналов, то для нее проще и нагляднее использовать язык *FBD*. Если задача описывается как последовательность срабатываний некоторых ключей и реле, то для нее нагляднее всего будет язык *LD*. Для задач, которые изначально формулируются в виде сложного разветвленного алгоритма, удобнее будет язык *ST*.

Языки МЭК 61131-3 базируются на следующих принципах:

- вся программа разбивается на множество функциональных элементов – *Program Organization Units (POU)*, каждый из которых может состоять из функций, функциональных блоков и программ. Любой элемент МЭК-программы может быть сконструирован иерархически из более простых элементов;
- стандарт требует строгой типизации данных. Указание типов данных позволяет легко обнаруживать большинство ошибок в программе до ее исполнения;
- имеются средства для исполнения разных фрагментов программы в разное время, с разной скоростью, а также параллельно. Например, один фрагмент программы может сканировать концевой датчик с частотой 100 раз в секунду, в то время как второй фрагмент будет сканировать датчик температуры с частотой один раз в 10 сек;
- для выполнения операций в определенной последовательности, которая задается моментами времени или событиями, используется специальный язык последовательных функциональных схем (*SFC*);
- стандарт поддерживает структуры для описания разнородных данных. Например, температуру подшипников насоса, давление и состояние «включено-выключено» можно описать с помощью единой структуры “*Pomp*” и передавать ее внутри программы как единый элемент данных;
- стандарт обеспечивает совместное использование всех пяти языков, поэтому для каждого фрагмента задачи может быть выбран любой, наиболее удобный, язык;
- программа, написанная для одного контроллера, может быть перенесена на любой контроллер, совместимый со стандартом МЭК 61131-3.

Любой ПЛК работает в циклическом режиме. Цикл начинается со сбора данных с модулей ввода, затем выполняется программа ПЛК и оканчивается цикл выводом данных в устройства вывода. Поэтому величина контроллерного цикла зависит от времени исполнения программы и быстродействия процессорного модуля.

Программирование ПЛК выполняется с помощью персонального компьютера, на котором устанавливается специальное программное обеспечение, например, *CoDeSys* или *ISaGRAF* [11].

В соответствии с таблицей соответствия между входами и выходами ПЛК (см. табл. 17) и алгоритмом управляющей программы для обработки детали «Червячное колесо – гайка» в ГПМ (см. рис. 65–67) разработан текст программы управления на языках *LD* и *STL* (фрагменты представлены в Приложениях В и Г соответственно).

4.2. Модернизация систем ЧПУ станков на базе оборудования компании *Siemens*

Выбор данного направления курсового проектирования обусловлен актуальностью задачи модернизации систем ЧПУ отечественных металлорежущих станков в современных условиях [19; 21; 50]. Для получения наибольшей эффективности проведение такой модернизации должно осуществляться с учетом новейших разработок ведущих зарубежных фирм. Поэтому студенты направления «Автоматизация технологических процессов и производств» должны иметь навыки использования лучших образцов систем ЧПУ при модернизации управления отечественными металлорежущими станками. При курсовом проектировании в соответствии с техническим заданием модернизация систем ЧПУ отечественных металлорежущих станков осуществляется на базе оборудования компании *Siemens*.

4.2.1. Исходные данные и порядок изложения материала в курсовом проекте

Исходными данными для модернизации систем ЧПУ станков на базе оборудования компании *Siemens* являются:

- 1) выходные данные курсового проекта по дисциплине «Технологические процессы автоматизированных производств»:
 - технологический процесс изготовления детали с расчётом параметров заготовки, режимов резания и штучного времени операции, выбором инструмента; разработкой маршрутного и операционного технологического процесса изготовления детали;
 - тип металлообрабатывающего станка и его технические характеристики с указанием параметров приводов основных движений и вспомогательных операций;
- 2) выходные данные курсового проекта по дисциплине «Технические средства автоматизации»:
 - тип промышленного робота и его технические характеристики;
 - компоновочная схема РТК на базе заданных металлообрабатывающего станка и промышленного робота;
- 3) программируемый логический контроллер (ПЛК) компании *Siemens* для управления вспомогательными операциями. Его тип выбирается в процессе проектирования системы управления вспомогательным оборудованием после определения числа и типов входных и выходных сигналов ПЛК, требуемых функций ПЛК, его объема памяти, типов и количества портов.

Предлагается следующий порядок изложения материала в курсовом проекте по модернизации системы ЧПУ станком на базе оборудования компании *Siemens*:

Введение.

1. Анализ исходных данных для курсового проектирования.
2. Задание на модернизацию системы ЧПУ станком на базе оборудования компании *Siemens*.
3. Выбор управляющих и исполнительных устройств компании *Siemens*.
4. Разработка структуры системы управления РТК.
5. Разработка алгоритма управления вспомогательной операцией на станке с ЧПУ (например, устройством автоматической смены инструмента).
6. Разработка текста программы управления вспомогательной операцией на станке с ЧПУ.
7. Разработка программы управления обработкой детали на станке с ЧПУ.

Заключение.

Библиографический список.

Приложения.

4.2.2. Модернизация системы ЧПУ многоцелевого станка ИРТ180ПМФ4 и системы управления сменой инструмента и инструментальных барабанов

В качестве примера рассмотрим модернизацию системы ЧПУ многоцелевого станка ИРТ180ПМФ4 и системы управления сменой инструмента в инструментальном барабане и устройством смены инструментальных барабанов во время комплексной обработки на нем детали «Крышка корпуса левая».

4.2.2.1. Анализ исходных данных

Чертежи заготовки и детали «Крышка корпуса левая» представлены в Приложении Д на рис. Д.1. Масса детали составляет 3,97 кг.

По результатам разработки технологического процесса изготовления детали «Крышка корпуса левая» для обработки заготовки был выбран РТК на базе многоцелевого станка типа ИРТ180ПМФ4.

Модуль ИРТ180ПМФ4 входит в состав робототехнического комплекса и представляет собой многоцелевой токарно-фрезерно-сверлильно-расточной станок с ЧПУ, предназначенный для комплексной патронной обработки особо сложных изделий из черных и цветных металлов за один установ в условиях гибкого автоматизированного производства. На станке можно выполнять операции точения, фрезерования плоскостей, криволинейных поверхностей и пазов сложной формы, сверления и растачивания отверстий на наружной цилиндрической и торцевой плоскостях, нарезание резьбы резцами и метчиками.

Станок оснащен двумя инструментальными барабанами, насчитывающими по двенадцать позиций каждый, с возможностью установки в них токарного, фрезерного, сверлильного, расточного и резьбонарезного инструментов. Помимо этого в станок ИРТ180ПМФ4 входит устройство смены инструментальных барабанов.

В РТК также входит промышленный робот М10П62.01 и тактовый стол СТ220.

Поскольку РТК оснащен большим количеством вспомогательного оборудования и требования к точности обработки достаточно высоки, то используется разграничение функций управления основным и вспомогательным оборудованием. Устройство ЧПУ отвечает за процессы, влияющие на качество обрабатываемого изделия, т.е. за управление главным движением и движением подачи, а ПЛК производит управление вспомогательным оборудованием, к которому относятся привод смены инструмента в инструментальном барабане, устройство смены инструментальных барабанов, промышленный робот и тактовый стол.

Станок ИРТ180ПМФ4 и его характеристики

Компоновочная схема РТК типа «Модуль ИРТ180ПМФ4» [35] приведена на рис. 68.

Станок имеет прямолинейную станину 1, на которой жестко закреплена шпиндельная коробка 2. По стальным закаленным направляющим параллельно оси шпинделя (ось Z) перемещаются сани 3, на которых установлен поперечно-подвижный (ось X) ползун 4. Совместно сани и ползун образуют двухкоординатный суппорт станка, на котором монтируется 12-позиционная револьверная головка 5 с горизонтальной осью вращения. На ползуне имеется дополнительный привод вращения сверлильно-фрезерных инструментальных блоков 6.

Шпиндельная коробка помимо привода главного движения, обеспечивающего возможность токарной обработки, имеет привод круговой подачи и точного позиционирования шпинделя 7 по координате C. Трехкулачковый самоцентрирующий патрон 8 с быстросменными комплектами кулачков обеспечивают быструю переналадку станка.

Станок имеет герметичное ограждение 9 рабочей зоны, позволяющее вести обработку с обильной подачей СОЖ (до 100 л/мин). Уборка стружки осуществляется автоматически конвейером 10, расположенным непосредственно под зоной резания.

Автоматическая смена обрабатываемых заготовок выполняется промышленным роботом 11 типа М10П62.01, встроенным в станок; ПР осуществляет снятие заготовки с тактового стола-накопителя 12 и установку ее в патрон станка, а также снятие обработанной на станке детали и укладку ее в тару на столе. Загрузка и разгрузка тактового стола может выполняться автоматически во время работы станка.

Станок оснащается отдельно стоящим устройством 13 для автоматической смены инструментальных барабанов на револьверной головке. Сменные барабаны предварительно устанавливаются в накопителе 14, в котором возможно выполнить их переналадку во время работы станка. Автоматическая размерная настройка инструментов осуществляется непосредственно на станке с помощью измерительной контактной головки 15, которая во время обработки убирается в кожух.

Для автоматического контроля размеров заготовки и обработанной на станке детали в инструментальном барабане дополнительно устанавливается контактная измерительная головка. Система автома-

тического измерения заготовок и деталей позволяет вводить необходимую коррекцию в управляющую программу для обеспечения заданного качества обработки.

Пульт 16 устройства ЧПУ устанавливается на кронштейне 17 у передней стенки станка.

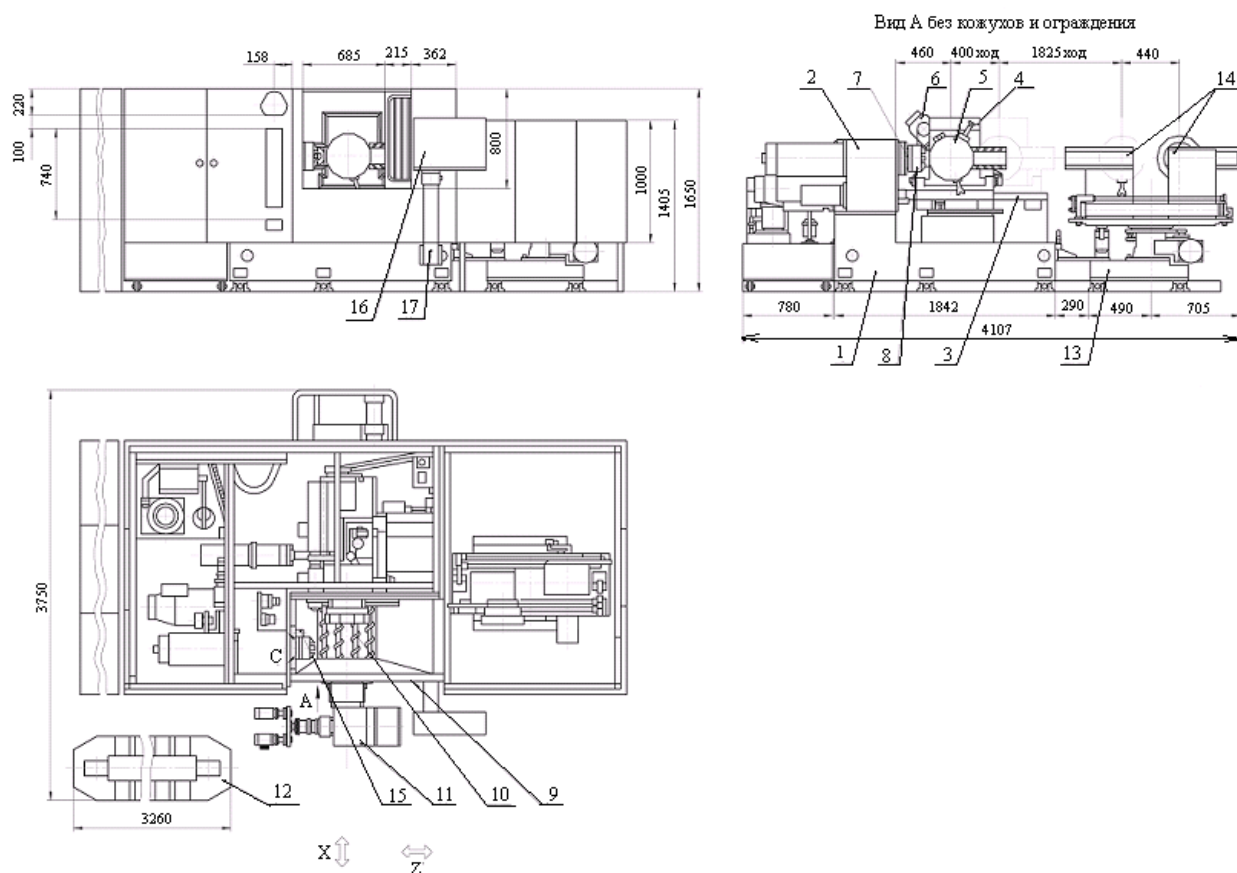


Рис. 68. Компоновочная схема РТК на базе многоцелевого станка ИРТ180ПМФ4

Технические характеристики станка ИРТ180ПМФ4

1. Наибольшие размеры обрабатываемой детали, мм	
диаметр	200
длина	165
2. Наибольший диаметр прутка, проходящего через отверстие в шпинделе, мм	50
3. Число индексируемых позиций револьверной головки, шт	12
4. Число инструментальных гнезд, шт.	2×12
5. Число управляемых осей координат (в том числе, одновременно), шт.	3 (2)
6. Наибольшее перемещение подвижных узлов, мм	
ползуна (поперечное X)	245
саней (продольное Z)	400
7. Дискретность перемещений	
линейных (X и Z), мм	0,001
угловых (C), угл. мин.	0,001
8. Точность позиционирования, мкм	
по X	16
по Z	20
9. Частота вращения шпинделя, об/мин. 20–4000	
10. Рабочие скорости	
по X и Z, мм/мин.	1–5000
по C, об/мин.	0,01–16
11. Установочные перемещения	
по X, мм/мин.	10
по Z, мм/мин.	15

по C , об/мин.	16
12. Частота вращения приводного вала инструмента, об/мин.	40–4000
13. Наибольшие усилия резания по X и Z , кН	4,6
14. Наибольший крутящий момент на шпинделе, Нм	630
15. Мощность привода главного движения, кВт	18,5–25
16. Мощность приводного вала инструмента, кВт	35–55
17. Масса станка (с дополнительным оборудованием), кг	3000

Принцип работы механизмов станка в составе РТК поясняет его кинематическая схема (рис. 69).

Главное движение осуществляется электродвигателем M_1 , крутящий момент от вала которого передается к шпинделю через двухступенчатую коробку скоростей и зубчато-ременную передачу.

Движения подачи по координатным осям X , Z осуществляются поперечно-подвижным суппортом с приводом от высокомоментных электродвигателей M_X и M_Z через зубчатые ремни.

Позиционирование шпинделя по угловой координате C с высокой точностью и дискретностью $0,001^\circ$ осуществляется высокомоментным электродвигателем M_C через редуктор и зубчатые передачи.

Разжим и зажим патрона осуществляется с помощью пневмоцилиндра. При этом происходит линейное перемещение штока пневмоцилиндра, который ввинчен в муфту трехкулачкового патрона.

Крутящий момент инструментальному шпинделю с вращающимся инструментом передается от электродвигателя M_2 через зубчатый ремень, приводной вал и зубчатую муфту.

Отжим, зажим и поворот револьверной головки выполняется высокомоментным электродвигателем M_3 , соединенным с червяком редуктора через зубчатый ремень. С червячным колесом жестко связана гайка винта, при помощи которой производится отжим и зажим револьверной головки со сменным инструментальным барабаном.

Смена инструментальных барабанов осуществляется пневмоцилиндрами, а поворот платформы устройства смены барабанов – высокомоментным электродвигателем M_4 через редуктор и дополнительную зубчатую передачу.

Поперечно-подвижный суппорт выполняет движение подачи ползуна 1 по оси X вместе с револьверной головкой, на которую устанавливается сменный инструментальный барабан (рис. 70а, б). Электродвигатель 2 обеспечивает вращение инструмента, установленного в барабане.

Электродвигатель 3 привода подачи ползуна смонтирован на кронштейне 4. Регулировка натяжения зубчатого ремня 5 осуществляется винтами 6, перемещающими кронштейн 4, который крепится к заднему торцу продольно-подвижных саней 7.

Ходовой винт 8 привода подачи ползуна, соединенный с двигателем ремнем 5, устанавливается в корпусе 9 на радиально-упорном роликовом подшипнике 10, который затягивается гайкой. Второй опорой винта является шариковая гайка 11, смонтированная в гильзе 12. Гильза фланцем крепится к корпусу ползуна 1. Для увеличения жесткости пара винт-гайка качения выполнена с предварительным натягом.

Контроль перемещения ползуна осуществляется оптическим линейным датчиком.

Револьверная головка, размещенная в корпусе ползуна 1, служит для закрепления сменного инструментального барабана, его поворота и фиксации в заданной позиции. Инструментальный барабан базируется посредством двух пальцев 13, а затем прижимается пакетом тарельчатых пружин 17 и планшайбой 15, установленной на оси 16, к полумуфте 14.

Разжим револьверной головки осуществляется приводом с высокомоментным электродвигателем, установленным вертикально в корпусе 1. Двигатель через зубчатый ремень 18 и шкив 19 соединен с червяком 20, находящимся в зацеплении с червячным колесом 21. При вращении червячного колеса с внутренней резьбовой нарезкой винт 22 вывинчивается вместе с полумуфтой 14, осью 16, планшайбой 15 и инструментальным барабаном, расцепляя зубчатые полумуфты 14 и 23. Винт вывинчивается на 12 мм, что соответствует повороту червячного колеса 21 на 90° . До достижения этого положения фиксатор 24 упирается в торец фланца 25 и не может выйти из зацепления с храповой муфтой 26, исключая поворот винта 22.

Контроль разжима револьверной головки выполняется конечным выключателем командоаппарата 27. Для плавного торможения головки при разжиге электродвигатель переключается на малую скорость по команде конечного выключателя.

Поворот револьверной головки происходит после разжиге при дальнейшем вращении червячного колеса 21 совместно с винтом 22, зуб на торце которого упирается в выступ на фланце 25. Фиксатор 24 при этом имеет возможность выйти из зацепления с храповой муфтой 26, в которую он утапливается.

Счет позиций револьверной головки при повороте осуществляется устройством с ЧПУ по сигналам, поступающим от конечного выключателя командоаппарата 27. Необходимый угол поворота головки определяется как разность между номером заданной позиции и значением числа в счетчике, характеризующим ее текущее положение. В исходном положении головки, которая находится между 1-й и 12-й позициями, счетчик устанавливается на ноль.

Зажим револьверной головки осуществляется после достижения ею заданной позиции за счет реверсирования электродвигателя. Храповая муфта 26 при этом вновь фиксирует винт 22 от поворота. При изменении направления вращения червячного колеса 21 винт ввертывается, вводя в зацепление полумуфты 14 и 23. По сигналу конечного выключателя частота вращения вала двигателя уменьшается. При неподвижном червяке 20 и вращающемся вале двигателя ремень 18 натягивается и через рычаг воздействует на конечный выключатель, который подает команду на останов двигателя (на рис. 70б рычаг и конечный выключатель не показаны). Тем самым обеспечивая прижим полумуфт 14 и 23 с постоянным усилием.

Смена инструментальных барабанов происходит автоматически в исходном положении револьверной головки; при этом палец 28 располагается против упора 29. В этом положении при зажиме полумуфт 14 и 23 планшайба 15 остается неподвижной, а пакет тарельчатых пружин 17 сжимается. По команде конечного выключателя электродвигатель привода револьверной головки отключается.

Перемещение полумуфты 14 при неподвижной планшайбе 15 приводит к отводу инструментального барабана от пальцев 13, что обеспечивает возможность его смены за счет перемещения по направляющим 30 [58].

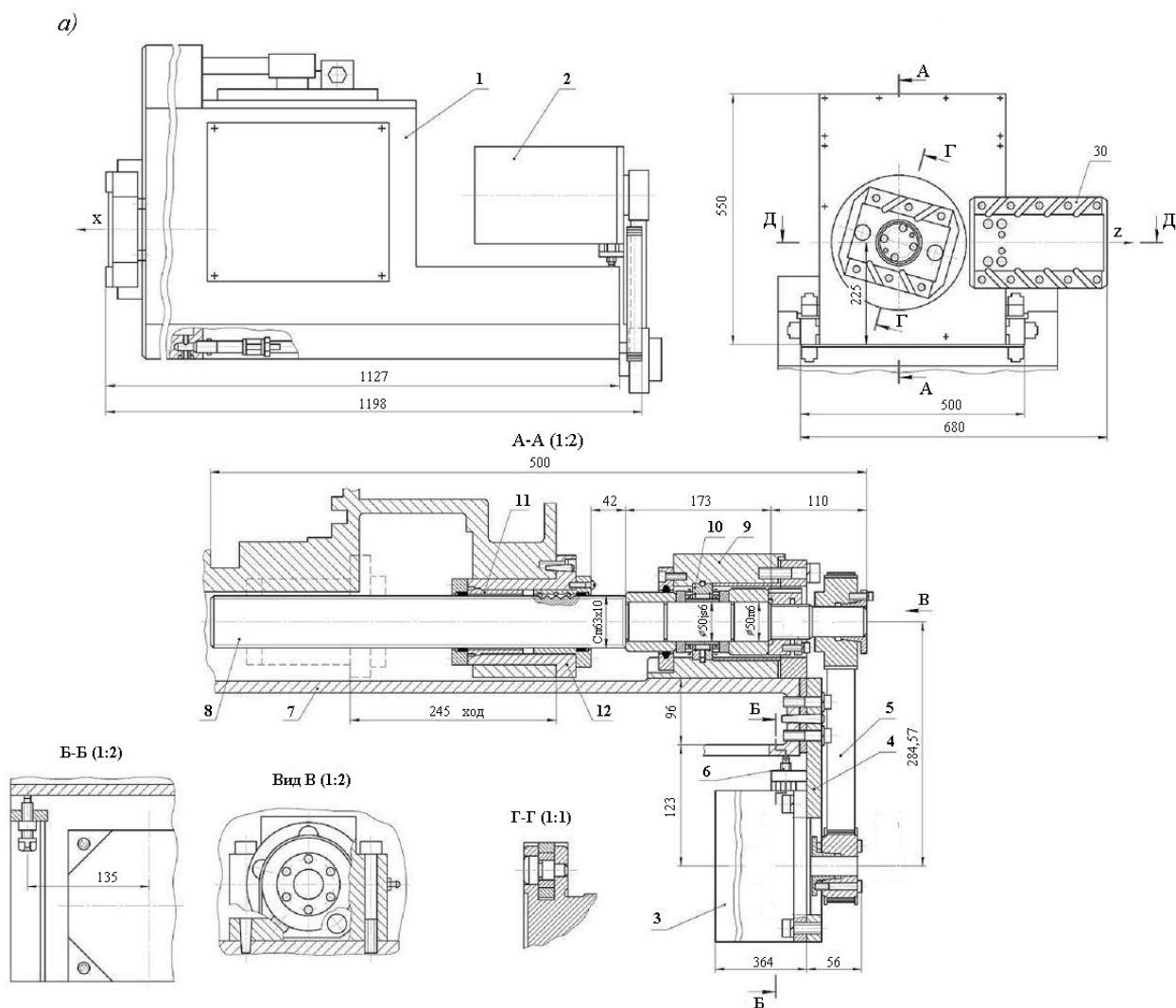


Рис. 70а. Общий вид механизма поперечно-подвижного суппорта и револьверной головки станка ИРТ180ПМФ4

б)

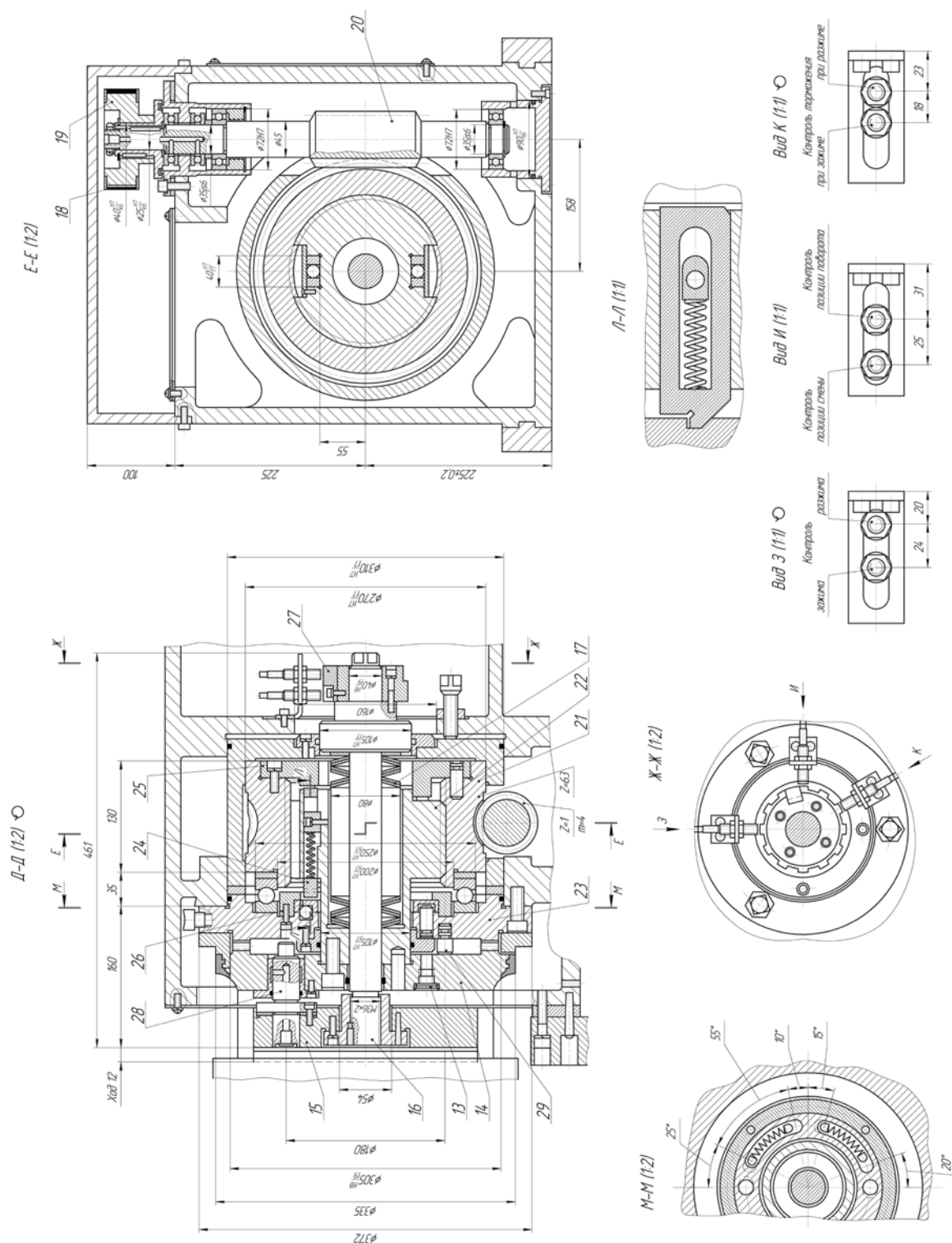


Рис. 70б. Разрезы механизма поперечно-подвижного суппорта и револьверной головки станка ИРТ180ПМФ4

Технические характеристики ИРТ180ПМФ4:

1. Число фиксированных положений планшайбы – 12.
2. Число фиксированных положений планшайбы для смены инструментального барабана – 1.
3. Время позиционирования из позиции 1 в позицию 13 – 3 с.
4. Время позиционирования в соседнюю позицию – 1,8 с.
5. Точность позиционирования планшайбы – 3 угл. мин.

6. Торцевое биение планшайбы относительно оси вращения револьверной головки – не более 0,005 мм.
7. Перемещение револьверной головки по оси Z в точке под воздействием нагрузки $P_Z = 6\text{ кН}$ – не более 30 мкм.
8. Перемещение револьверной головки по оси X в точке под воздействием нагрузки $P_X = 9\text{ кН}$ – не более 45 мкм.

Характеристики вспомогательного оборудования РТК

В качестве загрузочного и разгрузочного устройств выбраны тактовые столы типа СТ 220 (параграф 2.2, рис. 36, табл. 9).

Специализированный ПР типа М10П.62.01 [33] предназначен для обслуживания металлорежущих станков. Особенностью ПР данного типа является обеспечение движений рабочего органа (схвата) манипулятора в сферической системе координат, а также конструктивное встраивание непосредственно в обслуживаемое технологическое оборудование. ПЛК обеспечивает позиционирование рабочего органа манипулятора по шести координатным осям (рис. 71), две из которых являются общими для механизмов с четырьмя степенями подвижности:

- поворот руки в вертикальной плоскости B ;
- вертикальное линейное перемещение Z ;
- горизонтальное линейное перемещение X ;
- поворот в вертикальной плоскости A ;
- поворот в горизонтальной плоскости C ;
- поворот кисти относительно продольной оси α .

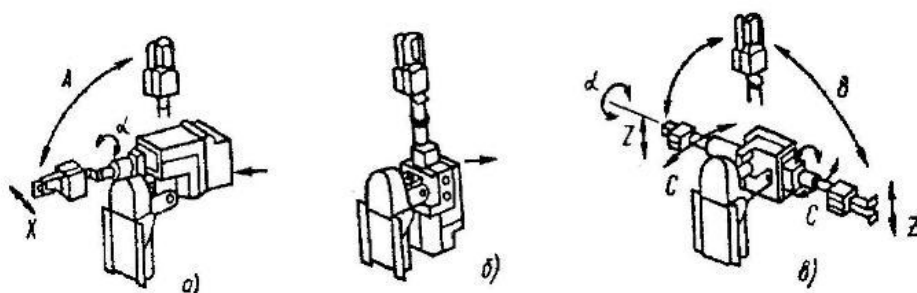


Рис. 71. Координаты перемещения захвата робота М10П.62.01: a – движение руки вперед и вниз; $б$ – центральное положение; $в$ – движение руки вниз и в сторону

Характеристики промышленного робота М10П.62.01:

1. Номинальная грузоподъемность при установке схвата, кг:
 - одинарного 10
 - двойного 2×5
2. Число степеней подвижности (управляемых координатных движений) 4–6
3. Максимальные линейные перемещения X или Z , мм. 150
4. Максимальные угловые перемещения, град:
 - A 90
 - B 120
 - C 180
 - α 270
5. Диапазон скоростей угловых перемещений, град/с:
 - A, B и C 1,36–120
 - α 90
6. Диапазон скоростей линейных перемещений X или Z , м/с 0,008–0,5
7. Максимальная абсолютная погрешность позиционирования, мм 0,5
8. Наибольший вылет руки, мм 630
9. Усилие захватывания, Н 360–500
10. Диапазон размеров загружаемых деталей, мм:
 - по нагруженному диаметру 20–150
 - по внутреннему диаметру 38–168
11. Масса, кг 110

Поскольку РТК оснащен большим количеством вспомогательного оборудования и требования к точности обработки достаточно высоки, то используется разграничение функций управления основным и вспомогательным оборудованием. В таком случае ЧПУ отвечает за процессы, влияющие на качество обрабатываемого изделия, т.е. за управление главным движением и движением подачи, а ПЛК производит управление вспомогательным оборудованием, к которому относятся привод смены инструмента в инструментальном барабане, устройство смены инструментальных барабанов, промышленный робот и тактовый стол.

4.2.2.2. Задание на модернизацию системы ЧПУ на базе оборудования компании SIMENS

Для того чтобы обеспечить обработку изделий с большей точностью, а также упростить процесс управления выбранным оборудованием, производится замена существующих управляющих и исполнительных устройств. Для наилучшего взаимодействия система разрабатывается из компонентов, производимых одной компанией – *Siemens*. Интерфейс разрабатывается с помощью программы-конфигуратора *NCSD configurator* [56] (параграф 1.3.7), рекомендуемой компанией, что облегчает подбор оборудования и позволяет сформировать заказной номер для обращения к дистрибьютору.

В соответствии с техническим заданием на курсовое проектирование требуется произвести выбор следующего оборудования компании *Siemens* по заданным исходным данным:

- 1) двигатели основных движений станка (главного и подачи) и управляющие ими силовые модули;
- 2) устройство ЧПУ станком;
- 3) пульт управления (оператора);
- 4) модули управления вспомогательными операциями (электроавтоматикой) станка;
- 5) тип ПЛК для управления вспомогательным оборудованием РТК.

В приводах основных движений двигатели, как правило, работают в режиме *S1* с переменной нагрузкой в интервалах времени t_i [16]. При этом продолжительность каждого из интервалов $t_1 \div t_5$ столь велика (рис. 72), что превышения температуры всех частей двигателя достигают установившегося значения $\tau_{уст}$. Признаком режима *S1* является выполнение условия $t_i \geq 3T_n$, где T_n – постоянная времени нагрева двигателя. Продолжительность паузы роли не играет. В режиме *S1* с переменной нагрузкой выполняются условия $t_p \ll t_i$ и $t_m \ll t_i$, где t_p , t_m – времена разгона и торможения двигателя соответственно. При проверке по нагреву двигателя потери в переходных режимах не учитываются. На отдельных интервалах, например t_4 на рис. 66, мощность резания P_4 может превышать номинальную $P_{ном}$ мощность двигателя. Поэтому при выборе двигателя должно соблюдаться условие $P_{ном} = (1.1 \div 1.3)P_{cp}$, где

$$P_{cp} = \sum_{i=1}^k P_i t_i / \sum_{i=1}^k t_i - \text{средняя за цикл мощность двигателя. При } P_4 > P_{ном} \text{ необходима проверка двигателя}$$

на нагрев. Порядок выбора двигателя с примерами изложен в учебном пособии [16].

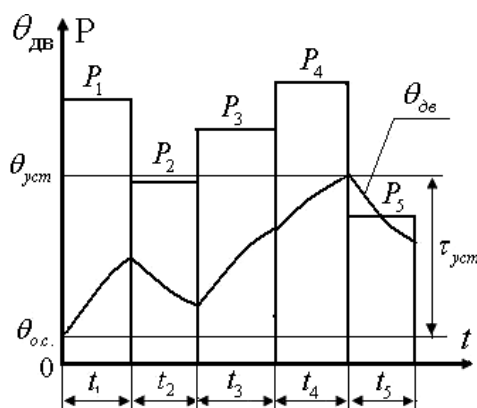


Рис. 72. Нагрузочная диаграмма двигателя, работающего в режиме *S1* с переменной нагрузкой:

P – мощность резания; t – время; $P_1, \dots, P_5$ – мощность резания в интервалах времени $t_1, \dots, t_5$; $\theta_{дв}$ – температура двигателя; $\theta_{о.с.}$ – температура окружающей среды; $\theta_{уст}$ – установившаяся температура; $\tau_{уст}$ – установившийся перегрев

При использовании для выбора двигателей основных движений программы-конфигуратора *NCSD configurator* исходными данными являются (значения указаны для приводов рассматриваемого в примере станка ИРТ180ПМФ4):

1.1. Двигатели приводов главного движения:

- двигатель M_1 :

- номинальная мощность – 22 кВт;
- номинальная частота вращения – 1500 об/мин.;
- номинальный момент – 134 Нм;
- двигатель M_2 :
 - номинальная мощность – 3,7 кВт;
 - номинальная частота вращения – 1500 об/мин.;
 - номинальный момент – 23,5 Нм.

1.2. Двигатели приводов подач:

- двигатель M_Z привода подач по оси Z:
 - номинальная мощность – 5,2 кВт;
 - номинальная частота вращения – 2000 об/мин.;
 - номинальный момент – 25 Нм;
- двигатель M_X привода подачи по оси X:
 - номинальная мощность – 1,98 кВт;
 - номинальная частота вращения – 2000 об/мин.;
 - номинальный момент – 9,5 Нм.

Силовые модули для управления выбранными двигателями приводов основных движений станка выбираются по программе-конфигуратор *NCSD configurator* [56].

По этой же программе для рассматриваемого примера рекомендовано выбрать устройство ЧПУ *SINUMERIK 840D*, которое является распространенным базовым модульным УЧПУ для широкого круга сложных станков и технологических задач.

Пульт управления (оператора) выбирается по наиболее существенным для каждого конкретного случая требованиям, например по максимальному разрешению.

При выборе модулей управления вспомогательными операциями (электроавтоматикой) станка задаются: число каналов входа, значения напряжений и токов входных сигналов, число каналов выхода, значения напряжений и токов выходных сигналов. Для рассматриваемого примера (РТК на базе модуля ИРТ180ПМФ4): число каналов входа – 6, амплитуда напряжений – 24 В, сила тока – 2 А, число каналов выхода – 7, амплитуда напряжений – 24 В, сила тока – 2 А.

Тип ПЛК для управления вспомогательным оборудованием выбирается для заданного РТК по числу и типам входных и выходных сигналов, используемым функциям, коммуникационным портам, требуемым объемам памяти. Тип ПЛК уточняется после разработки алгоритма управления автоматизируемой вспомогательной операцией.

4.2.2.3. Выбор управляющих и исполнительных устройств компании *Siemens*

На основе задания на модернизацию системы ЧПУ с использованием программы *NCSD configurator* разработана конфигурация системы ЧПУ на базе оборудования компании *Siemens*.

Выбор оборудования выполнен в следующем порядке.

1. Определено дерево конфигурации компонентов системы управления (рис. 14).
2. Определены характеристики выбранных двигателей (рис. 73).

Серводвигат	Тип двигателя	Частота f	T	IO	Модуль	M0	Pcalc	n/nN	PeI	GLZ
Mot03	1FT6064-6AC71-3SG0	2000	100 K	4,2	5/10 A	9,5	1,99	0,6	1,19	-
Mot04	1FK7101-5AC71-1SG0	2000	100 K	9,6	18/36 A	27	5,65	0,6	3,39	-

Двиг. ГД	Тип двигателя	Частота f	S1 / S6	ВВОД	Модуль	PN	КПД	PeI
Mot01	1PM6138-2LF81-1AR1	1500	S1	58	60/80/102 A	22	0,9	24,4
Mot02	1PM6101-2LF81-1AR1	1500	S1	13	24/32/32 A	3,7	0,81	4,55

Рис. 73. Характеристики выбранных двигателей

3. Получена информация о двигателях (рис. 74), указан заказной номер, сформированный конфигуратором для возможного обращения к дистрибьютору компании.

Двигатель	Заказной номер.	Описание
Mot01	1PM6138-2LF81-1AR1	
Mot02	1PM6101-2LF81-1AR1	
Mot03	1FT6064-6AC71-3SG0	
Mot04	1FK7101-5AC71-1SG0	

Рис. 74. Информация о двигателях для дистрибьютора компании

4. Определена мощность внутреннего контура (рис. 75).

зигател	Тип двигателя	Стандартное приложение				
		Pcalc [кВт]	n/nN	PeI [кВт]	Сумма PeI [кВт]	
Диапазон II для Pcalc от 1,8 кВт до 8,8 кВт						
Mot03	1FT6064-6AC71-3SG0	1,99	0,6	1,19	Сумма:	
Mot04	1FK7101-5AC71-1SG0	5,65	0,6	3,39		
GLZ-Faktor (Standard): 0,63 x Сумма PeI + 10 % =				3,18		3,18
зигател	Тип двигателя	PN [кВт]	КПД	PeI [кВт]	Основ. нагр.:	
Двигатели с рабочим циклом S1						
Mot01	1PM6138-2LF81-1AR1	22	0,9	24,4		
Mot02	1PM6101-2LF81-1AR1	3,7	0,81	4,55		
GLZ-Faktor (Standard): 1 x Сумма PeI + 10 % =				31,9	35,1	

Рис. 75. Мощность внутреннего контура

5. Определены оценочные коэффициенты и емкость внутреннего контура (рис. 76).

Тип модуля	Электр. диапазон			Диапазон регулир.			Емкость ВК		P _v [Вт]
	Иакс	Треб.	Эстатог	Иакс	Треб.	Эстатог	начени	Заряд.	
Модуль питания/рекуп	8	0,5	7,5	17	0,5	16,5	0	990	са. 925 Вт ¹⁾
SINUMERIK 840D		1	6,5		3,8	12,7	0	0	са. 20 Вт
1-осевой модуль прив		1	5,5		1,85	10,85	990	990	са. 685 Вт
1-осевой модуль прив		1	4,5		1,85	9	330	330	са. 260 Вт
1-осевой модуль прив		1,1	3,4		2,3	6,7	330	330	са. 190 Вт
1-осевой модуль прив		1,1	2,3		2,3	4,4	75	75	са. 50 Вт
Эффективная емкость внутреннего контура при рекуперации:							1725	2715	са. 2130 Вт
Емкость ВК (макс. 20000 µF):									
Потери мощности для компонентов шкафа [Вт]									

Рис. 76. Оценочные коэффициенты и емкость внутреннего контура

6. Для управления двигателями выбраны модули *SIMODRIVE* 611 (рис. 77). В составе данной конструкции, выполненной в виде каркаса, находятся силовые модули, к которым подключаются выбранные двигатели, интерфейсный модуль *RS-485* для связи с ЧПУ и карта памяти для контроля сигналов со встроенных в двигатель датчиков. Конструкция модулей *SINUMERIK 840D*, панели оператора, модулей ввода/вывода и их габаритные размеры показаны на рис. 78.

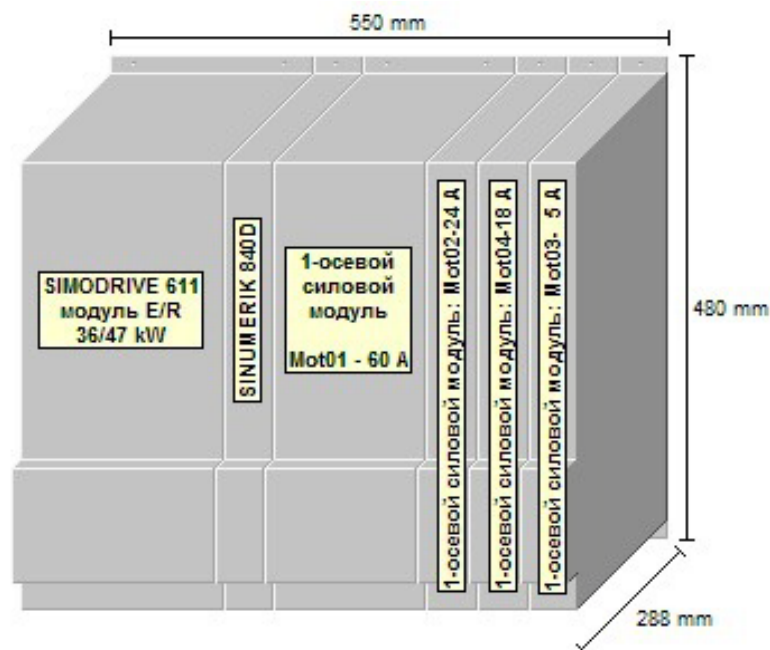


Рис. 77. Конструкция модулей *SIMODRIVE 611*

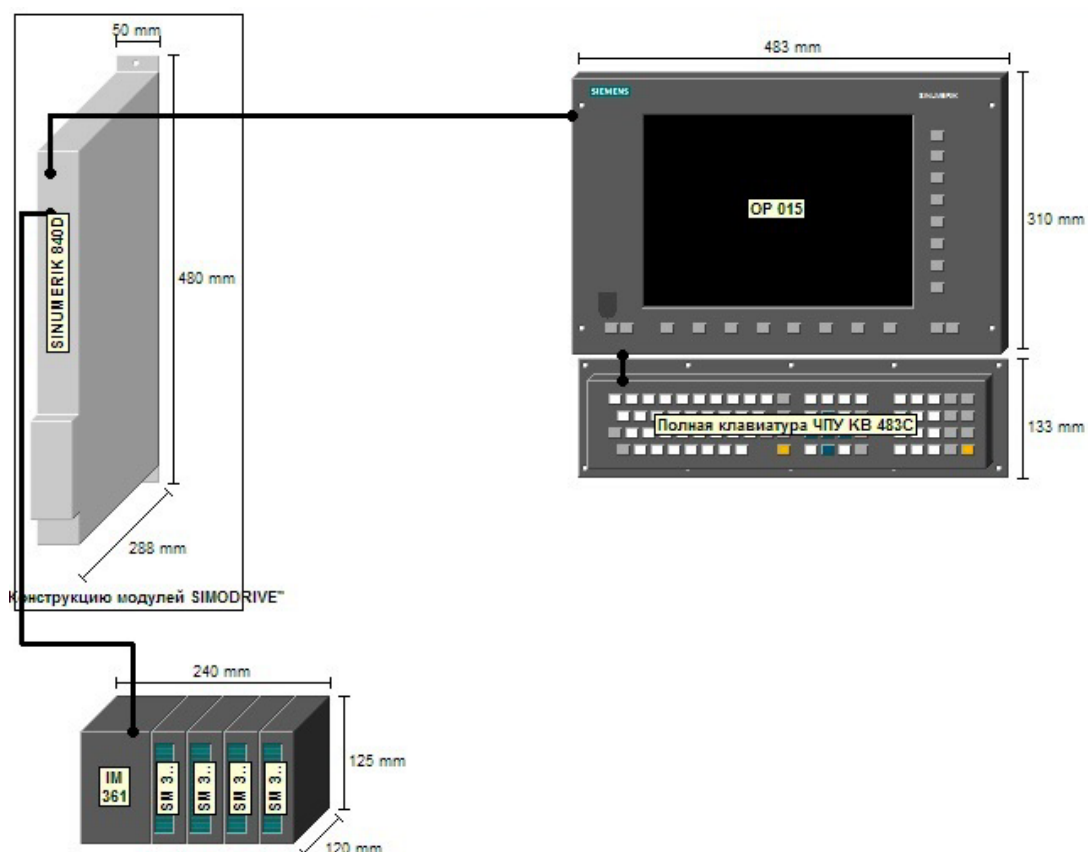


Рис. 78. Конструкция модулей *SINUMERIK 840D*

7. Выбор типа ПЛК. В РТК, на основе которого ведется комплексная обработка детали типа «Крышка корпуса левая», ПЛК используется для управления ПР и автоматической сменой инструмента и инструментальных барабанов. В выбранную с использованием *NCSD configurator* компонентную базу входит устройство ЧПУ *SINUMERIK 840D* со встраиваемым в него ПЛК из семейства *S7-300*. Выбор типа ПЛК производится также с помощью программы *NCSD configurator*. При этом анализируются следующие параметры:

- количество цифровых и аналоговых встроенных входов/выходов;

- размеры памяти для программы пользователя и данных пользователя;
- количество и типы модулей расширения и коммуникационных портов;
- наличие регистров входов/выходов;
- количество таймеров и счетчиков с различными функциями.

Сигналы на входы и выходы ПЛК поступают от ПР, тактового стола, узлов автоматической смены инструмента. Обмен сигналами между УЧПУ *SINUMERIK 840D* и встроенным в него ПЛК осуществляется по локальной сети *RS-485*. Сигналы, поступающие от узлов системы автоматической смены инструмента на входы ПЛК, сведены в табл. 18, а сигналы, поступающие на выходы ПЛК – в табл. 19. Для управления обработкой детали в РТК используются 13 выходных сигналов ПЛК, применяемых для управления ПР и тактовым столом, и 14 сигналов, поступающих на входы ПЛК от датчиков ПР и УЧПУ тактового стола. Список этих сигналов не приводится, поскольку разработка системы управления ПР не входит в задание для рассматриваемого курсового проекта.

Таблица 18. Перечень сигналов, поступающих на входы ПЛК

№ входа	Название источника сигнала	Тип исполнительного сигнала	Логическое имя входа ПЛК
1	Датчик разжима револьверной головки	концевой выключатель	<i>D1</i>
2	Датчик зажима револьверной головки	»	<i>D2</i>
3	Датчик торможения револьверной головки при разжиме	»	<i>D3</i>
4	Датчик торможения револьверной головки при зажиме	»	<i>D4</i>
5	Датчик счета позиций инструментального барабана при повороте	»	<i>D5</i>
6	Датчик натяжения ремня и отключения двигателя при зажиме револьверной головки	»	<i>D6</i>
7	Датчик смены инструментального барабана	»	<i>D7</i>
8	Датчик фиксации накопителя инструментальных барабанов (шток выдвинут)	»	<i>D8</i>
9	Датчик расфиксации накопителя инструментальных барабанов (шток задвинут)	»	<i>D9</i>
10	Датчик расцепления штанги 1 с барабаном 1 (шток выдвинут)	»	<i>D10</i>
11	Датчик зацепления штанги 1 с барабаном 1 (шток задвинут)	»	<i>D11</i>
12	Датчик расцепления штанги 2 с барабаном 2 (шток выдвинут)	»	<i>D12</i>
13	Датчик зацепления штанги 2 с барабаном 2 (шток задвинут)	»	<i>D13</i>
14	Датчик сигнала об отсутствии барабана 1 в накопителе (штанга 1 выдвинута)	»	<i>D14</i>
15	Датчик сигнала о наличии барабана 1 в накопителе (штанга 1 задвинута)	»	<i>D15</i>
16	Датчик сигнала об отсутствии барабана 2 в накопителе (штанга 2 выдвинута)	»	<i>D16</i>
17	Датчик сигнала о наличии барабана 2 в накопителе (штанга 2 задвинута)	»	<i>D17</i>
18	Датчик торможения 1 при повороте плиты накопителя	»	<i>D18</i>
19	Датчик торможения 2 при повороте плиты накопителя	концевой выключатель	<i>D19</i>
20	Датчик остановки поворотной плиты накопителя	»	<i>D20</i>

Таблица 19. Перечень сигналов, поступающих с выходов ПЛК

№ выхода	Функция сигнала	Логическое имя сигнала	Приемник сигнала
1	Зажим/разжим револьверной головки со скоростью n_1	$DIR1 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR1 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	Контроллер управления электродвигателем M_3
2	Зажим/разжим револьверной головки со скоростью n_2	$DIR2 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR2 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	
3	Вращение револьверной головки со скоростью n_3	$DIR3 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR3 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	»
4	Натяжение ремня (вращение ЭД со скоростью n_4 против часовой стрелки)	$DIR4 = 0$	
5	Включение ЭП зажима/разжима и вращения револьверной головки, натяжения ремня	$RUN1 = 1$	
6	Расцепление штанги 1 с инструментальным барабаном 1	$Y8 = 1$	Пневмораспределитель YN
7	Зацепление штанги 1 с инструментальным барабаном 1	$Y9 = 1$	
8	Расцепление штанги 2 с инструментальным барабаном 2	$Y12 = 1$	
9	Зацепление штанги 2 с инструментальным барабаном 2	$Y13 = 1$	
10	Выдвижение штанги 1	$Y6 = 1$	
11	Задвижение штанги 1	$Y7 = 1$	
12	Выдвижение штанги 2	$Y10 = 1$	
13	Задвижение штанги 2	$Y11 = 1$	
14	Фиксация накопителя инструментальных барабанов	$Y14 = 1$	
15	Расфиксация накопителя инструментальных барабанов	$Y15 = 1$	
16	Поворот плиты накопителя инструментальных барабанов со скоростью n_{11}	$DIR5 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR5 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	Контроллер управления электродвигателем M_4
17	Поворот плиты накопителя инструментальных барабанов со скоростью n_{12}	$DIR6 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR6 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	
18	Поворот плиты накопителя инструментальных барабанов со скоростью n_{13}	$DIR7 = 1$ (поворот по часовой стрелке); $DIR7 = 0$ (поворот против часовой стрелки)	
19	Включение ЭП поворота плиты накопителя инструментальных барабанов	$RUN2 = 1$	

В результате с помощью программы *NCSD configurator* выбирается ПЛК типа *CPU 314C-2DP* как наиболее подходящий.

4.2.2.4. Разработка структуры системы управления РТК

Ядром модернизированной системы управления РТК (рис. 79) является устройство ЧПУ *SINUMERIK 840D*, в которое входят:

- интерфейс *SIMODRIVE 611*, к которому подключается интерфейсный модуль *SIMODRIVE 611* с силовыми модулями *CM1* (ток нагрузки – 60 А), *CM2* (ток нагрузки – 24 А), осуществляющими управление электродвигателями главного движения M_1 и M_2 соответственно, с силовыми

модулями *СМЗ* (ток нагрузки – 24 А), *СМ4* (ток нагрузки – 5 А), осуществляющими управление электродвигателями подачи M_Z и M_X соответственно;

- встроенный интерфейс панели оператора с подключаемой к нему панелью оператора *ОР 015* с *QWERTY* клавиатурой *КВ 832С*;
- интерфейс *RS-485* для связи с центральным ПК;
- встроенный ПЛК типа *CPU 314C-2DP*; связь ПЛК *CPU-314C-2DP* с УЧПУ, представленным *NCU-572.5*, осуществляется через интерфейс *RS-485*.

Интерфейсный модуль, применяемый в *CPU* данного типа, – *ИМ 361*. Модули, отвечающие за входные и выходные сигналы, – *СМ 321* и *СМ 322* соответственно.

На входы модуля *СМ 321* подаются 20 сигналов с датчиков *D11 – D20* (табл. 18) от устройств автоматической смены инструментов (револьверной головки, накопителя инструментальных барабанов, штанг 1 и 2, поворотной плиты).

С выходов трех модулей *СМ 322* подаются следующие сигналы (табл. 19):

- на контроллер управления электродвигателем M_3 револьверной головки (5 сигналов);
- на контроллер управления электродвигателем M_4 устройства смены инструментальных барабанов (4 сигнала);
- на пневмораспределители, управляющие штангами 1 и 2, накопителем инструментальных барабанов (10 сигналов).

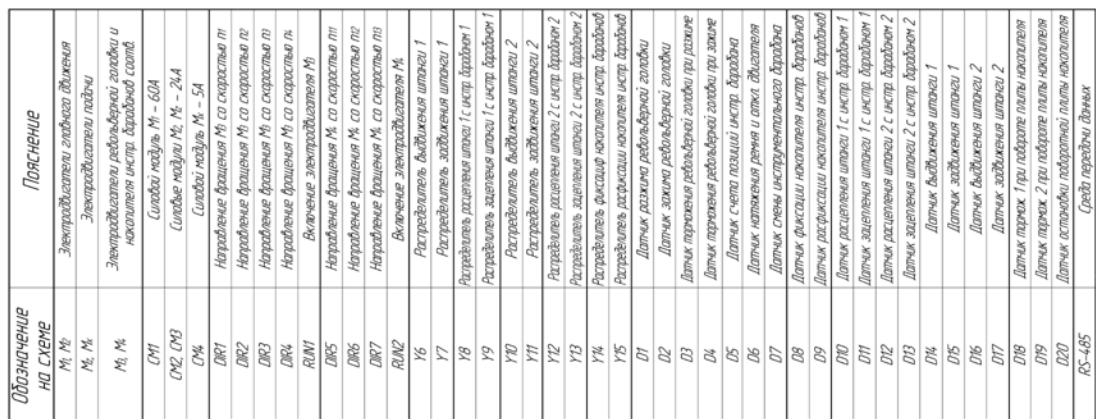
Устройства, подключаемые к определенным модулям, объединены общей шиной, а провода, через которые производится подключение к шине, пронумерованы.

Взаимодействия ПЛК и УЧПУ осуществляется через *RS-485* с использованием набора специальных операторов.

Для подключения промышленного робота типа *M10П.62.01* и тактового стола *СТ220* к ПЛК введены по одному дополнительному модулю *СМ 321* и *СМ 322*.

Сигналы с датчиков *ПР* типа *M10П.62.01* и тактового стола *СТ 220* (14 сигналов) поступают в ПЛК через модуль *СМ 321* и интерфейсный модуль *ИМ 361*.

Сигналы управления *ПР* и тактовым столом в процессе работы *РТК* (13 сигналов) поступают с выходов модуля *СМ 322*.



113

4.2.2.5. Разработка алгоритма управления устройством автоматической смены инструмента и инструментальных барабанов

Алгоритм управления устройством разработан на основе компоновочной схемы РТК (см. рис. 68), описания принципов работы устройства автоматической смены инструмента (параграф 4.2.2.1), технологии изготовления детали типа «Крышка корпуса левая» и структурной схемы системы управления (см. рис. 79). Перечень, наименование, обозначение и размеры обязательных символов, а также отображаемые ими функции в алгоритме согласовываются с указанными в табл. 20 соответствиями между входами и выходами ПЛК. Словесное описание значения каждой строки таблицы 20 представлено ниже и имеет следующий вид.

Строка 1 – старт и начало приведения инструментального барабана в исходное состояние (барабан находится на позиции смены) – разжим револьверной головки со скоростью n_1 – вращение ЭД по часовой стрелке ($DIR1 = 1$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D3$ ($D3 = 1$).

Строка 2 – после срабатывания бита возврата ($M6.0 = 1$) – разжим револьверной головки со скоростью n_1 – вращение ЭД по часовой стрелке ($DIR1 = 1$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D3$ ($D3 = 1$).

Строка 3 – после срабатывания датчика $D3$ – уменьшение скорости разжима револьверной головки до n_2 и продолжение вращения ЭД по часовой стрелке ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 1$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 1$) до датчика $D1$ ($D1 = 1$).

Строка 4 – после срабатывания датчика $D1$ – вращение револьверной головки со скоростью n_3 по часовой стрелке ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 1$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D5$ ($D5 = 1$) или $D7$ ($D7 = 1$).

// При активном счетчике $C17$ и неактивном $C20$ – возврат во вращение ПГ со скоростью n_3 по часовой стрелке при срабатывании датчика $D5$ до того, как счетчик $C20$ станет активным.

Строка 5 – после срабатывания датчика $D5$ – формирование бита возврата во вращение револьверной головки со скоростью n_3 по часовой стрелки ($M6.1$).

Строка 6 – после срабатывания датчика $D5$ – зажим револьверной головки – вращение ЭД против часовой стрелки со скоростью n_1 ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 1$; $DIR3 = 1$; $DIR4 = 1$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D4$ ($D4 = 1$).

// По завершению 12 циклов (счетчик $C12$ активен) начинается смена инструментального барабана (срабатывает датчик $D7$ ($D7 = 1$)).

Строка 7 – после срабатывания датчика $D7$ – зажим револьверной головки – вращение ЭД против часовой стрелки со скоростью n_1 ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 1$; $DIR3 = 1$; $DIR4 = 1$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D4$ ($D4 = 1$).

Строка 8 – после срабатывания датчика $D4$ – уменьшение скорости зажима револьверной головки – вращение ЭД против часовой стрелки со скоростью n_2 ($DIR1 = 1$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 1$; $DIR4 = 1$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D2$ ($D2 = 1$).

Строка 9 – после срабатывания датчика $D2$ – прекращение вращения червяка и начало натяжения ремня со скоростью n_4 ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 1$) до срабатывания датчика $D6$ ($D6 = 1$).

Строка 10 – после срабатывания датчика $D6$ – выключение двигателя револьверной головки ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 0$) и передача сигнала ЧПУ станка о том, что смена инструмента завершена ($SM30.1 = 1$).

// При активном счетчике $C12$ – смена инструментального барабана на второй.

// Смена первого инструментального барабана на второй:

Строка 11 – после срабатывания датчика $D6$ – выключение двигателя револьверной головки ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 0$) и штанга 1 поворачивается вокруг вертикальной оси A – шток выдвигается ($Y8 = 1$) до срабатывания датчика $D10$ ($D10 = 1$).

Строка 12 – после срабатывания датчика $D10$ – выдвижение пневмоцилиндра со штангой 1 ($Y6 = 1$, $Y8 = 1$) до срабатывания датчика $D14$ ($D14 = 1$).

Строка 13 – после срабатывания датчика $D14$ – зацепление штанги 1 с инструментальным барабаном 1 – штанга 1 поворачивается вокруг вертикальной оси A обратно ($Y6 = 1$, $Y8 = 0$, $Y9 = 1$) до срабатывания датчика $D11$ ($D11 = 1$).

Строка 14 – после срабатывания датчика $D11$ – задвижение штанги 1 вместе с инструментальным барабаном 1 ($Y6 = 0$, $Y7 = 1$, $Y9 = 1$) до срабатывания датчика $D15$ ($D15 = 1$).

// Смена второго инструментального барабана на первый:

Строка 15 – после срабатывания датчика $D6$ – выключение двигателя револьверной головки ($DIR1 = 0$; $DIR2 = 0$; $DIR3 = 0$; $DIR4 = 0$; $RUN1 = 0$) и штанга 2 поворачивается вокруг вертикальной оси Б – шток выдвигается ($Y12 = 1$) до срабатывания датчика $D12$ ($D12 = 1$).

Строка 16 – после срабатывания датчика $D12$ – выдвижение пневмоцилиндра со штангой 2 ($Y10 = 1$, $Y12 = 1$) до срабатывания датчика $D16$ ($D16 = 1$).

Строка 17 – после срабатывания датчика $D16$ – зацепление штанги 2 с инструментальным барабаном 2 – штанга 2 поворачивается вокруг вертикальной оси Б обратно ($Y10 = 1$, $Y12 = 0$, $Y13 = 1$) до срабатывания датчика $D13$ ($D13 = 1$).

Строка 18 – после срабатывания датчика $D13$ – задвижение штанги 2 вместе с инструментальным барабаном 2 ($Y10 = 0$, $Y11 = 1$, $Y13 = 1$) до срабатывания датчика $D17$ ($D17 = 1$).

// Начало поворота плиты накопителя барабанов при активных счетчиках $C15$ и $C17$, когда срабатывают датчики $D15$ и $D17$ соответственно.

Строка 19 – после срабатывания датчика $D15$ – расфиксация плиты накопителя ($Y15 = 1$) до срабатывания датчика $D9$ ($D9 = 1$).

Строка 20 – после срабатывания датчика $D17$ – расфиксация плиты накопителя ($Y15 = 1$) до срабатывания датчика $D9$ ($D9 = 1$).

Строка 21 – после срабатывания датчика $D9$ – поворот плиты устройства смены барабанов со скоростью n_{11} – вращение ЭД по часовой стрелке ($DIR5 = 1$; $DIR6 = 0$; $DIR7 = 0$; $RUN2 = 1$) до срабатывания датчика $D18$ ($D18 = 1$).

Строка 22 – после срабатывания датчика $D18$ – снижение скорости поворота плиты накопителя до n_{12} ($DIR5 = 0$; $DIR6 = 1$; $DIR7 = 0$; $RUN2 = 1$) до срабатывания датчика $D19$ ($D19 = 1$).

Строка 23 – после срабатывания датчика $D19$ – движение плиты со скоростью n_{13} ($DIR5 = 0$; $DIR6 = 0$; $DIR7 = 1$; $RUN2 = 1$) до срабатывания датчика $D20$ ($D20 = 1$).

Строка 24 – после срабатывания датчика $D20$ – остановка двигателя поворота устройства смены инструментальных барабанов ($DIR5 = 0$; $DIR6 = 0$; $DIR7 = 0$; $RUN2 = 0$) и фиксация поворотной плиты ($Y14 = 1$) до срабатывания датчика $D8$ ($D8 = 1$).

// Реакция на срабатывание датчика $D8$ различается в зависимости от активности счетчиков $C15$ и $C17$.

// Смена инструментального первого инструментального барабана на второй:

Строка 25 – после срабатывания датчика $D8$ – выдвижение штанги 2 вместе с инструментальным барабаном 2 ($Y10 = 1$) до срабатывания датчика $D16$ ($D16 = 1$).

Строка 26 – после срабатывания датчика $D16$ – расцепление штанги 2 с инструментальным барабаном 2 ($Y10 = 1$, $Y12 = 1$) до срабатывания датчика $D12$ ($D12 = 1$).

Строка 27 – после срабатывания датчика $D12$ – задвижение штанги 2 без инструментального барабана 2 ($Y10 = 0$, $Y11 = 1$, $Y12 = 1$) до срабатывания датчика $D17$ ($D17 = 1$).

Строка 28 – после срабатывания датчика $D17$ – формирование бита возврата в разжим револьверной головки со скоростью n_1 ($M6.0$).

// Смена второго инструментального барабана на первый:

Строка 29 – после срабатывания датчика $D8$ – выдвижение штанги 1 вместе с инструментальным барабаном 1 ($Y6 = 1$) до срабатывания датчика $D14$ ($D14 = 1$).

Строка 30 – после срабатывания датчика $D14$ – расцепление штанги 1 с инструментальным барабаном 1 ($Y6 = 1$, $Y8 = 1$) до срабатывания датчика $D10$ ($D12 = 1$).

Строка 31 – после срабатывания датчика $D10$ – задвижение штанги 1 без инструментального барабана 1 ($Y6 = 0$, $Y7 = 1$, $Y8 = 1$) до срабатывания датчика $D15$ ($D15 = 1$).

Строка 32 – после срабатывания датчика $D15$ – формирование бита возврата в разжим револьверной головки со скоростью n_1 ($M6.0$).

// По завершению цикла обработки одной детали, т.е. выставлен первый инструментальный барабан, счетчик $C24$ становится активным и формируется сигнал оператору о том, что цикл обработки окончен.

Алгоритм управления автоматической сменой инструмента и инструментальных барабанов представлен на рис. 80.

[illegible]

4.2.2.6. Разработка программы управления сменой инструмента и инструментальных барабанов в станке ИРТ180ПМФ4

В соответствии с алгоритмом управления (см. рис. 80) разработана программа управления сменой инструмента и инструментальных барабанов в станке ИРТ180ПМФ4.

Поскольку для управления вспомогательным оборудованием РТК выбран ПЛК фирмы *Siemens* семейства *SIMATIC S7-300*, то составление программы для работы по заданному алгоритму осуществляется с помощью программного обеспечения *Simatic Step 7* на языке *LD*. Текст разработанной программы представлен в Приложении Е (рис. Е).

Несмотря на то, что в программе имеются комментарии практически к каждой строке, она все же требует некоторого пояснения. В начале программы производится обнуление всех счетчиков и установка первого инструментального барабана в нулевое положение, т.е. производится инициализация программы. Пояснению поможет разбиение программы на несколько следующих блоков:

1. Описание счетчиков, необходимых для создания условий правильной работы устройства. Так, например, после того как счетчик *S11* становится активным, ПЛК получает возможность передавать сигнал об окончании смены инструмента ЧПУ – строки 4, 5, 9, 27, 32, 39.
2. Типовые движения (зажим-разжим и вращение с определенными скоростями) револьверной головки при выполнении условий – строки 1–3, 8, 11–13.
3. Строки, описывающие взаимодействие ПЛК с ЧПУ, – 15–22.
4. Изъятие инструментального барабана из устройства вращения револьверной головки и помещение его в устройство смены инструментальных барабанов – строки 23–26 при смене первого барабана на второй, строки 28–31 при смене второго барабана на первый.
5. Поворот плиты устройства смены инструментальных барабанов – строки 33–37.
6. Помещение инструментального барабана из устройства смены инструментальных барабанов в устройство вращения револьверной головки – строки 38, 40, 41 при смене первого барабана на второй, строки 42–44 при смене второго барабана на первый.

4.2.2.7. Разработка программы управления обработкой детали «Крышка корпуса левая» на станке с ЧПУ ИРТ180ПМФ4

Исходными данными для разработки программы управления обработкой детали типа «Крышка корпуса левая» являются чертежи заготовки и детали (рис. Д), а также карта эскизов наладки, составляемая при разработке технологического процесса производства детали. Набор команд написан в G-коде (табл. Ж) с помощью программного обеспечения *AdvancED Academic Edition*. Программа разработана по методике, изложенной в параграфе 4.1.2.1.

Глава 5. Организация и оформление курсового проектирования

Исходные данные для курсового проектирования по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве» определены в техническом задании, которое выдается индивидуально каждому студенту.

Выполнение курсового проекта и его защита проводятся строго в установленные сроки.

Пояснительная записка должна включать:

- титульный лист (Приложение И);
- оглавление;
- введение;
- изложение материала основной части курсового проекта в соответствии с порядком, представленным в параграфах 4.1.1 или 4.2.1 настоящего пособия;
- заключение;
- список литературы;
- приложения (по мере необходимости).

Пояснительная записка курсового проекта выполняется на стандартных листах формата А4 (210x297 мм) с полями: верхнее – 20 мм, правое – 20 мм, левое – 20 мм, нижнее – 20 мм. Следует использовать режим выравнивания «по ширине».

Объем записки должен составлять не менее 30 страниц текста, набранного шрифтом *Times New Roman* черного цвета с одинарным интервалом, высота букв, цифр и других знаков – не менее 1,8 мм (кегель равен 12). Полуужирный шрифт не применяется. Абзацный отступ – 1 см.

Листы пояснительной записки нумеруются арабскими цифрами по порядку, включая приложения (номер указывается в центре нижнего поля без точки шрифтом № 12). Первым листом считается титульный лист, номер на нем не проставляется.

Заголовки «ОГЛАВЛЕНИЕ», «ВВЕДЕНИЕ», «ЗАКЛЮЧЕНИЕ», «СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ» не нумеруются, размещаются по центру страницы и записываются прописными буквами.

Заголовки разделов основной части работы нумеруются и записываются с прописной буквы строчными буквами в центре строки (выравнивание – по центру) шрифтом *Times New Roman Cyr* № 14.

Заголовки пунктов внутри разделов должны иметь порядковую нумерацию в пределах каждого раздела, и обозначаться арабскими цифрами, например: 3.2, 3.2.1, 3.2.1.1 и т.д. Заголовки пунктов внутри разделов записываются шрифтом *Times New Roman Cyr* № 12, выравнивание – по центру, межстрочный интервал – 1,5, отступ красной строки – 1 см. Заголовки в тексте и оглавлении должны совпадать.

В тексте работы могут быть перечисления. Перед каждой позицией перечисления следует ставить дефис или, при необходимости, строчную букву, после которой ставится скобка (без точки). Если необходима дальнейшая детализация перечислений, используют арабские цифры, после которых ставится скобка, а запись производится с абзацного отступа. Каждый пункт, подпункт и перечисление следует записывать с абзацного отступа.

После знаков препинания: точка, запятая, двоеточие, вопросительный и восклицательный знак – ставится пробел (отбивка); тире отбивается с двух сторон; дефис не отбивается; внутри скобок и кавычек пробел не ставится.

В тексте пояснительной записки не допускается оставлять на листе первые и последние строки абзацев.

Разрешается использовать компьютерные возможности акцентирования внимания на определенных терминах, формулах, теоремах, применяя шрифты разной гарнитуры.

При создании математических формул необходимо использовать редактор формул. Во всех формулах в качестве символов следует применять обозначения, определенные соответствующими государственными стандартами или установившиеся в соответствующей профессиональной среде. Пояснения символов и числовых коэффициентов, входящих в формулу, если они не пояснены ранее в тексте, должны быть приведены непосредственно под формулой. Пояснения каждого символа следует давать с новой строки в той последовательности, в которой символы приведены в формуле. Первая строка пояснения должна начинаться со слова «где» без двоеточия после него.

Пример. Плотность каждого образца ρ , кг/м³, вычисляются по формуле

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

где m — масса образца, кг;

V — объем образца, м³.

Перенос формулы на следующую строку допускается только на знаках выполняемых операций, причем знак в начале следующей строки повторяют. Формулы, следующие одна за другой и не разделенные текстом, разделяют запятой.

Все формулы в основном тексте работы должны нумероваться сквозной нумерацией арабскими цифрами, которые записывают на уровне формулы справа в круглых скобках. Номер формулы проставляется в круглых скобках арабскими цифрами с правого края листа на уровне оси, проходящей через центр формулы. Сама формула должна быть отцентрирована относительно текста. Ссылки в тексте на соответствующую формулу даются также в круглых скобках, например, «...расчет данных проводился по формуле (1)...».

Формулы, помещаемые в приложениях, должны нумероваться отдельной нумерацией арабскими цифрами в пределах каждого приложения с добавлением перед каждой цифрой обозначения приложения, например, формула (П.1).

Количество иллюстраций должно быть достаточным для пояснения излагаемого текста. Иллюстрации могут быть расположены как по тексту документа (возможно ближе к соответствующим частям текста), так и в конце него.

К иллюстрациям относятся рисунки, схемы, диаграммы, графики и т.д. Рисунки следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Каждый рисунок должен быть подписан, при этом используется слово «Рисунок». Слово «Рисунок» и наименование располагают посередине строки без кавычек, например, следующим образом: Рисунок 2 Форма заполнения анкеты. В конце наименования рисунка точку не ставят. Сокращение слова «Рисунок» не допускается.

При ссылках на иллюстрации следует писать «... в соответствии с рисунком 2» при сквозной нумерации и «... в соответствии с рисунком 1.2» при нумерации в пределах раздела.

Иллюстрации каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Например, рисунок А.3.

Таблицы применяют для лучшей наглядности и удобства сравнения показателей. Название таблицы, при его наличии, должно отражать ее содержание, быть точным, кратким. Таблицы следует нумеровать арабскими цифрами сквозной нумерацией. Номер таблицы следует помещать над таблицей справа. Название таблицы располагают на следующей строке по центру. Например,

Таблица 1.

Исходные данные

При переносе части таблицы на другие страницы название помещают только над первой частью таблицы.

Таблицы каждого приложения обозначают отдельной нумерацией арабскими цифрами с добавлением перед цифрой обозначения приложения. Если в документе одна таблица, она должна быть обозначена «Таблица 1» или «Таблица А.1», если она приведена в приложении А.

На все таблицы документа должны быть приведены ссылки в тексте документа, при ссылке следует писать слово «таблица» с указанием ее номера.

Список использованной литературы помещается после основного текста курсового проекта и позволяет автору документально подтвердить достоверность и точность приводимого исследования, он также отражает глубину и широту изучения темы, демонстрирует эрудицию и культуру исследователя.

Ссылка на источник в тексте работы приводится в квадратных скобках с указанием номера из списка литературы, например: «...в учебнике [2] дается такое определение...». Допускается также при ссылке на источник указывать соответствующую страницу издания, которая цитируется в работе: «...в учебнике [2, с. 12] дается такое определение...». Недопустимо заимствование текста из литературных источников без ссылки на автора цитаты. Также можно ссылаться на источники Интернет. На все источники, указанные в списке литературы, обязательно должны быть ссылки в тексте работы. В списке литературы должно быть не менее 10 источников.

Например:

Книга одного, двух, трёх авторов

1. Ерофеев, А. А. Теория автоматического управления : учебник для вузов. – 2-е изд., перераб и доп. – СПб. : Политехника, 2005. – 302 с. : ил.
2. Гаракина, Л. Г. Технология разработки программного обеспечения / Л. Г. Гаракина, Е. В. Кокорева, Б. Д. Виснадуп. – М. : ИД «ФОРУМ» : ИНФРА-М, 2009. – 400 с. : ил.

Книга четырёх и более авторов

1. Программирование на *Microsoft Visual C++* для профессионалов / Д. Д. Круглински [и др.] ; пер. с англ. – СПб. : Питер, 2002. – 864 с. : ил.

Источники Интернет

Здесь обязательно надо указывать название сайта и название статьи, на которую производится ссылка, например:

1. Фрагмент онтологии физической химии и его модель / Ф.Ф. Иванов // Электрон. журн. «Исследовано в России». 2008. – 10–14, № 3. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://zhumal.ape.relam.ru/articles/1998/003.pdf>.

В приложении помещаются материалы, дополняющие текст документа. Например, графические материалы, фрагменты программного кода курсового проекта, диаграммы с результатами и т.п. Приложения помещаются после списка использованных литературных источников и последовательно нумеруются заглавными буквами русского алфавита (Приложение А, Приложение Б и т.д.). В тексте работы на все приложения должны быть приведены ссылки. Расположение приложений в конце документа должно соответствовать порядку появления ссылок на них в тексте.

Каждое приложение начинается с новой страницы. В верхнем правом углу страницы указывается слово «Приложение» и ставится его порядковый номер (например, «Приложение В»). Каждое приложение должно иметь заголовок, который ставится на следующей строке после слова «Приложение», и этот заголовок центруется относительно текста.

Приложение должно иметь общую с остальной частью работы сквозную нумерацию страниц. Все приложения должны быть перечислены в оглавлении с указанием их номеров и заголовков.

Библиографический список

1. Асинхронные двигатели. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.power-prom.ru/docs/NC60_t07_2004_R2.pdf.
2. Белов, М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, В. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – 2-е изд., стер. – М. : Академия, 2004. – 576 с.: ил.
3. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – СПб. : Профессия, 2007. – 752 с.: ил.
4. Бессонов, Я. Интерфейс SERCOS для управления двигателями // Компоненты и технологии. – 2006. – № 5. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/interfeys-sercos-dlya-upravleniya-dvigatelyami>.
5. Большой энциклопедический политехнический словарь. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/polytechnic/1966/ГИБКИЙ>.
6. Бункерные и магазинные загрузочные устройства. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5760037/page:5/>.
7. Вибрационные загрузочные устройства. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5760037/page:6/>.
8. Высокоточные приводы, сервоприводы и системы ЧПУ Siemens. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://tekhar.com/Programma/Siemens/Privod_tech/Preobrazovateli/Servo/index_servo.htm.
9. Гибкие производственные системы (ГПС) механической обработки деталей. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://mirznanii.com/a/189345/gibkie-proizvodstvennye-sistemy-gps-mekhanicheskoy-obrabotki-detaley>.
10. ГОСТ 30097-93. Роботы промышленные. Системы координат и направления движений. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://files.stroyinf.ru/data2/1/4294825/4294825155.htm>.
11. Денисенко, В. В. Компьютерное управление технологическим процессом, экспериментом, оборудованием / В. В. Денисенко. – М. : Горячая линия-Телеком, 2009. – 608 с. : ил.
12. Классификация, технические характеристики и типаж промышленных роботов. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.bibliotekar.ru/5-0-stanki/159.htm>.
13. Козырев, Ю. Г. Применение промышленных роботов : учебное пособие для вузов / Ю. Г. Козырев. – М. : КноРус, 2013. – 496 с. : ил.
14. Коковин, В. А. Лабораторные работы по дисциплине «Автоматизация технологических процессов и производств» : методическое пособие / В. А. Коковин. – М. : Прометей, 2013. – 67 с.
15. Конвейеры прерывистого действия. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.studfiles.ru/preview/5760037/page:2/>.
16. Леонов, А. П. Выбор исполнительных двигателей для электрических приводов производственных механизмов : учебное пособие / А. П. Леонов. – М. : Прометей, 2013. – 139 с.
17. Межотраслевые требования и нормативные материалы по организации труда. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://dokipedia.ru/print/5183754>.
18. Михеев, В. А. Автоматизированное проектирование и управление технологическими процессами ОМД [Электронный ресурс] : электрон. учеб. пособие к курсовому проектированию / Д. В. Савин ; Самар. Гос. аэрокосм. ун-т им. акад. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т) ; В. А. Михеев. – Самара : Изд-во СГАУ, 2011. – Электрон. текстовые и граф. дан. (1 файл : 9,39 Мбайт). <http://www.studfiles.ru/preview/6062663/>.
19. Модернизация станков с ЧПУ. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://stanok.cncinfo.ru/modernizaciya-stankov-s-chpu>.
20. Модульные программируемые контроллеры Siemens SIMATIC S7-400. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.siemens-pro.ru/components/s7-400.htm>.
21. Модуль программного управления МПУ НЦ-31 v9.0. Руководство по эксплуатации, 24.04.2014 г. – Электрон. дан. – Режим доступа: www.elmic.ru/sites/default/files/NC31_Manual.pdf.
22. Моисеев, Ю. И. Применение промышленных роботов для загрузки металлообрабатывающего оборудования : учебное пособие / Ю. И. Моисеев. – Курган : Изд-во Курганского гос. ун-та, 2013. – 170 с. http://dspace.kgsu.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/3773/Моисеев-ЮИ_2013_УП.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
23. Настройка регуляторов в системе подчиненного регулирования. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://helpiks.org/5-64642.html>.
24. Обзор ЧПУ Siemens. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://technopolus.ru/products/modernize/cnc5.html>.
25. Преобразователи SIEMENS SIMODRIVE 611 A, D, U, POSMO. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://sptehno.ru/siemens/novaya-stranica-21/novaya-stranica-32/>.
26. Приводы SIMODRIVE. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.sinumerik.by/products/drives/simodrive/>.
27. Программирование ЧПУ. Код ИСО 7 бит. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://postprocessor.su/kod_iso7bit.html.
28. Программируемые контроллеры S7-200. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.sinetic.ru/files/catalog/siemens/controllers/ST70/02_S7-200_2008_r.pdf.

29. Программируемые контроллеры S7-1200. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://www.compel.ru/wordpress/wp-content/uploads/2014/09/03_S7-1200_2014_ru.pdf.
30. Программируемые контроллеры SIMATIC S7. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://dfpd.siemens.ru/products/automation/simatic/SIMATIC_S7.
31. Программное обеспечение SIEMENS SIMATIC SW. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://spthno.ru/siemens/novaya-stranica-10/>.
32. Проектирование машиностроительного производства : учебник для вузов / В. П. Вороненко, Ю. М. Соломенцев, А. Г. Схиртладзе ; под ред. чл.-корр. РАН Ю. М. Соломенцева. – М. : Дрофа, 2006. – 380 с.
33. Промышленные роботы в машиностроении: Альбом схем и чертежей : учеб. пособие для технических вузов / Ю. М. Соломенцев, К. П. Жуков, Ю. А. Павлов [и др.] ; под общ. ред. Ю. А. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1986. – 140 с.
34. Рекомендации при выборе устройств ЧПУ. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://stanki-katalog.ru/st_6.htm.
35. Роботизированные технологические комплексы и гибкие производственные системы в машиностроении: Альбом схем и чертежей : учеб. пособие для ВТУЗов / Ю. М. Соломенцев, К. П. Жуков, Ю. А. Павлов [и др.] ; под общ. ред. Ю. М. Соломенцева. – М. : Машиностроение, 1989. – 192 с.
36. Российские системы ЧПУ сегодня и завтра // Электрон. журн. «Умное производство». – 2017. – Вып. 38, июнь. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.umpro.ru/index.php?page_id=17&art_id_1=650&group_id_4=109.
37. Синхронные двигатели. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.promautomatic.ru/catalog/06_NC61-2005_Synchronous%20motors.pdf.
38. Система управления движением и позиционированием SIMOTION. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.promautomatic.ru/simotion.html>.
39. Системы программирования на языках МЭК 61131-3. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.bookasutp.ru/Chapter9_3.aspx.
40. Сосонкин, В. Л. Новейшие тенденции в архитектуре и математическом обеспечении систем ЧПУ. Эволюция цифрового привода / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://stanochki.net/796>.
41. Сосонкин, В. Л. Программирование систем числового программного управления : учебное пособие / В. Л. Сосонкин, Г. М. Мартинов. – М. : Логос, 2008. – 344 с. + CD. – (Новая университетская библиотека).
42. Средства семейства SIMATIC. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1707247>.
43. Станок токарный патронно-центровой с ЧПУ 16K20F3. Схемы, описание, характеристики. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://stanki-katalog.ru/sprav_16k20f3.htm.
44. Станочные приводы SIMODRIVE 611. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://sinamics.drives-ua.com/simodrive-611.html>.
45. Требования к оборудованию, работающему в составе ГПИ и ГПС. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://stankitokarnie.ru/trebovaniya-k-oborudovaniyu-rabotayushhemu-v>.
46. Трехфазные двигатели главного движения. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9209999&tree3=9200000&tree4=10030599&tree5=7509999&tree6=7500025>.
47. Устройства автоматической смены инструментов станков с ЧПУ. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://icvt.tu-bryansk.ru/index.php?option=com_content&view=article&id=27.
48. Устройства для автоматической смены инструмента. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://studopedia.ru/7_110191_ustroystva-dlya-nastroyki-instrumenta.html.
49. Устройство и принцип работы промышленных роботов. Системы координат. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://megaobuchalka.ru/6/52278.html>.
50. Устройство числового программного управления NC-201, NC-201M, NC-202. Руководство оператора. – СПб. : Балт-Систем, 2016. — 143 с. – Электрон. дан. – Режим доступа: [https://www.bssystem.ru/Portals/0/files/TechDocs/%D0%A0%D0%9E%D0%9F%20NC-201,NC-201M,NC-202%20\(%D0%924.1\).pdf](https://www.bssystem.ru/Portals/0/files/TechDocs/%D0%A0%D0%9E%D0%9F%20NC-201,NC-201M,NC-202%20(%D0%924.1).pdf).
51. Цифровой привод // Большая энциклопедия нефти и газа. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.ngpedia.ru/id311787p1.html>.
52. Челпанов, И. Б. Схваты промышленных роботов / И. Б. Челпанов, С. Н. Колпашников. – Л. : Машиностроение, 1989. — 287 с.
53. Чиликин, М. Г. Общий курс электропривода : учебник для вузов / М. Г. Чиликин, А. С. Сандлер. – 6-е изд., доп. и перераб. – М. : Энергоиздат, 1981. – 576 с. : ил.
54. Шаговые двигатели 1FL3 SIMOSTEP. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990173&tree3=10007359&tree4=7500096>.
55. Эффективность применения промышленных роботов. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://lektsia.com/9x2d25.html>.
56. NCSD configurator. Электрон. дан. – Режим доступа: <http://w3.siemens.com/mcms/mc-solutions/en/engineering-software/ncsd-configurator/pages/ncsd-configurator.aspx> b.
57. NC-201M-Балт-Систем. – Электрон. дан. – Режим доступа: <https://www.bssystem.ru/Default.aspx?tabid=72>.
58. Siemens Sinumerik 802D. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://stanochki.net/954>.

59. SIMATIC S7-300. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.siemens-ru.com>.
60. SINAMICS S120. Getting Started – 01/2012. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://support.industry.siemens.com/dl/files/910/61604910/att_109559/v1/GS1_012012_rus_ru-RU.pdf.
61. SINAMICS S120. Силовые части конструкции типа «шасси». Руководство по приборам — 01/2011. – Электрон. дан. – Режим доступа: https://dvesta.com/assets/files/manuals/Siemens/siemens_sinamics_s120/GH3_0111_rus.pdf.
62. SINAMICS S120 – Стандартные преобразователи. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://www.aqad.ru/index.php?tree=1000000&tree2=9990173&tree3=10007361&tree4=10008002&tree5=10036300>.

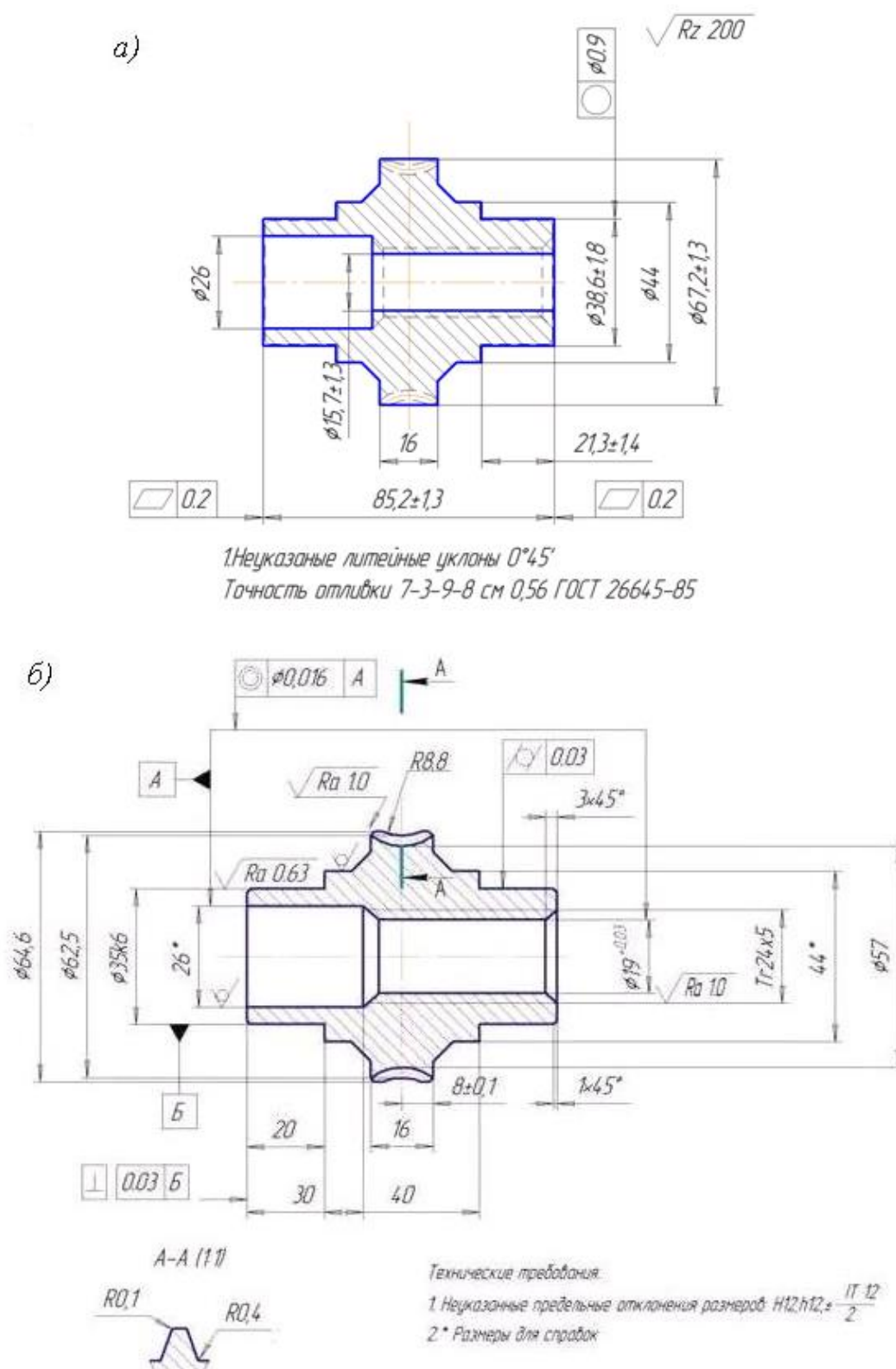
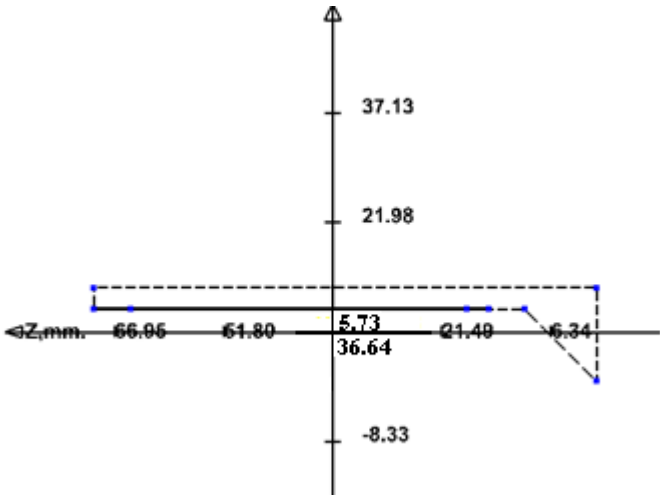
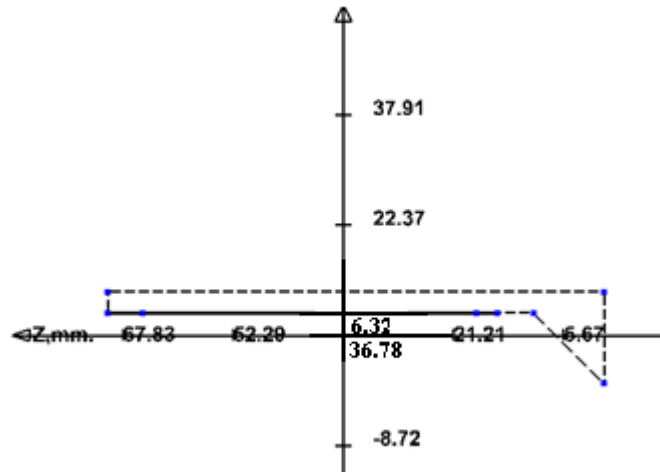
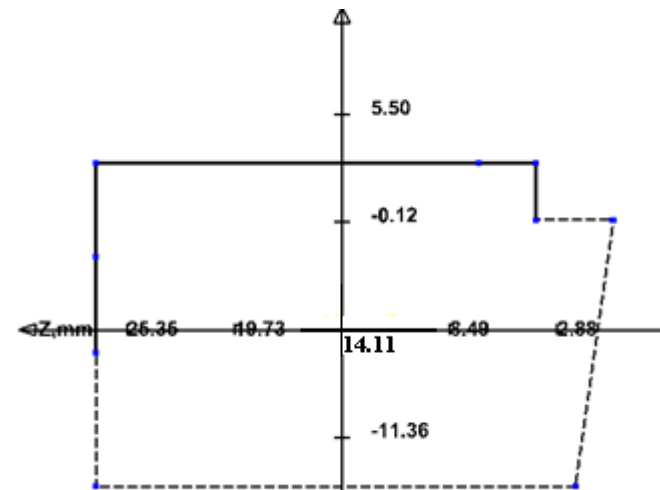
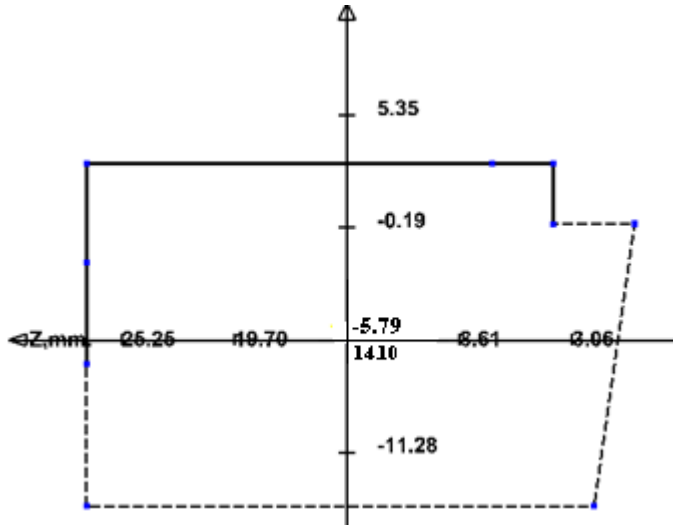
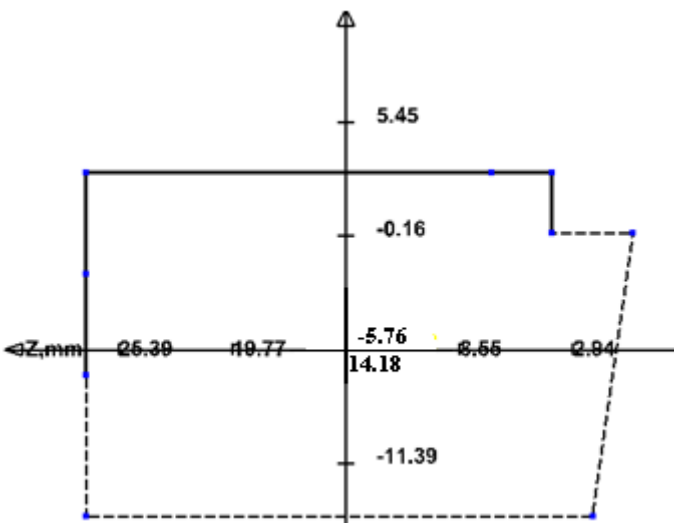
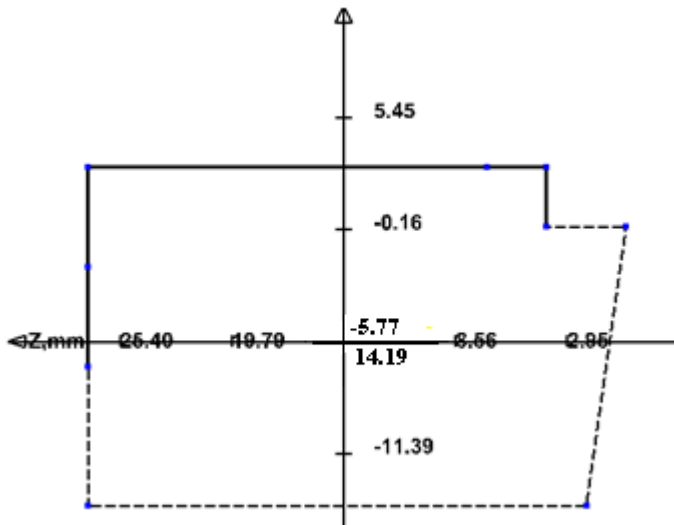


Рис. А. Чертежи заготовки и детали «Червячное колесо-гайка»: а) заготовка (отливка); б) деталь

Таблица Б. Программа токарной обработки детали «Червячное колесо-гайка» на станке 16К20Ф3

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП	Операция
Операция 005 переход 1 G91 T1 S=1345 F 0.42 M08 G00 x+10 z+10 G01 x+3 z+0 G01 x+1 z-1 G01 x+11.45 z+0 G01 x+3.5 z+3.5 G01 x+5 z+0 M09 G00 z-12.5 G00 x-34		1.Подрезка торца Ø35, Фаска 1×45° и 3×45°. Инструмент – подрезной резец
Операция 005 переход 2 G91 M41 M66 T2 S=1100 F=0.66 M08 G00 x+10 z+10 G00 z+5 G01 z+3 G01 x+0 z+46.5 G01 x+0 z+5 G00 x+3 z+0 G00 x+0 z-69.5 M09 G00 x-13		2.Черновое растачивание Ø19. Инструмент – расточной резец
Операция 005 переход 3 G91 M41 M66 T3 S=471 F=0.56 M08 G00 x+10 z+10 G00 z+5 G01 z+3 G01 x+0 z+46.5 G01 x+0 z+5 G00 x+3 z+0 G00 x+0 z-69.5 M09 G00 x-13		3.Зенкерование Ø19. Инструмент – зенкер

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП	Операция
Операция 005 переход 4 G91 M41 M66 T4 S=175 F=1.46 M08 G00 x+10 z+10 G00 z+5 G01 z+3 G01 x+0 z+46.8 G01 x+0 z+5 G00 x+3 z+0 G00 x+0 z-69.8 M09 G00 x-13		4.Развертывание точное Ø19. Предварительная обработка. Инструмент – развертка
Операция 005 переход 5 G91 M41 M66 T5 S=174 F=1.52 M08 G00 x+10 z+10 G00 z+5 G01 z+3 G01 x+0 z+47 G01 x+0 z+5 G00 x+3 z+0 G00 x+0 z-70 M09 G00 x-13		5.Развертывание тонкое Ø19. Окончательная обработка. Инструмент – развертка
Операция 005 переход 6 G91 M41 M66 T1 S=1356 F=0.29 M08 G00 x+0 z+4 G01 x+3 z+0 G01 x+0 z+3 G01 x+0 z+19.94 G01 x-4.93 z+0 G01 x-5 z+0 G00 x-7 z+0 G00 x+0 z-25 G00 x+13.94 z-2 M09		6.Черновая подрезка торца Ø35. Инструмент – подрезной резец

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП	Операция
Операция 005 переход 7 G91 M41 M66 T1 S=1172 F=0.66 M08 G00 x+0 z+4 G01 x+3 z+0 G01 x+0 z+3 G01 x+0 z+19.98 G01 x-4.93 z+0 G01 x-5 z+0 G00 x-7 z+0 G00 x+0 z-25 G00 x+13.98 z-2 M09		7.Получистовая подрезка торца Ø35. Инструмент – подрезной резец
Операция 005 переход 8 G91 M41 M66 T1 S=1484 F=0.5 M08 G00 x+0 z+4 G01 x+3 z+0 G01 x+0 z+3 G01 x+0 z+19.99 G01 x-5 z+0 G01 x-5 z+0 G00 x-7 z+0 G00 x+0 z-25 G00 x+13.99 z-2 M09		8.Чистовая подрезка торца Ø35. Инструмент – подрезной резец
Операция 005 переход 9 G91 M41 M66 T1 S=1719 F=0.4 M08 G00 x+0 z+4 G01 x+3 z+0 G01 x+0 z+3 G01 x+0 z+20 G01 x-5 z+0 G01 x-5 z+0 M05 G00 x-7 z+0 G00 x+0 z-25 G00 x+14 z-2 M09		9.Тонкая подрезка торца Ø35. Инструмент – подрезной резец

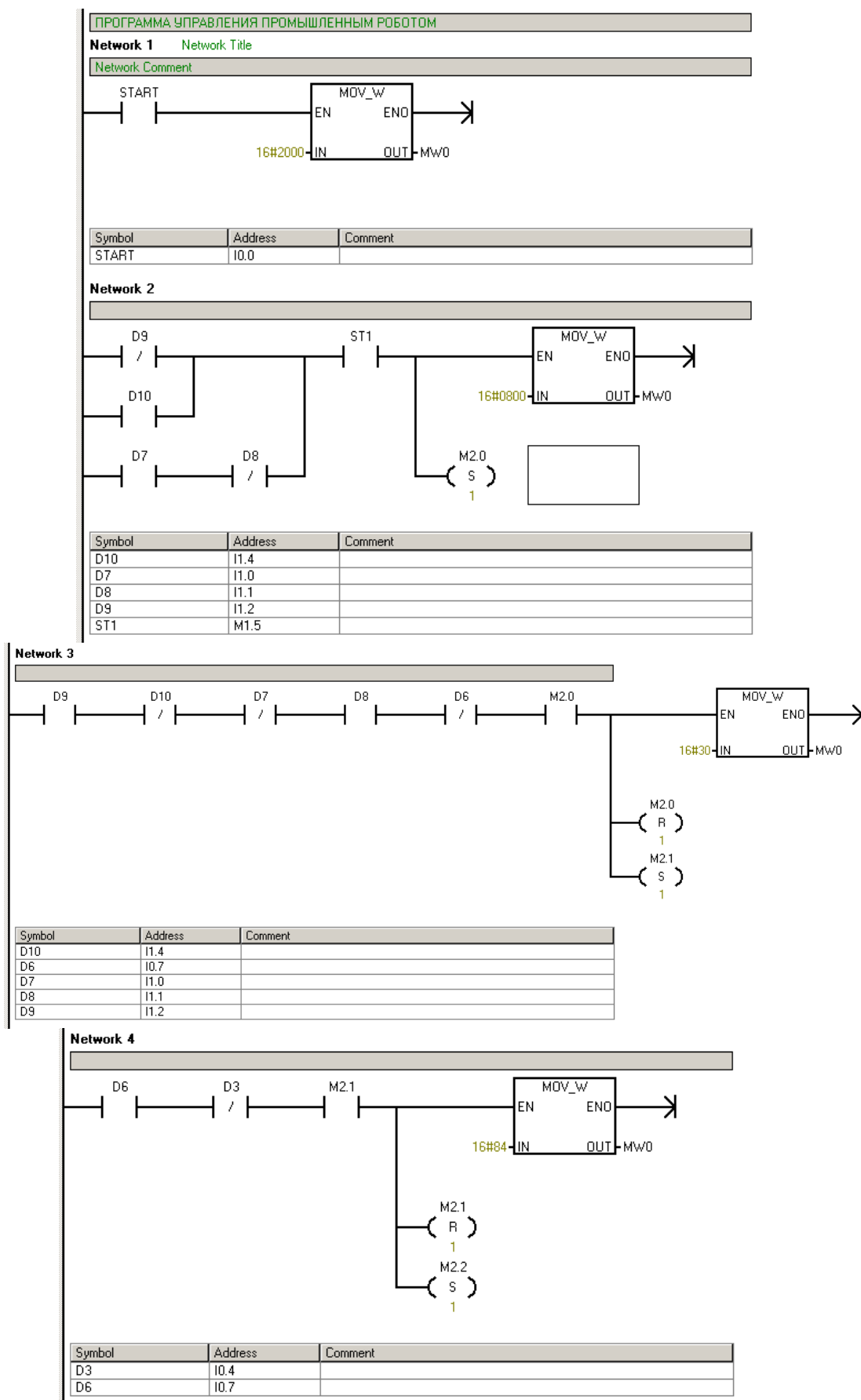


Рис. В. Фрагмент программы управления промышленным роботом на языке LD (начало)

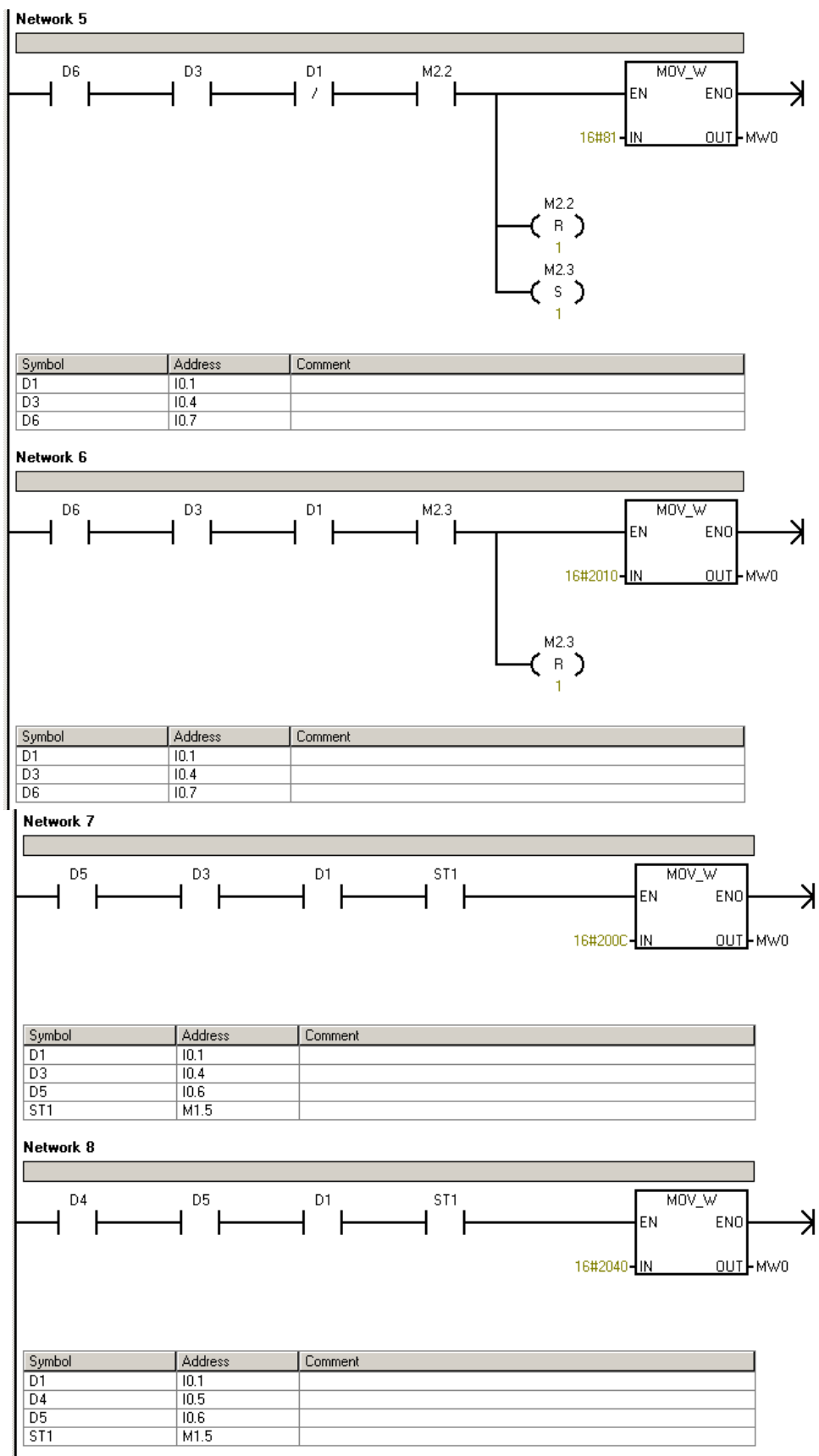


Рис. В.1 Фрагмент программы управления ПР на языке LD (окончание)

ПРОГРАММА УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ

Network 1 Network Title

Network Comment

```
LD    START
MOVW  16#2000, MW0
```

Symbol	Address	Comment
START	I0.0	

Network 2

```
LDN   D9
O      D10
LD     D7
AN     D8
OLD
A      ST1
MOVW   16#0800, MW0
S      M2.0, 1
```

Symbol	Address	Comment
D10	I1.4	
D7	I1.0	
D8	I1.1	
D9	I1.2	
ST1	M1.5	

Network 3

```
LD     D9
AN     D10
AN     D7
A      D8
AN     D6
A      M2.0
MOVW   16#30, MW0
R      M2.0, 1
S      M2.1, 1
```

Symbol	Address	Comment
D10	I1.4	
D6	I0.7	
D7	I1.0	
D8	I1.1	
D9	I1.2	

Network 4

```
LD     D6
AN     D3
A      M2.1
MOVW   16#84, MW0
R      M2.1, 1
S      M2.2, 1
```

Symbol	Address	Comment
D3	I0.4	
D6	I0.7	

Рис. Г. Фрагмент программы управления промышленным роботом на языке STL (начало)

Network 6

```

LD      D6
A       D3
A       D1
A       M2.3
MOVW    16#2010, MW0
R       M2.3, 1

```

Symbol	Address	Comment
D1	I0.1	
D3	I0.4	
D6	I0.7	

Network 7

```

LD      D5
A       D3
A       D1
A       ST1
MOVW    16#200C, MW0

```

Symbol	Address	Comment
D1	I0.1	
D3	I0.4	
D5	I0.6	
ST1	M1.5	

Network 8

```

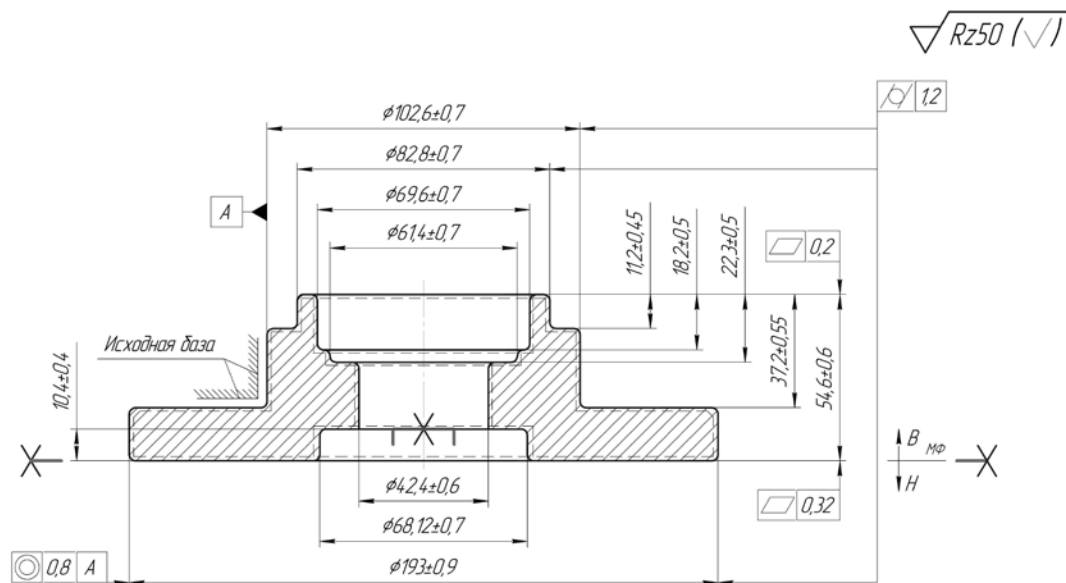
LD      D4
A       D5
A       D1
A       ST1
MOVW    16#2040, MW0

```

Symbol	Address	Comment
D1	I0.1	
D4	I0.5	
D5	I0.6	
ST1	M1.5	

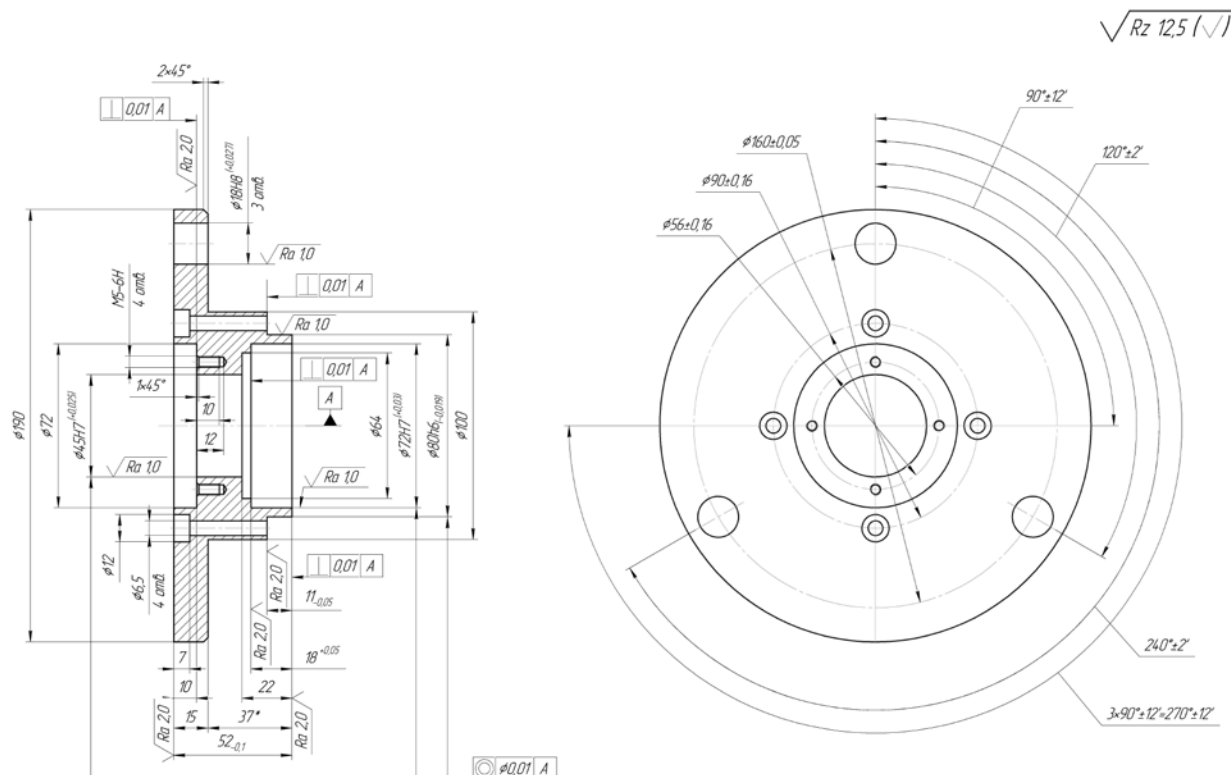
Рис. Г. Фрагмент программы управления ПП на языке *STL* (окончание)

а)



1. Неуказанные литейные уклоны 0°45'
2. Неуказанные литейные радиусы R2
Точность отливки 8-3-9-8 см 0,64 ГОСТ 26645-85

б)



1. Неуказанные предельные отклонения размеров H12, h12, ±IT12
2. * Размеры для справок.

Рис. Д. Чертеж заготовки и детали «Крышка корпуса левая»:
а) заготовка (отливка) б) деталь «Крышка корпуса левая»

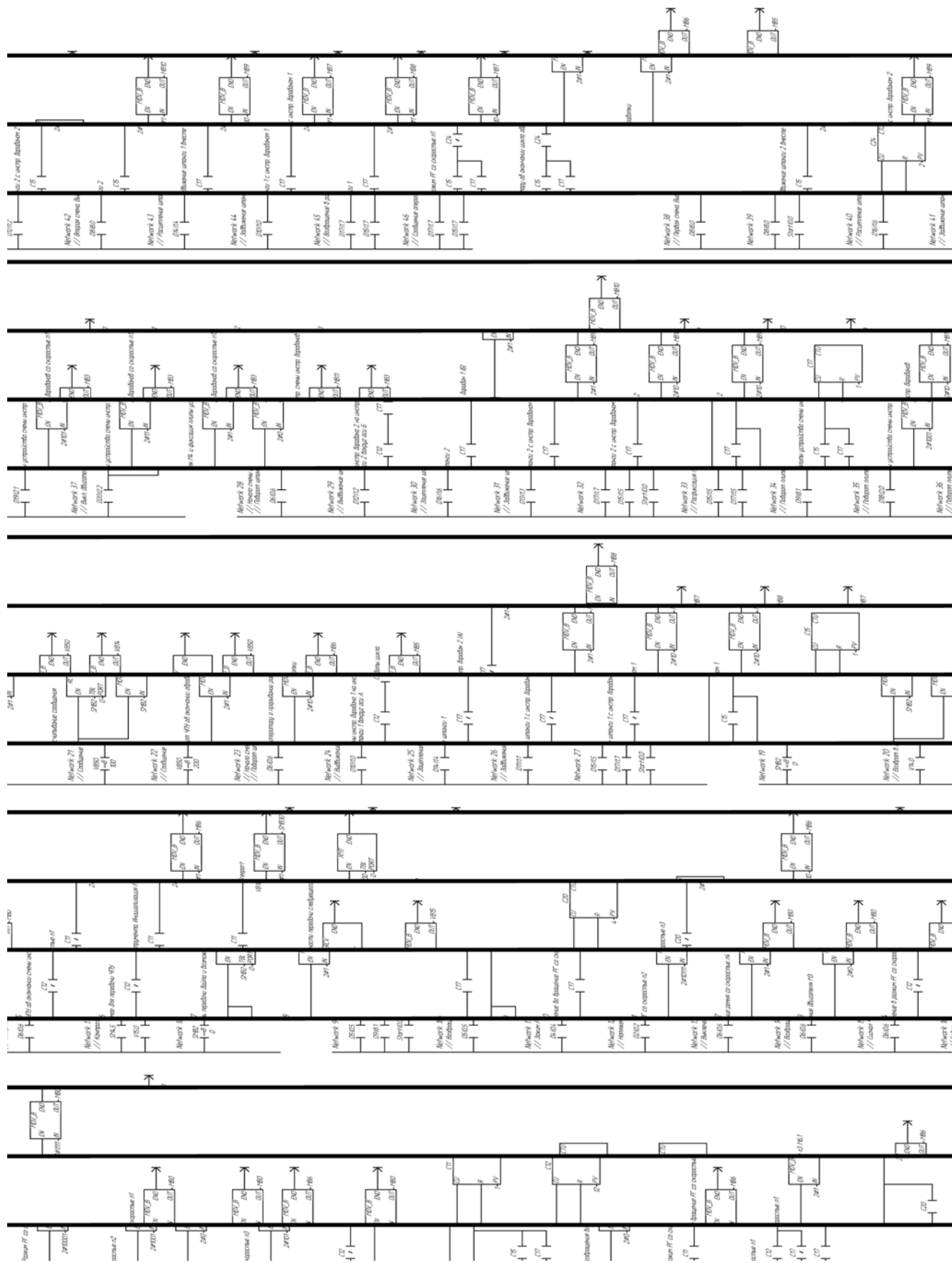
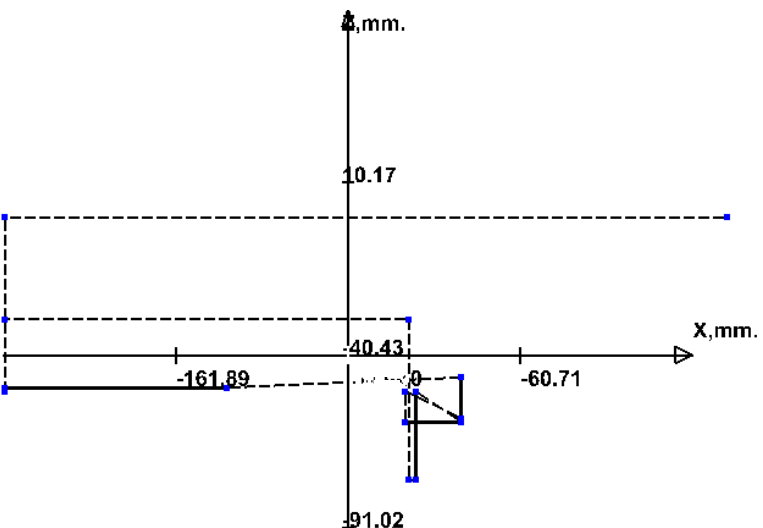
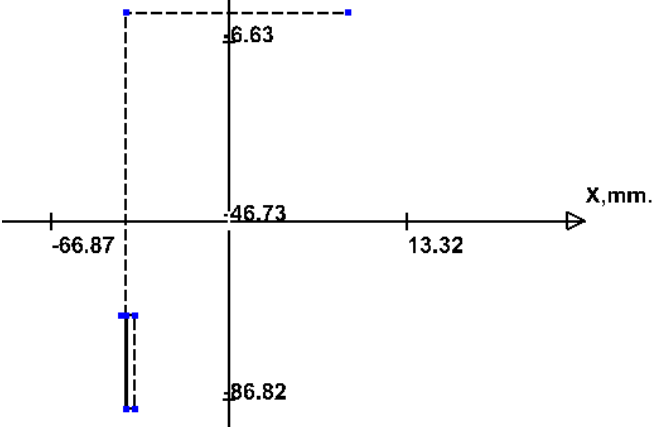
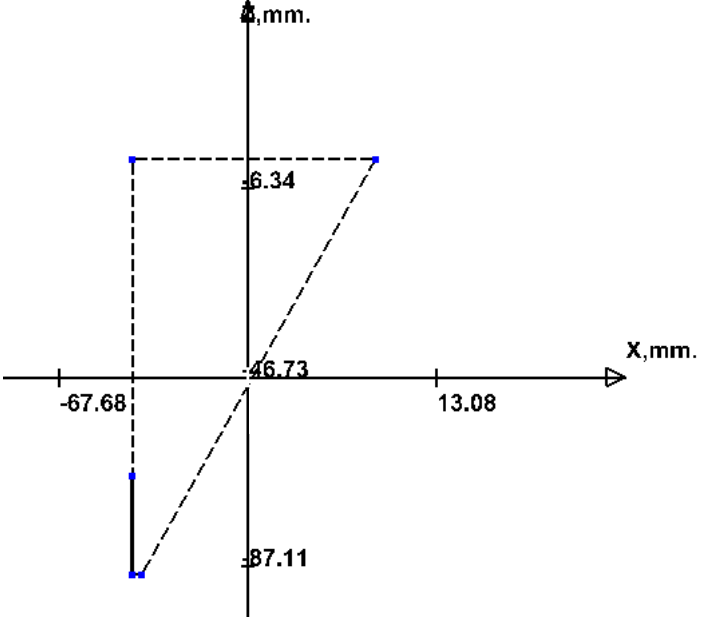
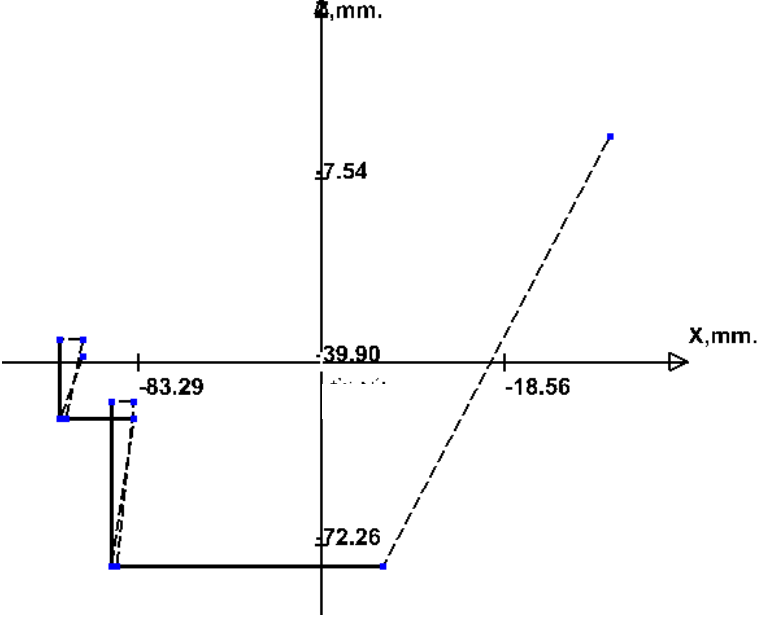
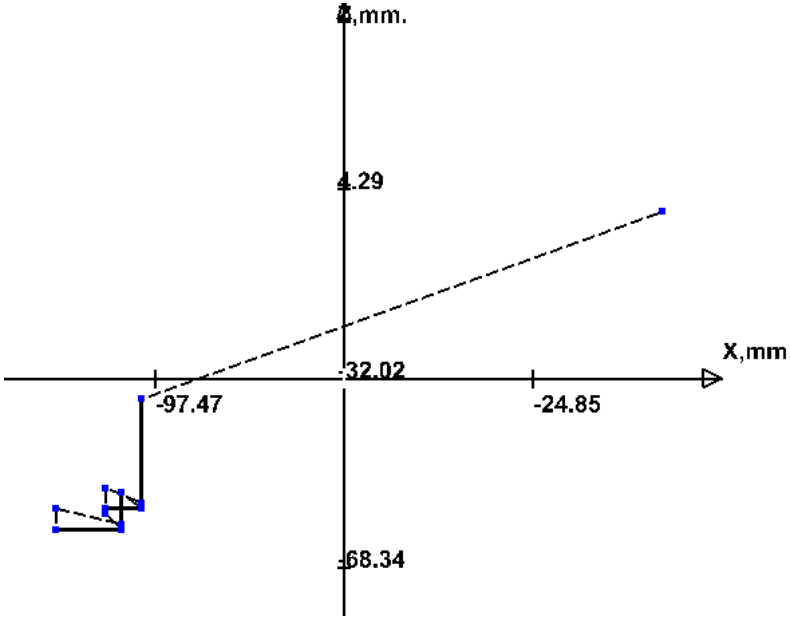
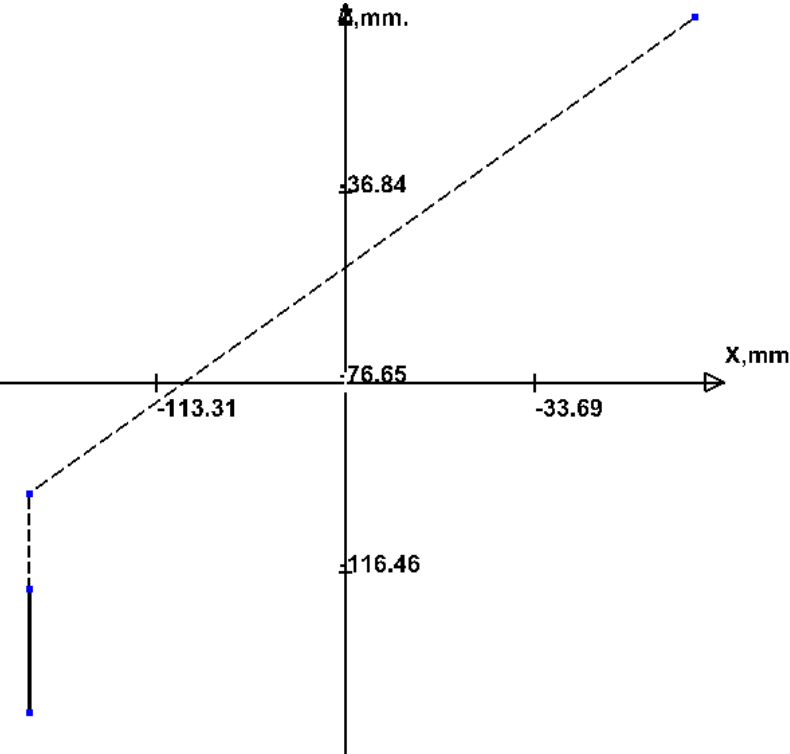


Рис. Е. Программа управления автоматической сменой инструмента и инструментальных барабанов

Таблица Ж. Программа обработки детали типа «Крышка корпуса левая» на станке ИРТ180ПМФ4

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП
// Переход 1, черновой проход N5 G18 G90 N10 M6 T1 M41 S=127 F1 M04 M08 N15 G00 X-212 Z0 N20 G00 X-212 Z-50 N25 G01 X-147 Z-50 N30 M41 S=495 F0.3 N35 G00 X-78 Z-47 N40 G01 X-78 Z-59 N45 G00 X-94.5 Z-51 N50 M41 S=382 F0.8 N55 G00 X-94.5 Z-60 N60 G01 X-78 Z-60 N65 G00 X-91.5 Z-51 N70 M41 S=694 F0.3Z N75 G01 X-91.5 Z-77 N80 G00 X-93.5 Z-77 N85 G00 X-93.5 Z-30 N75 G00 X-212 Z-30 N80 G00 X-212 Z-51	
// Переход 2, черновой проход N5 M6 T2 M41 S=138 F1 M04 M08 N10 G00 X-50 Z0 N15 G00 X-50 Z-68 N20 G01 X-50 Z-89 N25 G00 X-48 Z-89 N30 G00 X-48 Z-68 N35 G00 X-51 Z-68	

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП
// Переход 3, чистовой проход N5 M6 T3 M41 S=428 F0.2 M04 M08 N10 G00 X-52 Z0 N15 G00 X-52 Z-68 N20 G01 X-52 Z-89 N25 G00 X-50 Z-89 N30 G00 X0 Z0	
// Переход 13, черновой проход N5 M6 T13 M41 S=128 F1 M04 M08 N10 G00 X-40 Z-76 N15 G01 X-87 Z-76 N20 G00 X-84 Z-47 N25 M41 S=265 F1 N30 G00 X-88 Z-47 N35 G01 X-88 Z-76 N40 G00 X-84 Z-50 N45 M41 S=268 F0.8 N50 G01 X-96 Z-50 N55 G00 X-93 Z-36 N60 M41 S=332 F1 N65 G00 X-97 Z-36 N70 G01 X-97 Z-50 N75 G00 X-93 Z-39	

Код управляющей программы (УП)	Ход инструмента в соответствии с УП
// Переход 14, черновой проход N5 M6 T14 M41 S=536 F0.3 M04 M08 N10 G00 X-100 Z-36 N15 G01 X-100 Z-56 N20 G00 X-107 Z-53 N25 M41 S=373 F0.8 N30 G00 X-107 Z-57 N35 G01 X-100 Z-57 N40 G00 X-104 Z-54 N45 M41 S=605 F0.3 N50 G01 X-104 Z-60 N55 G00 X-116.5 Z-57 N60 M41 S=419 F0.8 N65 G00 X-116.5 Z-61 N70 G01 X-104 Z-61 N75 G00 X-107 Z-58	
// Переход 17 N5 M6 T17 M41 S=252 F0.75 M04 M08 N10 G00 X-140 Z-100 N15 G00 X-140 Z-120 N20 G01 X-140 Z-146 //N25 G00 X-140 Z-100 //N30 G00 X0 Z0	

Титульный лист записки курсового проекта

***Государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования Московской области «Университет «Дубна»,
филиал «Протвино»***

Кафедра автоматизации технологических процессов и производств

Курсовой проект

по дисциплине «Управление в автоматизированном производстве»

на тему: «_____»

(направление 15.03.04 «Автоматизация технологических процессов и производств»)

Выполнил студент 4-го курса группы _____

ФИО полностью

Руководитель: _____
должность, ФИО

Оценка: _____

Дата защиты: _____

Подпись руководителя _____

г. Протвино, 20__

Учебное издание

Евсиков Александр Александрович
Коковин Валерий Аркадьевич
Леонов Анатолий Петрович

Системы управления оборудованием в автоматизированном производстве

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Редактор Ю. С. Цепилова
Технический редактор Ю. С. Цепилова
Компьютерная верстка Ю. С. Цепилова
Корректор Ю. С. Цепилова

Подписано в печать 2018. Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 17,75.
Тираж 24 экз. Заказ № 11.

ГБОУ ВО МО «Университет «Дубна»
141980, г. Дубна Московской обл., ул. Университетская, 19